

ATTS

2|2017

Vol. 46

YDINTEKNIikka

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA – ATOMTEKNISKA SÄLLSKAPET I FINLAND

SAFIR2018- puoliväliseminaari

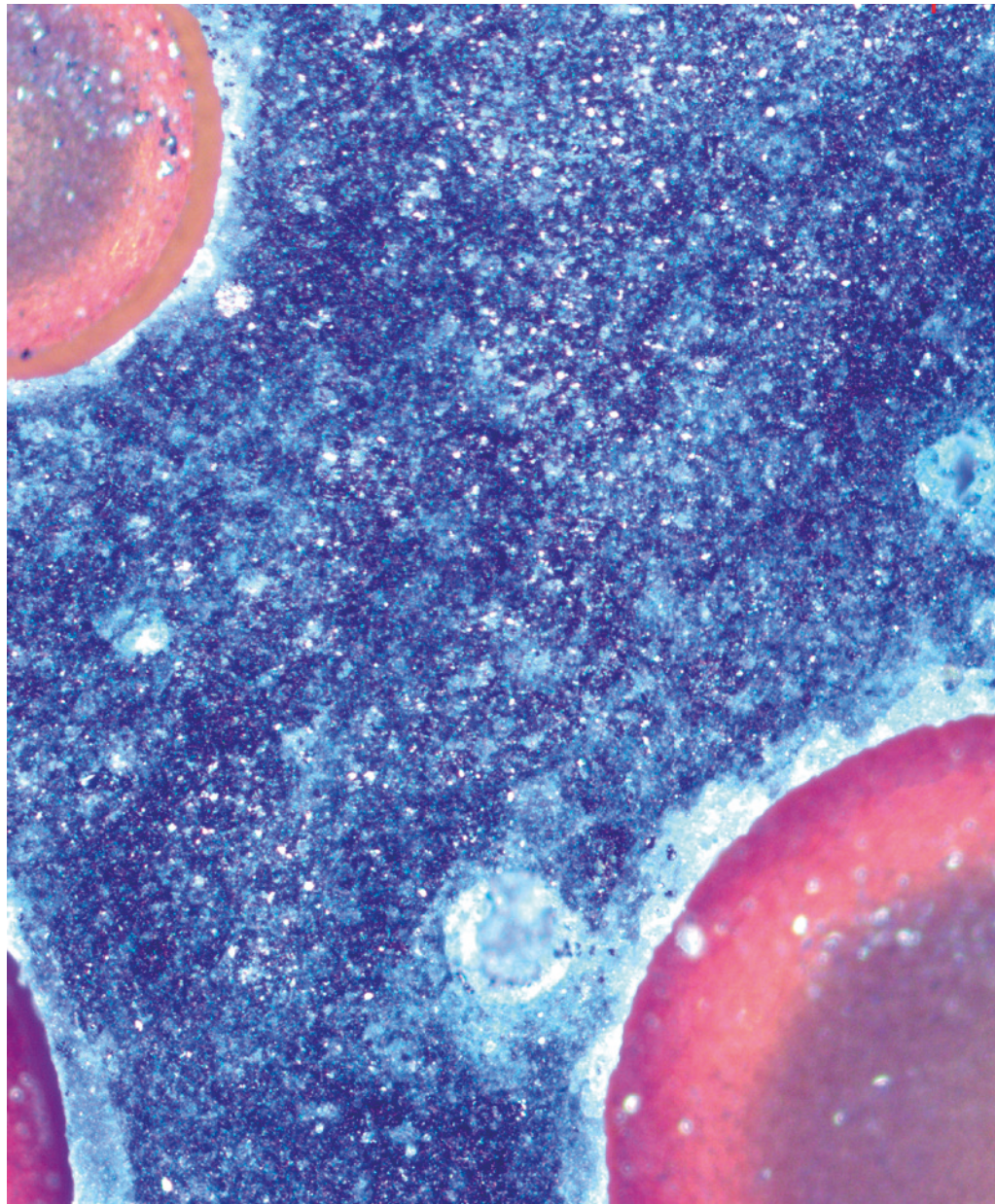
Oikeat ja ajantasaiset työkalut sekä riittävä osaaminen mahdollistavat hyvän ydinturvallisuuden.

Digitalisaatio tuo uusia haasteita

Ydinvoima-alan tulee varautua myös IT-maailman kyberuhkiin ja tietoturvariskeihin.

Ydinvoiman kokonaisturvallisuus

Turvallisuuden eri ilmentymiä voidaan nyt tarkastella yhteisen viitekehyksen kautta.



Julkaisija / Publisher

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

Johtokunta / Board

Puheenjohtaja / President

DI Kai Salminen
puheenjohtaja@ats-fns.fi

Varapuheenjohtaja / Vice President

DI Tuomas Rantala
tuomas.rantala@tvo.fi

Sihteeri / Secretary General

FM Antti Rätty
sihteeri@ats-fns.fi

Rahastonhoitaja / Treasurer

DI Lauri Pyy
rahastonhoitaja@ats-fns.fi

Jäsenet / Board Members

FL Lasse Koskinen
lasse.koskinen@posiva.fi

DI Toivo Kivirinta
toivo.kivirinta@fortum.com

DI Antti Paajanen
antti.paajanen@fennovoima.fi

Toimihenkilöt / Functionaries

ATS Young Generation

DI Mikko Pihlanko
mikko.pihlanko@fortum.com

Kansainvälisten asioiden sihteeri / International Affairs

DI Henri Ormus
henri.ormus@fennovoima.fi

Energiakanava / Energy Channel, WiN Finland

www-vastaava / Webmaster

TkT Heikki Suikkanen
webmaster@ats-fns.fi

ATS-Seniorit / ATS-Seniors

TkL Eero Patrakka
eero.patrakka@kolumbus.fi

Toimitus / Editors

Vastaava päätoimittaja / Editor-in-Chief

DI Anna Nieminen
anna.nieminen@vtt.fi

Tieteellinen päätoimittaja / Scientific Chief Editor

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

Ajankohtaispäätoimittaja / Topical Chief Editor

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

Toimitussihteeri / Lay-out Editor

Katariina Korhonen
Suunnittelutoimisto Creatus
katariina@creatus.fi

Toimitus / Editorial Staff

DI Klaus Kilpi
klaus.kilpi@welho.com

DI Lauri Rintala
lauri.rintala@fennovoima.fi

TkT Vesa-Matti Tikkala
vesa-matti.tikkala@fortum.com

TkT Risto Vanhanen
risto.vanhanen@tvo.fi

Toimituksen yhteystiedot

ATS Ydintekniikka

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

Painopaikka

Wellprint Oy, Espoo

ISSN-0356-0473

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

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

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

Totuuden jälkeinen aika ja kyseenalaistaminen

VIIME AIKOINA on puhuttu paljon totuuden jälkeisestä ajasta. Oxfordin sanakirja määrittelee sen olosuhteiksi, joissa objektiiviset faktat vaikuttavat yleiseen mielipiteeseen vähemmän kuin tunteisiin ja henkilökohtaisiin vakaumuksiin vetoaminen. Yleisemmin totuuden jälkeiseen aikaan viitataan, kun meille syötetään asioita, joiden totuus pohja on vähintään kyseenalainen. Nähdäkseni vielä oleellisemmin tähän liittyy se, ettei viestiä kyseenalaisteta ja faktoja tarkisteta.

Propaganda ei ole uusi ilmiö, mutta miksi totuuden jälkeinen aika tuntuu uudelta? Tietoa on saatavilla nyt enemmän kuin koskaan aiemmin ja faktat olisi siten helppo tarkistaa. Tiedon määrä on kuitenkin myös itsensä vihollinen ja sen laadun arviointi tulee määrän lisääntyessä yhä vaikeammaksi. Meitä vaivaa infoähky ja tartumme ehkä siksi liian helposti

meille sopivassa muodossa välitettyyn viestiin. Myös mittakaavan moninaisuus sekä ilmiön yleisyys ja jopa tavallisuus ovat uutta.

Tutkijalle kyseenalaistaminen on hänen tärkein työkalunsa. Olen tänä keväänä osallistunut sekä SAFIR2018-tutkimusohjelman puoliväliseminaariin että oman tutkimusalueeni isoimpaan eurooppalaiseen konferenssiin. Näissä kahdessa tilaisuudessa kuultiin tutkimuksen tavoitteille harmikseni hyvin erilaiset määritelmät. Suomessa ydinturvallisuustutkimuksen on ennakoitava sellaista, mitä emme osaa edes odottaa. ERMSAR-konferenssin (European Review Meeting on Severe Accident Research) loppukeskustelussa hieman yllättäen peräänkuulutettiin pääteipistettä aihepiiriin tutkimukselle.

Jos enakkoon määritellään mihin halutaan päästä, ei kyseenalaistamiselle jää riittävästi tilaa. Tässä tapauksessa myös uuden ja



odottamattoman löytäminen, joka mielestäni on tutkimuksen päätehtävä, muuttuu hyvin haastavaksi. Tutkimuksen pääteipisteen määrittäminen voidaan nähdä myös ilmentymänä totuuden jälkeisestä ajasta, kun palataan sen oxfordilaiseen määritelmään: tavoitteella vedotaan henkilökohtaiseen vakaumukseen eli tietyn yhteisön tarpeeseen.

Kyseenalaistamista ei saa unohtaa, sillä se vie meitä eteenpäin!

Anna Nieminen

Vastaava päätoimittaja

SISÄLTÖ

Vakiopalstat

Päätoimittajalta: Kiireen syyt ja seuraukset.....	3
Pääkirjoitus: Säteilylain uudistus valmistuu 2018.....	4
Editorial: Reform of radiation legislation will be ready in the beginning of 2018.....	5
Pakina: Saattohoitoa vai omaistoimintaa?.....	34

Tapahumat

Ydinlaitoksen suunnitteluperusteet ja ydinmateriaalivalvonta	6
--	---

Kolme näkökulmaa käytöstäpoistoon.....	8
--	---

ATS YG ekskursiolla Pietarissa	10
SAFIR2018 – Kansallisen ydinturvallisuustutkimusohjelman puoliväli.....	15

Ajankohtaista

Umpilähteen vuoto paljasti kehittämistä STUKin valvonnassa ja jätehuollossa.....	18
Loviisan voimalaitoksen nestemäisten radioaktiivisten jätteiden kiinteytyslaitos.....	20
Kyberturvallisuus on erottamaton osa ydinturvallisuutta.....	23

Tiede ja tekniikka

Ydinvoiman kokonaisturvallisuus – tuloksia ORSAC-projektista.....	26
<i>Juhani Hyvärinen, Juhani Vihavainen, Otso-Pekka Kauppinen</i>	
Diplomityö: Trendien huomiointi Loviisan ydinvoimalaitoksen luotettavuusparametrien laskennassa.....	31
<i>Tuuli Pyy</i>	
Väitös: Ydinvoimapäätösten politiikka 2007–2014.....	32
<i>Maarit Laihonon</i>	

Säteilylain uudistus valmistuu 2018

SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖ käynnisti säteilylainsäädännön uudistuksen vuoden 2015 alussa asettamalla ohjausryhmän valmistelemaan kokonaisuudistusta. Ohjausryhmän alle on perustettu kahdeksan alatyöryhmää. Ohjausryhmässä ja työryhmissä ovat edustettuina alaan liittyvät ministeriöt, valtion virastot, toiminnanharjoittajat ja laaja joukko kentän muita sidosryhmiä.

Uudella säteilylailla ja sen nojalla annettavilla alemman tason säädöksillä pannaan täytäntöön EU:n vuonna 2013 uudistama säteilyturvallisuudirektiivi. Nykyinen säteilylaki vuodelta 1991 ja siihen perustuva turvallisuussäännöstö eivät kaikilta osin ole täysin vuonna 2000 voimaan tulleen perustuslain mukaisia, joten siltäkin kannalta uudistus on tarpeen. Samalla uudistetaan koko säteilylainsäädäntö ja sen rakenne: säteilylaki, asetukset ja uutena asiana tulevat Säteilyturvakeskuksen antamat sitovat määräykset. Nykyiset Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeet poistuvat ja opastusta on tarkoitus laittaa STUKin verkkosivustolle.

Ehdotetussa säteilylaissa korostuu toiminnanharjoittajan vastuu ja riskiperusteinen valvonta. Uutena asiana toiminnanharjoittajan on tehtävä turvallisuusarvio, joka perustuu toiminnasta aiheutuviin riskeihin. Turvallisuusarvio on esitettävä turvallisuuslu-pahakemuksen yhteydessä.

Toiminnanharjoittajan on käytettävä turvallisuuslupaa edellyttävässä toiminnassa säteilyturvallisuusasiantuntijaa työntekijän ja väestön säteilysuojelun suunnittelussa, toteutuksessa ja seurannassa. Lisäksi toiminnanharjoittajan on nimettävä avukseen säteilyturvallisuusvastaava, joka valvoo käytännön työssä määräysten ja ohjeiden noudattamista.

Säteilyturvallisuusvastaavat korvaavat nykyiset säteilyturvallisuudesta vastaavat johtajat. Tosin osa nykyisten vastaavien johtajien tehtävistä siirtyy säteilyturvallisuusasiantuntijoille. Lisäksi lääketieteellisen fysiikan asiantuntijaa on käytettävä, kun kyseessä on lääketieteelli-

sen altistuksen kohteena olevan henkilön säteilysuojelun suunnittelu, toteutus ja seuranta. Kyseiset asiantuntijat ja säteilyturvallisuusvastaava ovat rooleja, jotka voivat olla myös samalla henkilöllä.

Uusilla säteilyturvallisuusasiantuntijalla ja säteilyturvallisuusvastaavalla on oltava säteilylain mukainen kelpoisuus ja valtioneuvoston asetuksella säädettävä säteilysuojeluosaaminen. Säteilysuojelukoulutus voi sisältyä korkeakoulututkintoon tai sen voi suorittaa erillisenä lisäkoulutuksena. Terveystieteiden ammattihenkilöllä tulee olla tehtävänsä mukainen kokemus ja koulutus kuten tähänkin saakka. Säteilysuojelun säännöllinen täydennyskoulutus on edelleen kaikille säteilyn käyttöön osallistuville pakollista.

Esityksessä tarkennetaan tarvittavaa oikeutusharkintaa erityisesti uuden tyyppisten toimintojen, radioaktiivista ainetta sisältävien kulutustavaroiden ja terveydenhuollossa oireettomille henkilöille tehtävien ionisoivaa säteilyä käyttävien tutkimusten osalta. Uutena asiana säädetään henkilön kuvantamisesta muusta kuin lääketieteellisestä syystä. Tällaisesta toiminnasta ovat esimerkkinä turvapaikanhakijoiden iän määritykset röntgenkuvauksilla.

Luonnonsäteily otetaan entistä laajemmin huomioon. Luonnonsäteilylle altistumista käsitellään ehdotetussa lainsäädännössä pääsääntöisesti kuten muista säteilylähteistä johtuvaa altistumista. Tämän vuoksi jos radonpitoisuutta ei saada työtilassa pienennettyä yrityksistä huolimatta alle säädettävän viitearvon, toiminnanharjoittajan on haettava toiminnalle turvallisuuslupa.

Säteilyvaaratilanteen aikana väestön suojelemisessa käytettävät periaatteet ja tavoitteet kirjataan lakiin, jolloin ne ohjaavat viranomaisen ja toiminnanharjoittajien varautumista näihin tilanteisiin.

Ionisoimatonta säteilyä aiheuttavien tuotteiden turvallisuuden arvioimisessa käytettäviä kriteereitä selkeytetään, jolloin vaarallisten



tuotteiden poistaminen markkinoilta on helppompaa ja perusteet myös toiminnanharjoittajan kannalta selkeät. Lisäksi selkeytetään viranomaisten toimintavaltuuksia.

Säädösuudistus on vaatinut paljon työtä valmisteluun osallistuvilta asiantuntijoilta, erityisesti Säteilyturvakeskuksen henkilöstöltä. Nyt olemme toukokuussa 2017 siinä vaiheessa, että säteilylaki alkaa olla viimeistelty ja asetukset ovat hyvää vauhtia valmistumassa STM:lle antamista ja ulkoista lausuntoa varten. STUKin määräyksetkin ovat työn alla.

Uudistus parantaa suomalaisten säteilyturvallisuutta. Riskiperiaatteen korostaminen suuntaa toiminnanharjoittajan omia toimia sekä viranomaisvalvontaa niin, että ne parantavat turvallisuutta entistä tehokkaammin. Myös säännöstörakenne selkeytyy ja asetusten ja STUKin määräysten antamisvaltuuksista säädetään nykyistä tarkkarajaisemmin ja yksityiskohtaisemmin.

FK Ritva Havukainen

Johtava asiantuntija
STUK

DI Eero Kettunen

Johtaja
STUK

Reform of radiation legislation will be ready in the beginning of 2018



MINISTRY OF SOCIAL AFFAIRS AND HEALTH launched a comprehensive reform of radiation legislation in the beginning of 2015 by nominating a steering committee. Eight subcommittees have been established under the steering committee. These organs comprise of representatives from various ministries, public agencies, licensees and many other stakeholders in the field.

The new Radiation Act and underlying legislation based on it will be enacted for implementing of the EU radiation safety directive that was updated in 2013. Additionally, the current Radiation Act from 1991 and the lower-level regulations are not completely compatible with the current Constitution of Finland from year 2000, so this reform is necessary also from this perspective. All statutes and their hierarchy are updated: Radiation Act, Decrees and as a new thing binding regulations to be given by Radiation and Nuclear Safety Authority STUK. The current radiation safety guides by STUK (ST Guides) will lapse, but some guidance will be made available on the stuk.fi web site.

The proposal for Radiation Act emphasizes the responsibility of licensee and graded approach to regulatory control. A new feature requested from a licensee is safety assess-

ment that is based on the risks caused by the practice. The safety assessment has to be included in an application for a safety license.

When a safety license is needed for a radiation practice, the licensee must consult a Radiation Protection Expert (RPE) when it concerns to design, implement and follow-up the radiation protection of employees and the general public. Additionally the licensee must nominate a Radiation Protection Officer (RPO) who helps to monitor compatibility of the practical work with safety regulations and instructions.

The RPO replaces the current radiation safety officer, although part of his or her current responsibilities will be handed to the RPE. For medical exposures, a Medical Physics Expert (MPE) is to be consulted for planning, implementing and follow-up of the radiation protection of the person exposed. The roles of an RPE or MPE and an RPO can be held by the same person.

The new RPE, MPE and RPO have to have the competence defined in the Radiation Act and the knowledge in radiation protection defined in the Government Decree. The education and training in radiation protection may be part of a university degree or it may be obtained with separate studies. Medical personnel must have the same job-dependent experience and education and training in radiation protection as earlier. The requirement for regular refresher training remains for all radiation users.

The proposal for Radiation Act clarifies the justification process for novel practices, consumer goods containing radioactive materials and in health care investigations using ionizing radiation on symptom-free persons. A new regulation concerns imaging of a person for other than medical reasons, e.g., for determining the age of a refugee with X-rays.

Natural radiation sources are covered more widely than before. Exposure to natural radiation is largely handled like exposure to other

radiation sources in the proposal. This means that, for example, if the radon concentration in working premises cannot be reduced below a stated reference level, the responsible party must apply for a safety license.

The principles and objectives of protecting the general public during a radiation emergency are written down in the legislation so that they guide authorities and licensees how to prepare for such an occasion.

The criteria for assessing the safety of products that utilize non-ionizing radiation are clarified. Then it is easier to withdraw dangerous products from the market and the justification is clear for the responsible party. Moreover, the mandates of authorities are clarified.

The reform of legislation has taken a plenty of effort from the participating experts, especially the personnel of STUK. Now in May 2017 we are in a phase where the Radiation Act starts to be finalized and Decrees are being completed for the Ministry and for external commenting. STUK regulations are also under work.

This reform improves radiation safety of the Finnish population. The emphasis on graded approach will channel both the activities of licensees and regulatory control towards the most efficient safety upgrades. Also the structure of legislation is made more logical and the mandate for giving Decrees and STUK regulations is defined more distinctly and more in detail.

M.Sc. Ritva Havukainen

Principal Advisor
STUK

M.Sc. (Tech.) Eero Kettunen

Director
STUK



Hanhikivi 1 työmaa maaliskuussa 2017 (kuva: Fennovoima Oy).

Ydinlaitoksen suunnitteluperuste- uhat ja ydinmateriaalivalvonta

Turvajärjestelyt ja ydinmateriaalivalvonta vaikuttavat meistäkin suurimman osan toimintaan ja työympäristöön. Niitä kuitenkin verhoaa melkoinen salamyhkäisyyden verho, jota ATS:n jäsentilaisuudessa raotettiin.

Teksti: Toivo Kivirinta



DI Toivo Kivirinta

Liiketoiminta-analytiikan asiantuntija
Fortum
toivo.kivirinta@fortum.com

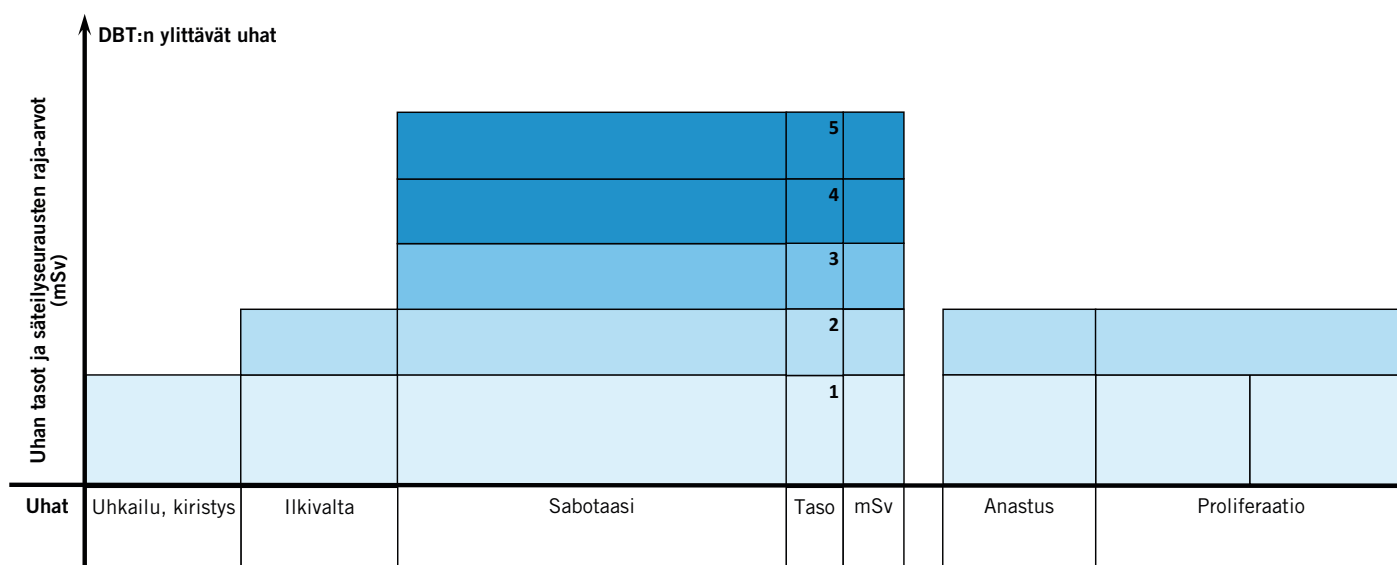
TÄMÄN VUODEN ENSIMMÄINEN jäsentilaisuus järjestettiin 11.4. Tieteiden talolla. Käsiteltäväksi aihepiiriksi oli valikoitunut turvajärjestelyt. Aihepiiri, joka koskettaa kaikkia alalla työskenteleviä, mutta josta vain harva tietää. Jäsentilaisuuteen saapui neljäkymmentä ATS:n jäsentä.

Suunnitteluperusteuhka

Säteilyturvakeskuksen Paula Karhun aiheena oli suunnitteluperusteuhan ylläpito ja käyttö. Suunnitteluperusteuhka on suorituskykyperusteinen tapa asettaa vaatimuksia. Suorituskykyperustetta Paula havainnollisti siten, että ei aseteta vaatimusta aidan korkeudelle, vaan määritellään että lainvastaiseen

toimintaan ryhtyvällä on käytössään x metriä korkeat tikkaat. Suunnitteluperusteuhka perustuu uhkakuvaan, jonka ylläpitämisestä vastaavat viranomaiset.

Suomessa valtioneuvoston asetus ydinenergian käytön turvajärjestelyistä loi säädöspohjan suunnitteluperusteuhan laatimiselle ja käytölle. Vuonna 2010 valmistui ensimmäinen uhkakuva käytettäväksi suunnitteluperusteuhan perustana, ja uhkakuva on sittemmin säännöllisesti päivitetty. Lausuntojen ja kommentointien jälkeen suunnitteluperusteuhka vahvistettiin vuonna 2013. Se asettaa vaatimuspohjan uusille ydinvoimalaitoksille. Vuonna 2016 STUK antoi käyville ydinvoimalaitoksille täytäntöönpanopäätökset, joissa määritellään miltä osin niiden on varaudutta-



mSv: väestön yksilön vuosiansioksen raja-arvo (paitsi taso 5, jossa lyhytaikainen annosraja).

Suunnitteluperusteuhka sisältää eritasoisia uhkia. Jokaiselle tasolle on määriteltä ”vastustajan” toimintakyvyt, säteilyseurausten raja-arvot ja suojaustavoitteet (kuva: STUK).

va suunnitteluperusteuhkaan. Kun valtioneuvoston asetus korvattiin STUKin määräyksellä, säännökset suunnitteluperusteuhkasta ja uhkakuva siirrettiin ydinenergia-asetukseen.

Suunnitteluperusteuhka määrittelee uhan tason, johon saakka luvanhaltija suunnittelee laitoksensa turvaamisen laitonta toimintaa vastaan. Sen ylittävien uhkien torjunnasta vastaa valtio. Kaikkien uhkien torjunnasta tehdään kuitenkin yhteistyötä: poliisi hälytetään aina, kun lainvastaista toimintaa havaitaan. Luvanhaltijan turvaorganisaatio vastaa uhan torjunnasta, kunnes poliisi ottaa johtovastuun ja tarjoaa omat resurssinsa poliisin avuksi kaikissa tilanteissa.

Maaailman muuttuessa suunnitteluperusteuhankin päivitystarpeen arviointi on jatkuvaa toimintaa, ja seuraava päivitys on aloitettu.

**”If it matters, it should not happen.
If it happens, it should not matter.”**
(IAEA NSC WS, Helsinki, 2013)

Toisena esityksenä kuultiin Fortumin Petri Tonterian aiheesta Ydinenergian käytön turvajärjestelyt. Siinä Petri kertoi turvajärjestelyiden käytännön toteuttamisesta ydinvoimalaitosympäristössä. Erityisesti Petri toi esiin tiedottami-

sen ja yhteistyön osana turvajärjestelyjen sovitamista kokonaisturvallisuuden edistämiseksi.

Ydinmateriaalivalvonta

Lopuksi Kaisa Pellinen Fennovoimasta perehdytti kuulijat ydinmateriaalivalvonnan perusteisiin ja siihen, mitä ydinmateriaalivalvontaan liittyvät kansainväliset säädökset edellyttävät suunnitteluvaiheessa olevalta ydinvoimalaitosprojektilta.

Ydinmateriaalivalvonnalla varmistetaan siitä, että ydinaineet ja muut ydinalan tuotteet pysyvät rauhanomaisessa, lupien ja ilmoitusten mukaisessa käytössä ja että ydinlaitoksia ja alan tekniikkaa käytetään vain rauhanomaisiin tarkoituksiin. Säädöspohja perustuu kansainväliseen ydinsulkusopimukseen vuodelta 1970. Sen pohjana on ajatus siitä, että kun kaikki rauhanomainen ydinmateriaali on IAEA:n valvonnassa, ei valvonnan ulkopuolelle voi jäädä niin paljon materiaalia, että sen varaan voisi rakentaa kokonaisen salaisen ydinaseohjelman.

Fennovoiman rakentaessa uutta ydinvoimalaitosta on sillä mahdollisuus huomioida ydinmateriaalivalvonnan vaatimukset jo suunnitteluvaiheessa, mikä johtaa ajan, rahan ja vaivan säästymiseen ydinvoimalaitoksen eliniän aikana. Jo rakentamislupavaiheessa voimayhtiö on ydinmateriaalivalvonnan alaisena.

Vaikka Fennovoimalle ei ole vielä vuosiin tulossa varsinaista ydinpolttoainetta, ydinmateriaalivalvonnan toiminto pitää sisällään mm.

- ohjeiston kehitystä
- oman ja laitostoimittajan henkilöstön koulutusta
- safeguards by designia
- suunnitteludokumentaation tarkastusta
- safeguards-mielessä
- viranomaisraportointia.

Hanhikivi 1:n työmaavahvuus keväällä 2017 on noin 150 työntekijää. Meneillään on muun muassa pääporttirakennuksen sekä kunnallistekniikan rakentaminen laitostoimittajan alueella. Myös majoituskylä on rakenteilla ja ensimmäisten asukkaiden odotetaan asettuvan taloksi loppuvuodesta. Säämaston pystytys alkaa keväällä 2017.

Jäsentilaisuuden esitysaineistot löytyvät Suomen Atomiteknillisen Seuran kotisivuilta www.ats-fns.fi.



näkökulmaa käytöstäpoistoon

FiR 1:n sydäimestä on poistettu riittävä määrä polttoaine-elementtejä alikriittisyyden varmistamiseksi kaikissa tilanteissa: kesäkuussa 2016 otetussa kuvassa tyhjä positiot polttoainehilassa näkyvät mustina. Lisäksi säätösauvojen nostaminen on estetty lukituksella. Sydäimestä nousevat putket sisältävät mm. säätösauvat ja säteilytyslaitteistojen lataus- ja käyttömekanismit (kuva: Hagen Pohl, Babcock Noell GmbH).



TkT Jarmo Ala-Heikkilä
Tieteellinen päätoimittaja
ATS Ydintekniikka
jarmo.ala-heikkila@aalto.fi

Lumikuurojen sävyttämänä toukokuuisena iltapäivänä 10.5. järjestettiin ATS:n jäsentilaisuus Helsingin Salmisaareissa teemalla "Ydinlaitoksen purkusuunnitelmat". Tilaisuudessa kuultiin kolme esitystä, joiden pääkohtia kuvataan alla. Esityksiä oli mahdollisuus seurata Skype-etyhteyden kautta, ensimmäistä kertaa ATS:n historiassa.

Teksti: Jarmo Ala-Heikkilä

JÄSENTILAISSUUDEN kantavana teemana oli ydinlaitosten purkaminen, mistä kuultiin kuitenkin kolme varsin erilaista esitystä. Ensiksi Elina Kälviäinen (Fortum) kertoi Loviisan ydinvoimalaitoksen käytöstäpoistosta noin 50 vuoden aikajännteellä, sitten Markus Airila (VTT) kertoi Triga-tutkimusreaktorin käytöstäpoistosta, joka on jo käynnissä, ja lopuksi Ville Koskinen (Fennovoima) kertoi käytöstäpoiston huomiointista rakentamislupavaiheessa eli suunnitelmista yli 100 vuoden päähän.

Käytöstäpoistosuunnitelman päivitys

Loviisan ydinvoimalaitoksen kaksi VVER-440-yksikköä on rakennettu 1970-luvulla, joten

niillä on alkamassa jo viides vuosikymmen palveluksessa. Nykyisen suunnitelman mukaan yksiköt poistetaan käytöstä 50 vuoden ikäisinä eli ykkösyksikkö vuonna 2027 ja kakkoyksikkö vuonna 2030.

Suunnitelman mukaan käytöstäpoisto tehdään kahdessa vaiheessa: laitossyksiköt puretaan välittömästi käytön loputtua, mutta käytettyä polttoainetta varastoidaan laitosalueella 35 vuotta ennen siirtoa Posivalle Olkiluotoon. Välittömän purkamisen etuja ovat osaavan henkilökunnan saatavuus, järjestelmien ylläpitotarpeen päätyminen sekä lainsäädännön ennakoitavuus. Toisaalta käytetyn polttoaineen loppusijoitus on mahdollista vasta aktiivisuuden riittävän puoliintumisen jälkeen.

Loviisassa suunnitelmassa on purkaa ja loppusijoittaa suuret komponentit kokonaisina. Tällöin reaktoripainesäiliöitä voidaan hyödyntää loppusijoitusastioina. Sekä aktivoituneelle että kontaminoituneelle materiaalille on tehty massa-, tilavuus- ja aktiivisuusarviot ja vastavat tilat on suunniteltu Hästholmenin kalliioon käytönaikaisen matala- ja keskiaktiivisen jätteen varaston laajenuksena.

Määrävälein päivitettävien suunnitelmien mukaan loppusijoitettavaa materiaalia on noin 21 000 kuutiometriä ja sen kokonaisaktiivisuus on 193 000 TBq. Purkamisesta arvioidaan aiheutuvan noin 10 manSv annos purkamiseen osallistuville työntekijöille. Kustannusarvio on 388 M€ ja nämä varat on rahastoitu Valtion ydinjätehuoltorahastoon (VYR).

Edellä mainittuja määräraivoita ja niistä johdettuja annos- ja kustannusarvioita ollaan parhaillaan päivittämässä. Fortum toimittaa käytöstäpoistosuunnitelman tuoreimman version viranomaisille arvioitavaksi vuonna 2018.

Ensimmäinen käytöstäpoisto käynnissä

Suomen vanhimman ydinlaitoksen eli Triga-tutkimusreaktorin FiR 1 käyttö päättyi kesällä 2015 ja sen käytöstäpoisto on etenemässä. VYR:ssä on rahastoituna 12 M€ tähän tarkoitukseen. Tutkimusreaktoreiden purkamisesta on kokemuksia maailmalla, ja niiden mukaan odotettavissa ei ole merkittäviä teknisiä ongelmia.

VTT on tehnyt käytöstäpoistosta ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA). YVA:n vaihtoehtoja pyritään toteuttamaan välittömän purkamisen vaihtoehto. Käytetyn polttoaineen osalta tämä tarkoittaa palautusta USA:han, minkä ydinenergialain poikkeuspykälä sallii,

mutta purku- ja huoltojätteen osalta tarvitaan välivarastointia ennen loppusijoitusta jomman kumman nykyisen voimalaitospaikan loppusijoitustiloihin. Jos kaikki menee suunnitelmien mukaan, Otakaari 3:n tilat voidaan vapauttaa muuhun käyttöön vuonna 2022.

Kun reaktorin maksimiteho on ollut 250 kW, niin myös aktiivisuusinventaarit ovat täysin erilaisella tasolla voimalaitoksiin verrattuna. Näitä on pyritty määrittämään sekä mittauksilla että simulaatioilla. Rakenteiden kokonaisaktiivisuus on luokkaa 3,2 TBq ja purkutöistä työntekijöille aiheutuva kollektiivinen annos arviolta 0,008 manSv.

Trigassa on joitakin loppusijoitettavia materiaaleja, joita ei voimalaitoksilla ole käytössä: alumiinia rakenteissa sekä grafiittia ja Fluental-sekoitusta moderaattorimateriaaleina. Vaikka määrät ovat pieniä, on näiden osalta täytynyt tehdä erillistarkasteluja.

VTT on parhaillaan laatimassa käyttöluvhakemusta Valtioneuvostolle, sillä varsinaista käytöstäpoistolupaa ei lainsäädäntö tunne. Hakemuksen tärkein osa on purkus suunnitelma, joka on laadittu kotimaisten ja ulkomaiden konsulttien tuella. Purkus suunnitelmaan kuuluu tarkat työohjeet, jätehuoltosuunnitelma sekä luokitusasiakirja. Hakemus on tar koitus jättää kesäkuussa.


Purkus suunnitelma osana rakentamislupaa

Suomalaisen säännösten mukaan rakentamislupahakemuksessa täytyy olla myös alustava käytöstäpoistosuunnitelma. Tämä on kansainvälisesti varsin poikkeuksellista. Periaatteessa tehtävää helpottaa se, että tämä osuus voi perustua referenssilaitokseen, mutta uuden lai-

tosmallin kuten AES-2006:n tapauksessa ei edes referenssilaitoksesta välttämättä ole vielä käytöstäpoistosuunnitelmaa.

Laitoksen suunnittelussa turvallisuus on pääasiallinen suunnitteluperuste. Käytöstäpoisto tulee huomioiduksi pitkälti samoin menettelyin kuin dekontaminointimahdollisuus sekä henkilöstön annosten minimointi: rakenne- ja materiaalivalinnoilla sekä asennustyön laadulla.

Esitelmässä kerrottiin lähtökohtia käytetyn polttoaineen (KPA) varaston käytöstäpoistosuunnitelmalle: yleisstrategia, lopputilan määrittely, vastuorganisaatio jne. Alustavassa käytöstäpoistosuunnitelmassa määritellään karkea aikataulu. Myös työmenetelmät on selvitettävä ja niissä ei voi huomioida 100 vuoden aikana oletettavasti tapahtuvaa kehitystä, vaan suunnitelmassa on sovellettava nykyteknikoita. Näiden pohjalta on arvioitava säteilyturvallisuus sekä työntekijöille aiheutuva säteilyannos.

Laitostietokanta, johon kirjataan käyttöhistoria, laitostapahtumat ja tehdyt muutostyöt, on tärkeä suunnitella sellaiseksi, että se tukee myös käytöstäpoistosuunnitelmaa. Suunnitelmaa täydennetään ja päivitetään määrävälein laitoksen käytön aikana. Kun laitoksen suunniteltu käyttöikä on 60 vuotta, niin KPA-varaston käytöstäpoiston viimeiset toimenpiteet venyvät pitkälti seuraavalle vuosisadalle. 

Lisää yksityiskohtia löytyy esitelmäkalvoista, jotka ovat saatavilla seuran verkkosivuilla osoitteessa www.ats-fns.fi.



Itse tilaisuuteen osallistui 50 seuran jäsentä ja lisäksi muutama kuulija pilotoi mahdollisuutta seurata esityksiä Skypen kautta (kuva: Jarmo Ala-Heikkilä).



ATS YG ekskursiolla Pietarissa

Leijonanmetsästäystä, vierailu ydinvoimalaitoksen valvomossa sekä uskaliaita kokeita primääripiirissä – mitä muuta ydinvoima-alasta kiinnostuneet nuoret voisivat pyytää ekskursiolta? ATS YG:n viisipäiväisellä ulkomaan matkalla Pietariin 22.–26.3.2017 päästiin kokemaan ja näkemään venäläistä ydinvoimatekniikkaa paikallisen JSC Atomproekt YG:n ammattitaitoisella opastuksella. Reissun aikana tutuksi tulivat niin grafiittijäähdytteinen RBMK-laitos kuin rakenteilla olevat VVER-ydinreaktoritkin. Ohjelman saatossa tutustuttiin paikallisiin ydinvoimanuoriin sekä vaihdettiin arvokkaita kokemuksia ja kontakteja tulevaisuuden yhteistyötä varten.

Teksti: Ville Pitkänen, Pyy Savolainen, Santeri Myllynen, Sini Piiparinen ja Siiri Jämsén **Kuvat:** JSC Atomproekt



Ville Pitkänen
Tekniikan kandidaatti
Lappeenrannan teknillinen
yliopisto
ville.pitkanen@outlook.com



Pyy Savolainen
Tekniikan kandidaatti
Lappeenrannan teknillinen
yliopisto
pyry.savolainen@student.lut.fi



Santeri Myllynen
Tekniikan kandidaatti
Aalto-yliopisto
santeri.myllynen@aalto.fi



Sini Piiparinen
Tekniikan kandidaatti
Lappeenrannan teknillinen
yliopisto
sini.piiparinen@student.lut.fi

Vasemmalla: Säteilevät nuoret RBMK-1000-laitoksen edustalla.

ALLEGRO PIETARIIN lähtee raiteelta kahdeksan. On myöhäinen keski- viikkoilta ja yhdestä junan vaunusta kuuluu poikkeuksellisen energistä puheensorinaa. Kaksikymmentä ATS YG:n jäsentä odottaa malttamattomana junan lähtöä kohti Pietaria ja oppimatkaa venäläisen ydinvoimatekniikan pariin. Viisipäiväisellä vierailulla on tarkoitus tutustua venäläiseen ydinvoimaan sekä Pietarin kaupunkiin paikallisten JSC Atomproektin ydinvoimanuorten opastuksella. Saavumme Pietariin puolen yön maissa ja suuntaamme metrolla kohti hotellia ja pian alkavaa seikkailua.

Torstai 23.3.

VVER-1200 -työmaa ja RBMK-1000-laitosvierailu

Innostuneen matkaseurueemme ensimmäinen päivä Venäjällä alkoi kohmeisesti, sillä aikataulumuutosten vuoksi runsas hotelliaimainen vaihtui paikallisen supermarketin paistopisteeseen ja mereltä puhaltava kylmä tuuli muistutti kerrospukeutumisen tärkeydestä. Onneksi majapaikaksi valittu hotelli Oktiabrskaya oli sijainniltaan erinomainen ja lyhyen kävelymatkan jälkeen pääsimme Rosatomin tytäryhtiön JSC Atomproektin aulaan, missä turvatarkastuksen takana odotti heidän nuorisjärjestönsä lämminhenkinen varapuheenjohtaja Daria Petrova.



Siiri Jämsén

Tekniikan ylioppilas
Lappeenrannan teknillinen yliopisto
siiri.jamsen@student.lut.fi



Laitoksen valvomo ja suomalaiset turistit.



Leningrad II -työmaalla. Taustalla näkyvät rakenteilla olevat yksiköt.

Kerrattuumme lyhyesti turvallisuusohjeet aloitimme kahden tunnin bussimatkan kohti Sosnovyi Borin ydinvoimalaitosaluetta. Kaupunki on Venäjän federaation turvallisuuden vuoksi suljettu kokonaan ulkopuolisilta, eikä sinne sisäänpääsy ole helppoa edes Venäjän kansalaisilta, mutta pikaisen passintarkastuksen jälkeen turvallisuushenkilö viittoi retkikuntamme etenemään ja pian olimmekin jo laitoskierroksella vaikuttavalla Leningrad II -ydinvoimalaitoksen rakennustyömaalla.

Rosatom on rakennuttanut alueelle jo vuodesta 2008 kahta uutta VVER-1200 -tyypin ydinreaktoria, jotka oli tarkoitus ottaa käyttöön 2013 ja 2014, mutta kovasta yrityksestä huolimatta ydinvoimaloiden valmistuminen on siirtynyt vuosi vuodelta eteenpäin. Paine ra-

kennustöiden loppuunsaattamiselle on ollut varmasti kova, sillä ydinvoimalaitoksen vanhat RBMK-1000 -reaktorit lähenevät käyttöikänsä loppua, eikä niiden käytöstäpoistoa voida aloittaa ennen kuin korvaava kapasiteetti on valmistunut. Laitosaluetta meille esitellyt vahvan aksentin omaava insinööri oli selvästi ylpeä venäläisestä huipputeknologiasta ja vakuutti laitoksen käyttöönoton alkavan lähiaikoina. Käydessämme turbiinilaitoksella työt vaikuttivat kuitenkin suomalaisen silmin olevan vielä selvästi kesken, mutta venäläiset vakuuttelivat koeponnistusten alkavan jo kesällä 2017. Jääkin nähtäväksi, saadaanko aikatauluista pidettyä kiinni.

Jäähdytystornin näkeminen meren rannalla sijaitsevalla ydinvoimalaitoksella hämmen-



Yllä: Virtuaalisen ydinvoimalaitosyksikön simuloinnista riitti kerrottavaa kahden esityksen verran.

Vasemmalla: Reaktorihalli, reaktori lyijysuojineen ja roikkuvat tuoret polttoainesauvat.

si osaa seurueemme jäsenistä. Ilmeisesti tämän ratkaisun takana on jonkinlainen osa Venäjän ympäristölainsäädäntöä, joka kieltää jäähdysveden laskemisen takaisin vesistöihin. Myös kytkinkentän pieni koko ja sijoitus kauaksi laitokselta herättivät suuresti mielenkiintoa. Kytkinkenttä oli yhdistetty päämuuntajaan SF₆-kaasueristeisillä kiskoilla, joiden halkaisijat eivät voineet olla enempää kuin 20 cm. Kokonaan SF₆-eristeinen kytkinlaitos oli myös onnistuneesti rakennettu erittäin kompaktiin kokoon.

Mielenkiintoisen työmaakierroksen jälkeen päädyimme lounaalle ruokailuparakiin varattuun yksityistilaan, jonne oli loihdittu harvinaisen runsas useamman ruokalajin ateria. Pientä hilpeyttä tosin herätti muistutus, että tämä loistava lounas olisi omakustanteinen, ja että maksu perittäisiin jälkikäteen ruokailijoilta.

Lounaan jälkeen vuorossa oli visiitti vanhoihin Leningrad I RBMK -ydinvoimaloihin, jonka tyyppisiä laitoksia ei Venäjän ulkopuolella enää ole käynnissä. Alkuselytysten ja

tokselle muutamat portaat ja käytävät, jotta pääsimme valvomoon. Valvomo oli keskikokoinen huone, joka oli täytetty ohjauspulpeteilla ja näytöillä ja kohta suomalaisilla. Yksi päätysinistä oli täytetty suurilla näytöillä, joista näki reaktorin tilan reaaliajassa. Valvomon pulpetit olivat täynnä todennäköisesti rele-pohjaisia kytkimiä. Näistä suurinta mielenkiintoa meissä herätti pienissä muovisuojissa olevat punaiset kytkimet. Uteliaisuudesta kysyimmekin, missä pikasulkukytkimet sijaitsevat ja pienen hetken mietittyään kierroksen pitäjämme osoitti kyseisiin kytkimiin.

Valvomosta siirryimme reaktorihalliin, jonka sisäänkäynnillä kohtasimme vesiastioita kenkien pohjien puhdistamista varten. Hallissa mielenkiintoamme herättivät katosta roikkuvat tuoret polttoainesauvat ja nurkkaan laitettu latauskone, joka oli hallin korkuinen.

Reaktorihallin jälkeen käväisimme turbiinihallissa, joka muistutti Loviisan turbiinisarekettä. Sitten kierros olikin loppunut, mutta vielä oli edessä laitokselta poistuminen.

parin portin jälkeen pääsimme pukuhuoneeseen, jossa sijaitti ensimmäinen ja ainoa kenkäräjä. Tarkoittaen että valvomo, reaktorihalli ja turbiinihalli ovat saman kenkäräjän sisällä. Pukuhuoneen jälkeen kuljimme lai-

Pukuhuoneeseen mentäessä jokainen kävi pintakontaminaatiomittarissa, mutta laitteen huonon suunnittelun takia pisimmät meistä eivät mahtuneet siihen kunnolla. Ulkona meitä oli jälleen vastassa Venäjän raikas, mutta kaunis sää.

Perjantai 24.3.

Vierailu virtuaalivoimalaitoksella sekä verkostoitumista paikallisten ydinvoimanuorten kanssa

Perjantaina aamupäivästä matkasimme metrolla toiselle JSC Atomproektin konttorille, joka sijaitsee hieman kauempana keskustasta. Virallisten paperitarkistusten jälkeen pääsimme kipuamaan kerroksia ylöspäin kohti virtuaalisen simulaattorin huonetta. Huone osoittautui tavalliseksi konttorihuoneeksi, joka oli muokattu pelkistetyksi valvomon simulaattoriksi.

Kaksi isäntäämme pitivät mielenkiintoiset puheenvuorot simuloinnista korostaen sen tärkeää roolia voimalaitosten suunnittelussa. Simuloinnin merkitystä on hankala hahmottaa, vaikka sen tuoma säästö on korvaamatonta. Isäntämme korostivatkin merkittäviä hyötyjä, joita simuloinnilla saavutetaan, kun prosesseja voidaan kokeilla ilman komponenttien fyysistä rakentamista ja testaamista.

Puheenvuorojen jälkeen JSC Atomproektin edustajat esittelivät itse simulaattorin toimintaa. Muutamien esimerkkitalanteiden jälkeen

pääsimme itse ehdottamaan simuloitavia tilanteita. Seurasimme muun muassa mitä automaatio tekee, kun yksi tai kaksi syöttövesipumppua lopettaa toimintansa. Innokkaimmat pääsivät myös ehdottamaan tilanteita, jolloin laitos ajetaan pikasulkuun.

Näin hieno simulaattori tarvitsee toimiakseen myös paljon prosessointikykyä. Siksi viereiseen huoneeseen olikin asennettu monia keskusyksiköitä huolehtimaan tästä prosessointikyvystä. Jokaisen yksikön välissä olevat varsin isot tuulettimet huolehtivat yksiköiden jäähdytyksestä. Tuulettimet pitävät jopa huoneilman reilusti normaalia viileämpänä. Olikin antoisaa päästä hetkeksi ihmettelemään keskusyksiköitä ja viilentymään tiukkojen simulointihetkien jälkeen. Kaiken kaikkiaan vierailu JSC Atomproektin virtuaalisella ydinvoimalaitossimulaattorilla avasi ymmärrystämme siitä, mitä on mahdollista simuloida ja mitä ei. Lisäksi vierailulla korostuivat ilmiöiden ja prosessien mallintamisen tärkeys ja niiden osaamisen tarve.

Virtuaalivoimalaitoskierrökseltä palasimme takaisin todellisuuteen ja pienen hengähdystauon jälkeen suuntasimme askelemme kohti JSC Atomproektin toimistoa. Loppuillan agendaksi oli suunniteltu ekskursion olennaisesti kuuluvaa verkostoitumista, jota venäläiset isäntämme olivat mukavasti helpottaneet esittelemällä meille erään venäläisten suosituimman juhlapäivän, perjantain, perinteitä runsaan pitopöydän merkeissä. Alkumaljojen jälkeen esittelykierron hoitui sulavasti itse



Tulevaisuuden toivot matkalla illalliselle.

kultakin ja mukava puheensorina täytti hullepean kokoustilan. Ohjelmaan kuuluneet JSC Atomproekt YG:n varapuheenjohtajan Daria Petrovan ja ATS YG:n puheenjohtajan Mikko Pihlangon esittelyt Venäjän ja Suomen Young Generation -toiminnasta toivat esille muun muassa faktan siitä, että JSC Atomproektin

nuorisojärjestössä on saman verran jäseniä kuin Suomen ATS:ssä yhteensä. Yllättävää oli myös JSC Atomproektin toiminnan monipuolisuus sekä merkittävä panos nuorten ydinvoima-alan työntekijöiden ammatilliseen kehitykseen erilaisten tapahtumien, koulutusten ja työkiertojen myötä.

Verkostoitumisen alettua mukavasti jatkoimme jutustelua matkalla kohti yhteistä illallista. Matkan varrella pysähdyimme ottamaan yhteiskuvan Sheremetev Palace -musiikkimuseon edessä ja ihailimme auringon laskua Fontanka-joen rannalla.

Päämääränäimme oli georgialaisravintola, jossa pääsimme nauttimaan Fennovoiman tarjoaman hullepean monipuolisen illallisen yhdessä uusien ystäviemme kanssa. Menu koostui monista erilaisista ruokalajeista, joiden makumaailmat vaihtelivat kasvistahnoista yrttisiin lihatäytteisiin nyytteihin. Isäntämme olivat suunnitelleet illallisen oheen myös osallistavia seuraleikkejä, joissa pääsimme esimerkiksi kokeilemaan tiedonvaihtoa piirtämällä ydinvoima-alaan liittyviä kuvia selästä selkään -menetelmällä. Kiitokseksi monipuolisesta ohjelmasta me suomalaiset opetimme isännillemme monipuolista suomalaista laulukulttuuria. Kaiken kaikkiaan verkostoitumislallinen täytti vatsan lisäksi muutkin odotukset – mukavassa ilmapiirissä vaihtuivat niin ammatilliset kuulumiset kuin näkemykset toistemme kulttuureista ja toimintatavoista.



Primääripiirin arvot tarkassa seurannassa suurien ja äkillisten muutosten jälkeen.



Lauantai 25.3.

Unbelievable Adventures of Finns in Russia

Lauantaina paikalliset ydinvoimanuoret olivat järjestäneet meille huikean kaupunki-seikkailun. Seikkailu pohjautui elokuvaan "Unbelievable Adventures of Italians in Russia", jossa etsitään Pietarissa leijonan lähelle piilotettua aarretta. Lähdimme metsästämään aarteen päällä istuvaa leijonaa ympäri kaupunkia, ja kävikin ilmi, että Pietarissa on melko paljon erilaisia leijonafiguureja.

Koko kaupunkikierto oli suunniteltu huolella. Jo ennen kuin lähdimme reissuun, meille oli annettu kotitehtäväksi katsoa kyseinen elokuva Youtubesta. Aamulla kokoontuimme räntäsateeseen ihmettelemään, mikä meitä odottaisi. Paikalliset isännät ja emännät olivat olleet kovin salaperäisiä päivän ohjelmasta. Meille esitettiin pieni kohta elokuvasta, joka loi pohjan aarteen etsinnälle. Jakaannuimme kahteen joukkueeseen ja saimme kartan sekä kuvan leijonapatsaasta. Molemmissa joukkueissa oli myös useampia paikallisia, mutta suomalaiset laitettiin kartanlukijoiksi.

Löysimme ensimmäisen rastin, ja sen lähistöltä pussiin pakatun leijonapehmoleulun sekä uuden kartan palasen. Jatkoimme suunnistusta seuraavalle rastille ja yritimme ehtiä aarteen luokse ennen toista joukkuetta. Lopulta olimme päätyneet kiertämään suuren osan Pietarin keskustasta, ja meillä oli reput ja sylit täynnä pehmoleijonia. Mahdoimme näyttää veikeältä seurueelta.

Kierroksellamme näimme Pietarin upeimpia nähtävyyksiä, kuten Eremitaašin ja Talvipalatsin, ja vaihdoimme tarinoita kulkiessamme Nevan rantaa. Reitti oli pitkä ja eksyäkin ehdimme pari kertaa. Paikalliset olivat nähneet suuren vaivan, jotta saisimme kokea Pietarin hauskan seikkailun ja pienen kilpailun kautta. Loppumetrit juoksimme, ettei toinen joukkue vain ehtisi ensin. Muistelimme, että elokuva päättyi eläintarhaan, jossa oikea leijona vartioi aarretta. Saavuimme perille, ja yhteyshenkilömme Daria Petrova julisti upeassa leijonakasvomaalissaan uuden ystävytemme olevan suurin aarre. Pehmoleijonat jaettiin muistoksi kaikille, jotka olivat vielä ilman. Suuri seikkailumme oli päättynyt. Pietari oli kierretty ja ystävytemme solmittu. 🌸

Aartenetsijät ja leijonalauma maalissa eläintarhan edessä.

SAFIR2018

– Kansallisen ydinturvallisuus- tutkimusohjelman puoliväli

Nelivuotisen SAFIR2018-ohjelman puoliväliseminaari järjestettiin Espoossa 23.–24.3. Tilaisuudessa esiteltiin kaikkiaan 29 projektin tärkeimpiä tuloksia sekä summattiin ohjelman tähänastista antia eri sidosryhmille. Ensimmäistä kertaa SAFIR-seminaari oli helposti lähestyttävissä myös kansainvälisesti, sillä tilaisuutta pystyi seuraamaan videoituna verkossa.

Teksti: Anna Nieminen

SAFIR2018-SEMINAARIN AVASI Teollisuusneuvos Liisa Heikinheimo TEMistä. Ydinenergialain mukainen tavoite ydinturvallisuustutkimukselle on varmistaa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ydinteknistä asiantuntemusta, jotta uusien turvallisen käytön kannalta merkittävien seikkojen vaikutus voidaan viivytyksettä selvittää. Tavoite saavutetaan yhteistyöllä: alusta asti SAFIR-ohjelmien suunnitteluun ja arviointiin ovat osallistuneet kaikki alan sidosryhmät. Tämä on mahdollistanut laadukkaan ohjelman, jonka tuloksilla on ollut arvoa loppukäyttäjille.



DI Anna Nieminen
Vastaava päätoimittaja
ATS Ydintekniikka
anna.nieminen@vtt.fi

STUKin pääjohtaja Petteri Tiippana korosti SAFIR-ohjelman koulutusvaikutusta omassa puheenvuorossaan. Jotta voimme ylläpitää ja kehittää hyvää ydinturvallisuutta, meillä on oltava oikeat ja ajantasaiset työkalut sekä riittävästi osaamista niiden hyödyntämiseen. Tutkimuksen tehtävänä on myös varautua uuhin, jotka eivät vielä edes ole tiedossa. Pääosin SAFIR-ohjelman ansiosta Suomi oli keskimäärin muita maita paremmin varautunut Fukushimaan seurauksena esille nousseisiin seikkoihin.

Fukushiman vaikutus

Seminaarin pääanti oli toki ohjelman projektien tähänastisissa tuloksissa, jotka on hyvin tiivistetysti koottu seuraavan aukeaman taulukkoon. Projektiesitysten lisäksi kuultiin kaksi kutsuttua puheenvuoroa liittyen Fukushimaan onnettomuuden seurauksiin. STUKin pääjohtaja Petteri Tiippana kertoi Fukushimaan vaikutuksesta ydinturvallisuuden ja VTT:n johtava tutkija Ilona Lindholm kertoi, millaisia tutkimustarpeita onnettomuus nosti esille.

Konkreettisimmin Fukushimaan onnettomuus on vaikuttanut ydinturvallisuuden stressitestien kautta, joiden seurauksena laitoksilla on tehty muutoksia liittyen esimerkiksi riippuvuuden vähentämiseen lopullisesta lämpönielusta. Myös analyysit äärimmäisiin luonnonilmiöihin ja


usean laitoksen samanaikaiseen onnettomuuteen varautumiseksi on todettu tarpeellisiksi. Isommassa mittakaavassa lukuisia kansainvälisiä ohjeistoja on päivitetty sekä viranomaisen roolia on vahvistettu kuten myös varautumista onnettomuustilanteisiin. Panostukset ovat kuitenkin olleet hyvin erilaisia eri maissa.

Vakavien onnettomuuksien ilmiöiden tutkimuksen tärkeys ylipäättään on korostunut Fukushimaan tapahtumien myötä. Jotta onnettomuuksien hallintastrategioita voitaisiin parantaa, on voitava ennustaa mahdollisimman tarkasti, miten onnettomuus missäkin tilanteessa etenee. Vakavien onnettomuuksien tutkimuksessa kansainvälinen yhteistyö korostuu, sillä kokeellinen tutkimus on erittäin kallista ja toisaalta välttämätöntä luotettavien analyysien varmistamiseksi.

Onnettomuuden seurauksena SAFIR-ohjelmaan toivottiin tutkimusta liittyen erityisesti äärimmäisiin sääilmiöihin, lähdetermiin, turvallisuusmarginaaleihin, mahdolliseen onnettomuuteen käytetyn polttoaineen altaassa, organisaation turvallisuuskulttuuriin, passiivisiin turvajärjestelmiin sekä onnettomuuden pitkäaikaisvaikutuksiin liittyen esimerkiksi suojarakennuksen läpivientien tiivisteiden kestävytyteen säteilyssä ja betonirakenteiden ikääntymiseen. Monia näistä aiheista on jo jollain tasolla tutkittu SAFIR-ohjelmassa jopa ennen Fukushimaa.

Yhteenveto tähänastisesta

Tilaisuuden päätti SAFIR2018-ohjelman johtoryhmän puheenjohtaja Marja-Leena Järvinen STUKista. Ohjelma on puolivälissä ja on selvää, että monilta osin projekteissa ei ole saavutettu vielä lopullisia tuloksia. Kuitenkin jo nyt voidaan tarkastella saavutuksia yleisellä tasolla. Ohjelmassa rakennetaan kansallista osaamista, jota hyödynnetään monin tavoin. Yksi tärkeä tulos on käytettävissä olevat validoidut koodit ja erityisesti itse kehitetyt ohjelmat, joista osa voidaan luokitella menestystarinoiksi.

Seuraavan ydinturvallisuustutkimusohjelman suunnitteluryhmä nimitetään vuoden 2017 aikana ja alan organisaatioissa suunnitteluun tulisivatkin varautua jo nyt. On syytä aloittaa keskustelu siitä, millaisiin kysymyksiin tulevassa ohjelmassa etsitään vastauksia. 

Tilaisuuden esitykset ovat nähtävissä SAFIR-ohjelman kotisivuilla <http://safir2018.vtt.fi/> sekä pdf-muodossa että videoina.

TAPAHTUMAT

Projekti	Tärkeimmät tulokset
Tutkimusalue 1: Automaatio, organisaatio ja inhimilliset tekijät	
CORE – Crafting operational resilience in nuclear domain	Operatiiviseen toimintakykyyn eli resilienssiin vaikuttavien tekijöiden ja resilienssin ilmenemisen tunnistaminen ydinvoimalaitoksen käyttöhenkilöstön toiminnassa sekä keinojen löytäminen toimintakyvyn parantamiseksi laitoksen eri käyttötiloissa.
SAUNA – Integrated safety assessment and justification of nuclear power plant automation	Monitekni- ja välineistön kokoaminen ydinvoimalaitoksen automaation turvallisuuden arviointiin ja osoittamiseen. Tarkastelun kohteena ovat paitsi tekniset järjestelmäratkaisut, myös suunnitteluprosessit, sekä suunnitteluun osallistuvien organisaatioketjujen toimintakulttuurit.
MAPS – Management principles and safety culture in complex projects	Uutta tietoa monimutkaisten projektien hallinnasta ydinvoimateollisuudessa. Välitulosten perusteella voidaan kehittää projektiverkostojen hallintaa, oppia norjalaisen öljy- ja kaasuteollisuuden projektienhallinnan hyvistä käytännöistä, parantaa turvallisuuskulttuuria sekä soveltaa systeemidynaamista mallinnusta ydinvoimaprojekteissa.
Tutkimusalue 2: Vakavat onnettomuudet ja riskianalyysi	
ERNEST – Experimental and numerical methods for external event assessment improving safety	Kokeellinen data ilmiöistä, jotka esiintyvät lentokoneen törmätessä teräsbetoniseen rakennukseen sekä laskennallisten menetelmien ja mallinnustekniikoiden kehitys sekä validointi teräsbetonirakenteiden epälineaariseen dynaamiseen analysointiin.
CASA – Comprehensive analysis of severe accidents	Laaja-alaisen analyttisen osaamisen kasvatus seuraavissa vakavien reaktorionnettomuuksien aihepiireissä: partikkelipedin jäädytettävyyden, sydänsulan hallinta sydänsiepparissa, höyry- ja vetyräjähdys, fissiotuotteiden käyttäytyminen ja annosnopeudet suojarakennuksessa sekä ympäristövaikutukset.
CATFISH – Chemistry and transport of fission products	Vakaviin onnettomuuksiin liittyvässä kokeellisessa tutkimuksessa saatava informaatio fissiotuotteiden kulkeutumisesta ja kemiasta primääripiirissä sekä suojarakennuksessa, säteilyn vaikutuksesta fissiotuotteiden käyttäytymiseen, fissiotuotteiden suodattamisesta/pysäyttämisestä ja laskentamallien validointi sekä kehitys.
PRAMEA – Probabilistic risk assessment method development and applications	Uuden tiedon tuottaminen ja osaamisen kehittäminen lähes kaikilla PRA:n osa-alueilla keskittyen muun muassa ihmisen toiminnan luotettavuuteen digitalisoidussa valvomossa, tasojen 1 ja 2 integrointiin FinPSA-ohjelmassa, monen yksikön PRA:han sekä tason 3 menetelmien kehitykseen.
EXWE – Extreme weather and nuclear power plants	Syvennetään ympäristöolosuhteiden ymmärtämistä keskittyen ilmaston ja Itämeren ääri-ilmiöihin laitospaikoilla. Tarkasteltavina ovat ydinvoimalaitosten kannalta kriittisten sääilmiöiden esiintyminen muuttuvassa ilmastossa, meriveden korkeuden vaihtelut eri aikaskaaloissa sekä hienohilaisen meteorologisen mallinnuksen hyödyntäminen arvioitaessa päästöjen leviämistä rannikon läheisyydessä.
FIRE – Fire risk evaluation and defence-in-depth	Kehitetään tulipalojen syvyyspuolustuksen toteutumisen arviointimenetelmää keskittyen ymmärtämään uusien palonsuoja-aineiden toimintaa mallintamalla, mittaamaan palo-suojattujen kaapeleiden vanhenemista, kehittämään CFD-laskentaan liitettävää rakenteiden palonkeston laskentatyökalua sekä palo-simulointi-ohjelmien kehitys ja ylläpito.
GENXFIN – Safety of new reactor technologies	Uusiin ydinvoimateknologioihin liittyvän tieteellisen osaamisen parantaminen kansainvälisen yhteistyön avulla sekä kansainvälisiin työryhmiin osallistumisen koordinoiminen ja työryhmistä saatavan tiedon jakaminen SAFIR-sidosryhmälle.
Tutkimusalue 3: Reaktori ja polttoaine	
KATVE – Nuclear Criticality and Safety Analyses Preparedness at VTT	Osaamisen kasvatus liittyen kriittisyysturvallisuuteen, säteilysuojelulaskentaan sekä lähdetermien, kuten jälkilämmön ja nukliidi-inventaarien, laskemiseen. Lisäksi kehitetään aktiivisuusinventaarilaskentaa ja neutronidosimetriaa sekä demonstroidaan kuivavarastosäiliön polttoaineanalyysiin vaadittavan laskentaketjun toiminta.
NEPAL 15 – Neutronics, burnup and nuclear fuel	Uusien osajien kouluttaminen reaktorifysiikkaan ja polttoainetutkimukseen: uusien menetelmien kehittäminen palamalaskentaan, niiden toteutus, evaluointi ja tieteellinen julkaisu, sekä uuden mesoskooppisen mallin kehittäminen polttoaineen ja siinä olevien fissiokaasujen käytökselle ydinreaktoriolosuhteissa.
MONSOON – Development of a Monte Carlo based calculation sequence for reactor core safety analyses	VTT:n Serpent Monte Carlo -reaktorifysiikkakoodin kehitys, erityisenä painopistealueena systemaattinen homogenisointi ja moniryhmävakioiden tuottaminen deterministisille polttoainekierto- ja transienttisimulaattorikoodille.
PANCHO – Physics and Chemistry of Nuclear Fuel	Ydinpolttoaineen käyttäytymisen tutkimus reaktorin normaali- ja onnettomuustilanteissa. Projektissa kehitetään malleja kuvaamaan erilaisia ydinpolttoaineessa tapahtuvia ilmiöitä, kehitetään suomalaista polttoainekoodia FINIXiä ja sovelletaan ulkomaisia ohjelmia soveltuviksi suomalaisille laitoksille.
SADE – Safety analyses for dynamical events	Turvallisuusanalyyseissä tarvittavan osaamisen ja ohjelmien kehitys: CFD-laskennan kytkeminen transienttialyysiin, reaktoridynamiikkaohjelmien kehitys sekä onnettomuus- ja häiriötapausten laskenta. Työn keskiössä on neutroniikan, systeemikoodien, polttoainemallinnuksen ja termohydrauliikan yhdistäminen yhä tarkemmaksi turvallisuusanalyysin työkaluksi.

Projekti	Tärkeimmät tulokset
Tutkimusalue 4: Termohydrauliikka	
INSTAB – Couplings and instabilities in reactor systems	Lämpötilakerrostuneen lauhdutusaltaan sekoittumisen tehokkuutta ja mekanismeja, kuten sisäinen kierto ja eroosio, on tutkittu sparger-putken sekä RHR- ja spray-suuttimien toiminnan yhteydessä LUT:n PPOOLEX koelaitteistossa. Koedatan avulla on kehitetty ja validoitu sekoittumiseen ja lauhutumisilmiöihin liittyviä laskentamalleja yhteistyössä VTT:n ja KTH:n kanssa.
INTEGRA – Integral and separate effects tests on thermal-hydraulic problems in reactors	Reaktorien termohydrauliikkaan ja reaktoriturvallisuuden olennaisesti vaikuttavien ilmiöiden merkityksen selvittäminen kokeellisesti: täydentävää vertailuaineistoa useille eri mittakaavan koelaitteistoille sekä passiivisen piirin käytettävyydestä turvallisuusanalyysien varmentamiseksi.
NURESA – Development and validation of CFD methods for nuclear reactor safety assessment	Termohydrauliikan kolmiulotteisten laskentamenetelmien kehittäminen ja kelpoistaminen ydinreaktoreiden turvallisuustarkasteluja varten: vedyn kerrostuminen ja sekoittuminen suojarakennuksissa, kiehutusvesireaktorin paineenalennusaltaan lämpökerrostuminen, lämmönsiirtokriisi painevesireaktorin reaktorin sydämessä sekä höyrystimen käyttäytyminen höyryputken katketessa.
COVA – Comprehensive and systematic validation of independent safety analysis tools	Parannetaan ydinvoimalaitosten turvallisuusanalyysissä käytettävien analyysiohjelmistojen luotettavuutta kehittämällä niiden validointiprosessia järjestelmällisempään ja täsmällisempään suuntaan. Projektissa on tehty selvitys Apros-ohjelmiston termohydrauliikka- ja suojarakennusmallien validoinnin nykytilasta ja selvityksen perusteella tehdään jatkovalidointitöitä. Projekti sisältää myös uusien kokeiden analysointia.
USVA – Uncertainty and sensitivity analyses for reactor safety	Herkkyys- ja epävarmuusanalyysimenetelmien sekä osaamisen kehittäminen reaktorimallinnuksen eri osa-alueissa: neutroniikan, polttoainemallinnuksen ja termohydrauliikan kautta aina kytkettyihin kokosydänratkaisuihin saakka.
Tutkimusalue 5: Rakenteiden eheys	
FOUND – Analysis of fatigue and other cumulative ageing to extend lifetime	Primääripiirin ikääntymisen ja mahdollisen vaurioitumisen kokeellinen ja laskennallinen tutkimus sekä näiden menetelmien kehitys. Eliniän arvioimiseksi analysoidaan mm. paineastian ikääntymistä, ympäristövaikuteista ja termistä väsymistä, riskipohjaista eheyden tarkastelua, putkistovärähtelyjen vaikutusta sekä käytönaikaista jäännösjännitysten relaxaatiota.
LOST – Long term operation aspects of structural integrity	Rakenteellisen eheyden arviointimenetelmien kehitys reaktoripainesäiliölle ja eriparihitsiliitoksille.
MOCCA – Mitigation of cracking through advanced water chemistry	Tutkitaan mahdollisuuksia ehkäistä korroosiovaurioita vesikemian avulla: amiinien vaikutus saostumien syntyyn, pinta-aktiivisten amiinien passivoiva vaikutus, hydratsiinin korvaaminen, lyijyn aiheuttama jännityskorroosio ja sen ehkäiseminen
THELMA – Thermal ageing and EAC research for plant life management	Ydinvoimalaitosmateriaalien vauriomekanismien ymmärtäminen ja ympäristövaikutusten määrittäminen. Nikkelpohjaisen Alloy 690 termisestä vanhenemisesta on saatu uutta tietoa väitöstyössä, joka on juuri valmistunut. Lyhyen etäisyyden järjestäytyminen aiheuttaa materiaalin kovuuden kasvua ja hilan kutistumista, millä voi olla vaikutusta materiaalin pitkäaikaiseen käyttäytymiseen esim. kasvaneena jännityskorroosioalttiutena.
COMRADE – Condition monitoring, thermal and radiation degradation of polymers inside NPP containments	Kunnonvalvontamenetelmän kehitys eri kokoisille ja eri materiaaleista valmistetuille O-renkaille, joita käytetään tyypillisesti eri sovelluksissa suojarakennuksen sisäpuolella. Lisäksi tutkitaan polymeerien vanhenemista erityisesti säteilyn ja lämmön yhteisvaikutuksessa sekä kokeellisesti että tietokoneavusteisten laskelmien avulla.
WANDA – Non-destructive examination of NPP primary circuit components and concrete infrastructure	Ainetta rikkomattoman tarkastusosaamisen ylläpito ydinvoimalaitosten määräaikaistarkastuksia varten sekä tietotaidon siirtäminen nuoremmalle sukupolvelle. Tutkitaan sekä primääripiirin komponentteja, että betonirakenteita. Austeniittisten hitsien tarkastuksen luotettavuutta arvioidaan käyttäen myös simulaatiota sekä muita apuvälineitä.
Tutkimusalue 6: Tutkimusinfrastruktuuri	
JHR – JHR collaboration & Melodie follow-up	Suomalainen työryhmäedustus rakenteilla olevaan Jules Horowitz Reactor -materiaalitutkimusreaktoriin. Työryhmät valmistelevat tulevien tutkimusohjelmien sisältöjä.
INFRA – Development of thermal-hydraulic infrastructure at LUT	LUTin termohydraulisen mittausrakenteiden kehittäminen, olemassa olevien koelaitteistojen ylläpito sekä uuden, ison kokoluokan integraalikoelaitteiston suunnitteluun ja rakentamiseen valmistautuminen. Erityisesti edistykseen mittausinfrastruktuuriin, kuten PIV (Particle Image Velocimetry), WMS (Wire-Mesh Sensors) sekä suurnopeuskamerat, liittyvä osaaminen on lisääntynyt merkittävästi.
RADLAB – Radiological laboratory commissioning	VTT:n radioaktiivisten aineiden tutkimiseen tarkoitettua infrastruktuuria uusiminen; uuden kuumakammilaboratorion suunnittelu ja niihin liittyvien laitteistojen hankinta.

Umpilähteen vuoto paljasti kehittämistä STUKin valvonnassa ja jätehuollossa

Maanantaina, 7. maaliskuuta 2016, havaittiin poikkeavan korkea Cs-137-pitoisuus STUKin ilmakerääjien laboratoriomittauksissa. Ilmakerääjät olivat keränneet näytteet 3.–4. maaliskuuta 2016 STUKin rakennuksen katolla. Pitoisuus oli kolme kertaluokkaa suurempi kuin normaalisti. Havainnosta käynnistyi pitkä operaatio, joka kulmineoitui Onnettomuustutkintakeskuksen tutkintaselosteeseen ja siinä esitettyihin suosituksiin.

Teksti: Santtu Hellstén

RADIOAKTIIVISIA JÄTTEITÄ käsittelevän yrityksen tiloissa tapahtui maaliskuussa 2016 radioaktiivisen Cs-137:n vuoto umpilähteestä. STUK havaitsi vuodon 7.3.2016 toimitilojensa katolla olevilla ilmakeräimillä. Alkualetus oli, että päästö oli tapahtunut muualla, ja STUK aloitti heti tilanteen

tarkemman kartoittamisen ja päästölähteen etsinnän. Pian kuitenkin paljastui, että vuodon lähde oli samassa kiinteistössä kuin STUK.

Vuototapaus

Umpilähteen käsittelyn yhteydessä vapautunut kontaminaatio levisi esimerkiksi ilmastointikanavien kautta STUKin katolle, jossa vuoto havaittiin ensimmäisen kerran. Tapauksen jälkeinen puhdistus oli pitkä prosessi, joka saatiin päätökseen tämän vuoden alussa. Puhdistettaviin kohteisiin kuuluivat pintojen lisäksi muun muassa ilmastointi- ja viemäriputkia.

Tapauksen vuoksi Suomen ainoan radioaktiivisia jätteitä käsittelevän tunnistetun laitoksen toiminta on ollut keskeytyksissä. Tämä on aiheuttanut sen, että käytöstä poistettuja umpilähteitä on säilytetty toiminnanharjoittajien ja maahantuojien varastoissa.

Umpilähde, josta vuoto oli peräisin, on vuodelta 1982, eli yli 30 vuotta vanha. Sitä käytettiin hakepinnan korkeuden mittaamiseen.

Lähde oli ollut käytöstä poistoonsa asti samalla käyttöpaikalla.

Umpilähteiden valmistajat antavat lähteilleen niin sanotun suositellun käyttöiän, joka on tyypillisesti 15 vuotta. Käsite on peräisin 1970-luvulta, ja sen tarkoitus on kertoa kuinka kauan lähteen valmistaja takaa sen kunnan suunnitelluissa käyttöolosuhteissa. Kyseinen umpilähde oli siis noin kaksi kertaa suositellun käyttöiän ikäinen.

Vuodon aiheuttanut mekanismi on vielä epäselvä. STUK onkin päättänyt teettää asiasta tutkimuksen, ja sopimusneuvottelut ovat loppusuoralla. Tulosten toivotaan antavan lisätietoa siitä, mikä lähteen lopulta rikkoi ja toisaalta antavan eväitä ikääntymisen hallintaa koskeviin tarkempiin vaatimuksiin.

STUKin vaatimukset umpilähteille

Turvallisuuspäätös myöntäessään STUK vaatii hakijaa osoittamaan, että umpilähteet ovat tiiviitä ja että ne soveltuvat käyttöönsä. Lisäksi lähteen aktiivisuus ei saa olla suurempi kuin mikä on tarpeen. Uusien umpilähteiden aktiivisuudet ovatkin viime vuosina pienentyneet kehittyneen detektoriteknikan ansioista. Umpilähteiden käyttöä säädellään ohjeessa ST 5.1 *Umpilähteiden ja niitä sisältävien laitteiden säteilyturvallisuus* (13.9.2016). Vuototapauksen jälkeen STUK päivitti ohjetta, ja siihen tarkennettiin milloin pyyhintäkokeita on tehtävä:

”Umpilähteelle on tehtävä standardin ISO 9978 mukainen tai muu soveltuva pyyhintäkoe, kun

- umpilähde tai sen välittömässä läheisyydessä olevia osia (esim. suljin) irrotetaan huollon tai muun syyn takia
- säteilylähde vaihdetaan
- säteilylähde luovutetaan toiselle toiminnanharjoittajalle ja edellisestä pyyhintäkokeesta on yli yksi vuosi
- on mahdollista, että ympäristöolosuhteet (esim. syövyttävät aineet, kosteus, lämpötila, värinä) tai muut syyt ovat vaikuttaneet säteilylähteen tiiviyteen haitallisesti
- kiinteästi asennettu säteilylähde irrotetaan käyttöpaikaltaan (esim. varastoidaan, luovutetaan kuljetettavaksi tai poistetaan käytöstä).

Tarvittaessa pyyhintäkokeita on tehtävä säännöllisesti. Säännöllisiä pyyhintäkokeita harvittaessa on otettava huomioon esimerkiksi valmistajan suositteleman käyttöiän (recommended working life) ylittyminen ja käyttöolosuhteet.”



DI Santtu Hellstén
Toimistopäällikkö
Säteilyturvakeskus
santtu.hellsten@stuk.fi

Viimeinen vaatimus antaa siis veloitteen toiminnanharjoittajalle harkita, onko pyyhintänytteitä otettava säännöllisesti muustakin syystä, erityisesti jos suositeltu käyttöikä on ylittynyt, sillä toiminnanharjoittaja tuntee lähteidensä käyttöolosuhteet. Vaatimusten tarkentamisen lisäksi STUK on muuttanut valvontakäytäntöjään tarkastuksilla ja esimerkiksi hankkinut lisää soveltuvia mittareita valvontakäyttöön.

Vuototapauksen jälkeen STUK päätti teettää diplomityön umpilähteiden ikääntymisestä. Diplomityö on tällä hetkellä tarkastettavana. Yksi työn teettämisen tarkoitus oli saada tieteellistä taustaa umpilähteitä koskevien vaatimusten tarkentamiseen. Lisäksi dokumentoitiin valittujen muiden maiden vaatimuksia umpilähteille. Työssä annetaankin suosituksia muun muassa suositellun käyttöiän ylittävien umpilähteiden valvontaan sekä selvitetiin potentiaalisia riskikohteita 6000 turvallisuusluvuissa olevan umpilähteen joukosta. Näitä tietoja voidaan käyttää valvonnan kohdentamisessa.

Uusi säteilysuojeludirektiivi on saatettava voimaan helmikuussa 2018. Osana säteilylain uudistusta STUKin ST-ohjeet poistuvat, ja ne korvataan osittain STUKin antamilla määräyksillä. Määräysten laatiminen on työllistänyt STUKia huomattavasti tänä vuonna. Umpilähteitä ja niiden ikääntymistä koskevia vaatimuksia tullaan edelleen tarkentamaan määräyksissä. Vaatimuksissa otetaan huomioon tapauksen opit ja muun muassa edellä mainitun diplomityön suositukset.

OTKESin tutkinta

STUKin pääjohtaja Petteri Tiippana pyysi Onnettomuustutkintakeskusta (OTKES) suorittamaan tapauksesta tutkinnan. OTKES aloittikin tutkinnan, ja tutkintaselostus valmistui maaliskuussa 2017. Selostus sisälsi aiheellisia suosituksia muun muassa valvonnan ja kansallisen jätehuollon kehittämistä. STUKin kannalta tutkinta oli erittäin hyödyllinen. Suosituksia annettiin yhteensä neljä kappaletta koskien radioaktiivisten pienjätteiden käsittelyä, STUKin ohjeiston veloitavuutta, radioaktiivisen jätteen kansallista käsittelyä ja STUKin viestintää. STUK on omalta osaltaan tehnyt suositusten mukaisia tarkennuksia toimintaansa jo ennen selostuksen valmistumista.

Vuototapaus nosti esille kansallisia ongelmia radioaktiivisen jätteen käsittelyssä. Tapauksen jäljiltä on syntynyt matala-aktiivista radioaktiivista jätettä, jonka käsittely Suomessa ei ole tällä hetkellä mahdollista. Ydinvoimalaitoksilla olisi tällaiseen tiloja ja varusteita, mutta niiden lupaehdot eivät salli muualta tulleen radioaktiivisen jätteen käsittelyä.


Tilanne on ollut osittain tiedossa jo aiemmin. Esimerkiksi radionuklidilaboratorioilla on ollut vaikeuksia viedä jätteenpolttolaitoksille tai kaatopaikoille jätteitä, jotka aktiivisuutensa tai aktiivisuuspitoisuutensa perusteella eivät ole radioaktiivista jätettä. OTKES suosittikin seuraavaa:

”Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) ja työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) luovat yhteistyössä radioaktiivisen jätteen lupien myöntämiseen ja valvontaan menettelyt, joilla varmistetaan, että kaikki Suomessa syntynyt radioaktiivinen jäte voidaan turvallisesti käsitellä, varastoida ja loppusijoittaa maassamme siltä varalta, että sen palauttaminen maahantuojien kautta valmistajamaahan osoittautuu epätarkoituksenmukaiseksi tai mahdottomaksi.”

Tämä työ voi kestää pitkään, mutta nyt se on alkanut.

Säteilyn käytön valvonta

STUK valvoo säteilyn käyttöä säteilylain (592/1992) nojalla. Säteilyn käyttöön tarvitaan turvallisuuslupa, jonka STUK myöntää hakemuksesta, jos luvan myöntämisen edellytykset täyttyvät. Turvallisuuslupia säteilyn käyttöön teollisuudessa ja tutkimuksessa on noin 1 100 kpl. Turvallisuusluvan myöntämisen jälkeen pääasiallinen valvontakeino on määräajoin tehtävät tarkastukset. Muita valvontakeinoja ovat esimerkiksi erilaiset selvitykset ja kyselyt. Tarkastuksien tavoiteaikaväli on toimintaan liittyvien riskien perusteella 2–8 vuotta. Joka toinen vuosi tarkastetaan esimerkiksi hiukkaskiihdyttimet, joihin liittyy isotoppituotantoa. Joka 8. vuosi tarkastetaan pienimmän riskin toimintoja, esimerkiksi lentokentillä ja elintarviketeollisuudessa käytettäviä läpivalaisuröntgenlaitteita. Vuosittain tavoitteena on tehdä noin 200 teollisuuden ja tutkimuksen tarkastusta. Tavoitteesta ei valitettavasti ole pystytty pitämään kiinni muutamana viime vuonna. Esimerkiksi uuteen säteilylakiin liittyvät työt ovat työllistäneet runsaasti.

Vuototapaukseen liittyi kaksi turvallisuusluvan haltijaa: umpilähdettä käyttänyt yritys sekä radioaktiivisia jätteitä käsittelevä yritys eli niin sanottu tunnustettu laitos. Umpilähteitä on Suomessa teollisuuden ja tutkimuksen käytössä noin 6000 kpl. Yleisimmät nuklidit ovat Cs-137 ja Co-60. Vanhemmissa Cs-137 -umpilähteissä radioaktiivinen materiaali on tyypillisesti CsCl-muodossa, joka on natriumkloridin tapaan kiteinen suola. Uudemmissa lähteissä tämä materiaali on korvattu turvallisemmalla, esimerkiksi sulatetulla lasipelleillä. Umpilähteitä käytetään teollisuudessa muun muassa erilaisissa prosessiteollisuuden mittauksissa. Umpilähteiden määrä on ollut suhteellisen vakaa useita vuosia, sen sijaan röntgenlaitteiden määrä on kasvanut viime vuosina huomattavasti. 



Loviisan voimalaitoksen nestemäisten radioaktiivisten jätteiden kiinteytyslaitos

Haastavat betonikemialliset reaktiot, yli 30 vuoden kehitystyö, epäonnistumiset ja onnistumiset sekä loppusijoituksen vastuullisuus. Nämä olivat ensimmäiset asiat, jotka tulivat mieleeni pohtiessani artikkelini sisältöä. Mikä siis on Loviisan voimalaitoksen nestemäisten radioaktiivisten jätteiden kiinteytyslaitos, ja miten edellä mainitut asiat liittyvät sen toimintaan?

Teksti: Ilkka Ropponen **Kuvat:** Fortum

Loviisan voimalaitoksen nestemäisten radioaktiivisten jätteiden kiinteytyslaitos sai tuotannollisen käyttö lupansa helmikuussa 2016, ja sen on tarkoitus toimia, voimalaitoksen nykyisen käyttöään puitteissa, Hästholmenin saarella 2060-luvulle saakka. Kiinteytyslaitos on suunniteltu käsittelemään kaikki voimalaitoksen tuotannollisessa käytössä ja käytöstäpoiston yhteydessä syntyvät radioaktiiviset nestemäiset jätteet, jotka voidaan jaotella kolmeen ryhmään: viemäri-vesijärjestelmien pohjalietteet, evaporoimien jälkituotteena syntyvät haihdutusjätteet ja käytetyt radioaktiiviset ioninvaihtohartsit.

Radioaktiivisten nestemäisten jätteiden käsittelyprosessi voidaan jakaa kolmeen vaihee-

seen ennen loppusijoitusta: kiinteytystuotteen valmistus, kannen valu ja kiinteytystuotteen välivarastointi. Kiinteytyslaitos pystyy käsittelemään/varastoimaan kerralla noin 4 m³:n jäte-eriä, jotka annostellaan noin 400 litran erissä suoraan kuution vetoisiin betonisiin loppusijoitusastioihin, joissa jätteen sekaan annostellaan sementtiä, vettä, masuunikuonaa ja lisäainetta. Lopputuloksena saadaan 1500 kilogrammaa painava homogeeninen, tiivis ja luja betonimatriisi eli kiinteytystuote.

Kun kiinteytystuote on saavuttanut maksimilämpötilansa, voidaan loppusijoitusastia sulkea valamalla astialle kansi. Kansivalun jälkeen valmis jätepakkaus siirretään kiinteytyslaitoksella sijaitsevaan välivarastoon, josta

se voidaan kuljettaa loppusijoitustilaan aikaisintaan 28 vrk:n kuluttua. Käsiteltävän jätteen luonteen vuoksi käytännössä katsoen kaikki toimet kiinteytyslaitoksella suoritetaan omasta valvomosta, josta prosessia valvotaan muun muassa säteilymittausten, vaakojen, kameroiden ja lämpötilamittausten avulla.

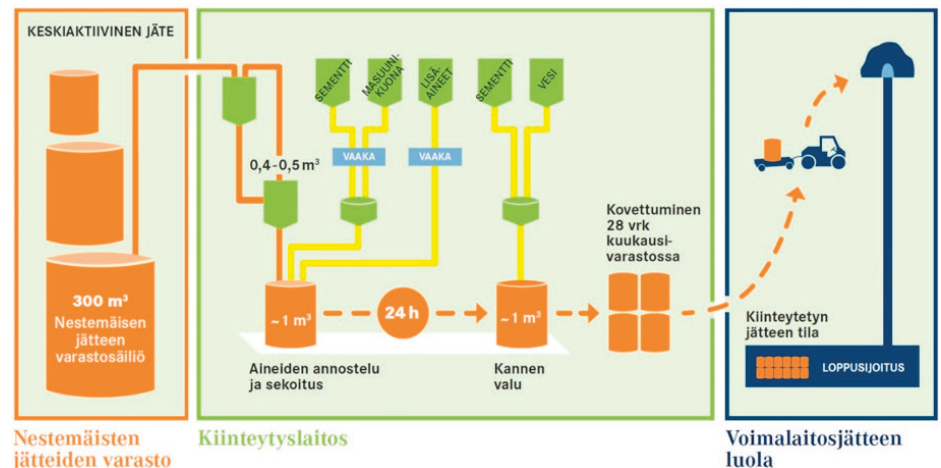
Kiinteytyslaitoksen suunnittelu ja koekäyttö – perusta tuotannolle

Kiinteytyslaitoksen esisuunnittelu aloitettiin jo 1980-luvulla ja suunnittelu jatkui käytännössä vuoteen 2002 asti, minkä jälkeen aloitettiin itse laitoksen rakennustyöt. Esisuunnitteluvaihe sisälsi pääasiassa uraa uurtavia pitkäaikaisturvallisuuskokeita, kiinteytysreseptien kehitystä simuloituilla jätteillä ja loppusijoitusastian kehitystyön. Mainittakoon että betonisen loppusijoitusastian suunnitteluikeä on 500 vuotta. Lyhyesti sanottuna esisuunnitteluvaihe loi vanhan perustan kiinteytyslaitoksen suunnittelulle, rakentamiselle ja tuotannolliselle käytölle.

Ensimmäisen kerran radioaktiivista jätettä annosteltiin edellä kuvatulla tavalla huhtikuussa 2006, jolloin kiinteytyslaitoksen koekäyttö alkoi. Kun puhutaan pilot-laitoksesta, ei haasteilta ja epäonnistumisilta voida vältyä. Toisaalta epäonnistumisten kautta onnistumiset tuntuvat paljon makeammilta. Kiinteytyslaitoksen koekäyttövaihetta kesti vuoteen 2015, jonka aikana kiinteytystuotteelle luotiin muun muassa betonitekninen laadunvalvonta-ohjelma, suunniteltiin ja asennettiin kokonaan uusi kaasujen käsittelyjärjestelmä sekä kehitettiin, testattiin ja asennettiin hartsijätteen siirtojärjestelmät.



DI Ilkka Ropponen
Päällikkö, Kiinteytyslaitos
Fortum Power and Heat Oy,
Loviisan voimalaitos
ilkka.ropponen@fortum.com



Kiinteytyslaitoksen periaatteellinen toimintaperiaate.

Kiinteytyslaitoksen suunnittelu, kehitys ja tuotannollinen käyttö



Kiinteytyslaitoksen suunnittelu, kehitys ja tuotantokäytön elinkaari.

Vuosien 2013–2015 aikana betonitekniiset haasteet konkretisoituivat, kun valmiit, käyttämättömät loppusijoitusastiat eivät täytäneet laatuvaatimuksia. Poikkeaman takia kiinteytyslaitoksen koekäyttö keskeytettiin ja koko loppusijoitusastioiden valmistusketju jouduttiin käymään tarkasti läpi ja uusimaan. Selvitysten aikana tehtiin useita kymmeniä betonireseptivariaatioita sekä valettiin niin laboratoriomittakaavan kuin täyden mittakaavan astioita, minkä seurauksena pystyttiin niin teoria- kuin käytännön tasolla ratkaisemaan syyt poikkeamille, ehkäisemään niiden syntyminen sekä valamaan laadukkaampia ja toimivampia loppusijoitusastioita.



Betoninen käyttämätön loppusijoitusastia.

Kun betoniastioiden valmistusprosessi vaikiutui, Säteilyturvakeskus myönsi maaliskuussa 2015 kiinteytyslaitokselle luvan aloittaa käyttöönottovaiheen, joka sisälsi täyden mittakaavan kiinteytyskokeet todellisella jätteellä. Käyttöönotto vaihe onnistui odotuksia paremmin – kiinteytyslaitoksen pitkän ja tapahtumarikkaan historian vuoksi monet uskoivat, että käyttöönotossa ilmenisi uusia vastoinkäymisiä. Voidaankin sanoa, että juuri pitkän esisuunnittelun ja koekäytön aikana rakennettu perusta mahdollistivat käyttöönotto vaiheen täydellisen onnistumisen.

Kiinteelytystuotteen turvallisuus, laatu, tehokkuus ja tuotanto

Kun puhutaan radioaktiivisesta jätteestä ja sen loppusijoituksesta, esiin nousee turvallisuus. Kun ehdottoman turvallisuuden vaatimukseen lisätään laadukkuus ja tehokkuus eli jätteen mahdollisimman suuri osuus kiinteelytystuotteessa, saadaan yhtälö, joka kuulostaa erityisen haastavalta. Kuitenkin loppusijoituksen turvallisuus ja laadukkuus antavat työntekijöille, asiantuntijoille ja suunnittelijoille loistavat reunaehdot, joista ei voida tinkiä. Näiden reunaehtojen perusteella kiinteelytysprosessista, erityisesti kiinteelytystuotteesta, on saatu suhteellisen tehokas – kiinteelytystuotteen jätepitoisuus on noin 40%. Perusteellisen suunnitteluvaiheen aikana saatiin siis luotua tehokas ja laadukas kiinteelytystuote, ja prosessin jatkuva kehitystyö takaa loppusijoituksen turvallisuuden. Miten siis laatua valvotaan?

Laadunvalvonnassa kaikki lähtee jätteen jäljitettävyydestä eli jätteen sormenjäljestä. Jokainen loppusijoitettava jätematriisi on pystyttävä jäljittämään ja jätteen radionuklidikoostumus on tiedettävä. Jotta tämä olisi mahdollista, jokainen betoninen loppusijoitusastia on yksilöitävä tunnuksella. Toisin sanoen jäljitettävyyden alku on betonisen loppusijoitusastian valmistuksesta ja astian valmistuksen laadunvalvonnasta.

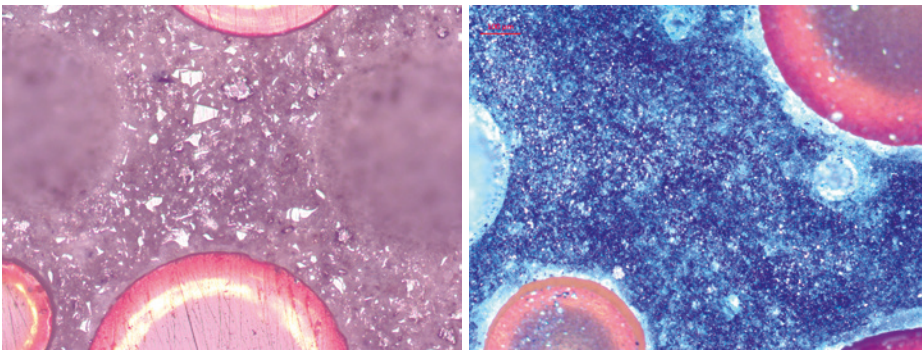
Astian laadunvalvonta on äärimmäisen tarkkaa, eikä poikkeamia sallita. Esimerkiksi astian runkoaineena käytettävien kivien sisältämä kosteus selvitetään aina ennen valmistuksen aloittamista. Koska betoninen loppusijoitusastia toimii loppusijoituksessa ensimmäisenä radioaktiivisuuden etenemiseen, loppusijoitusastian valmistuksessa käytettävän betonimatriisin on oltava erittäin tasalaatuista ja ennen kaikkea tiheää, mikä suojaa jätematriisia ulkopuolisilta uhilta. Jokainen valmis loppusijoitusastia hyväksytään Säteilyturvakeskuksella ennen astioiden käyttöönottoa.

Miten sitten yksittäinen astia saadaan yhdistettyä siihen annosteltavaan jätteeseen, ja miten voimme varmistua etukäteen kiinteelytystuotteen laadukkuudesta?

Jokaisesta kiinteelytystuotteesta siirrettävää jätte-erästä otetaan näyte nuklidispesifistä analyysiä varten, jolla luodaan jätteen sormenjälki. Näytteenotto käynnistää myös kiinteelytystuotteen laadunvalvontaohjelman. Ennen varsinaista kiinteelytystä jokaisesta jätte-erästä tehdään laboratoriomittakaavan kiinteelytyskoe, jolla varmistetaan, että valittu kiinteelytysresepti toimii analysoidulle jätteelle. Samalla varmistetaan, että kiinteelytystuote täyttää sille määrätty laatuvaatimukset.

Jotta kiinteelytysprosessin toimivuus ja tuotteen tasalaatuisuus voidaan varmistaa, myös kiinteelytystuotteesta määritetään betonin sitoutumisaika, leviämä ja märkätiheys. Kovettuneen kiinteelytystuotteen laatua tarkkaillaan kuivatiheyden, lujuuden (7 ja 28 vrk ikäisinä) sekä vesisäilytyskokeen avulla. Loppusijoituksen kannalta tärkein on 28 vrk:n lujuus, joka lopulta määrää, voidaanko kyseinen kiinteelytystuote loppusijoittaa.

Yhtä jätte-erää kohden syntyy keskimäärin 8 kiinteelytystä, joista kootaan yksityiskohtainen astiaraportti. Astiaraportti koostuu kiinteelytystuotteen laadunvalvontatuloksista, kiinteelytysprosessin parametreista ja kiinteelytystuotteen lämpötilaseurannasta. Astiaraporttiin on liitetty kiinteelytystuotteen käytetyn betoniastian tun-



Kiinteytystuotteen mikrorakenne 500-kertaisella ja 200-kertaisella suurennoksella.

nus, joka yhtenä tärkeimpänä tekijänä yksilöi laadunvarmistustulokset astiakohtaisiksi jätte-erien sisällä. Tunnuksen avulla jokaisen loppusijoitetun astian elinkaari pystytään jäljittämään aina betoniastian valmistuksen tuoremassaominaisuuksiin saakka.

Tutkimus ja kehitys

Kiinteytystuotteen hydrataatioreaktiot ovat hyvin monimutkaisia kemiallisia reaktioita, joihin vaikuttaa käytettävien aineiden koostumus ja reaktiivisuus veden kanssa sekä käytetyt lisäaineet. Yksinkertaisuudessaan hydrataatioreaktio tarkoittaa sementin ja veden välisen sitoutumisreaktion aikana tapahtuvia rinnakkaisia ja sarjassa tapahtuvia reaktioita, joiden vaikutuksesta massaan syntyy kiinteitä aineita eli hydraatteja. Kiinteytettävä jätte sisältää samaan aikaan hydrataatiota kiihdyttäviä ja hidastavia yhdisteitä (esim. Cl^- , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , NH_3 , BO_3^{3-}), mikä tekee kiinteytysprosessin hallinnasta äärimmäisen haastavaa, mutta erittäin mielenkiintoista. Hydrataatioreaktioiden käynnistäminen ja ylläpitäminen vaatii huo-

mattavan määrän lämpöä, mutta toisaalta lämpötila ei saa nousta liian korkeaksi. Liiallinen lämpötila saattaa heikentää betonirakennetta ja vapauttaa radionuklideja kiinteytettävästä ioninvaihtomateriaalista sitä ympäröivään sementtipastaan.


Pitkän reseptikehityksen tuloksena kiinteytystuotteen hydrataatiota hidastavien ja kiihdyttävien yhdisteiden vaikutus on saatu tasapainoon. Tämän seurauksena saadaan tuote, jonka lämmöntuotto on maltillista, saavuttaen maksimilämpötilansa noin 48–72 tunnin aikana. Lämpötila ei kuitenkaan nouse liian korkeaksi, jolloin betonirakenteella on hyvin aikaa muodostaa laadukkaat ja lujat sidokset. Kuten aiemmin on jo mainittu, Loviisan voimalaitoksen kiinteytyslaitoksen kiinteytystuote on myös hyvin tehokas, etenkin jos sitä verataan muualla maailmassa käytettäviin kiinteytystuotteisiin. Yleisesti voidaan todeta, että maailmalla käytössä olevissa vastaavaa teknologiaa käyttävissä yksiköissä hartsijätteen osuus kokonaistilavuudesta on noin 10–20 %, kun Loviisassa sama luku on > 40 %.

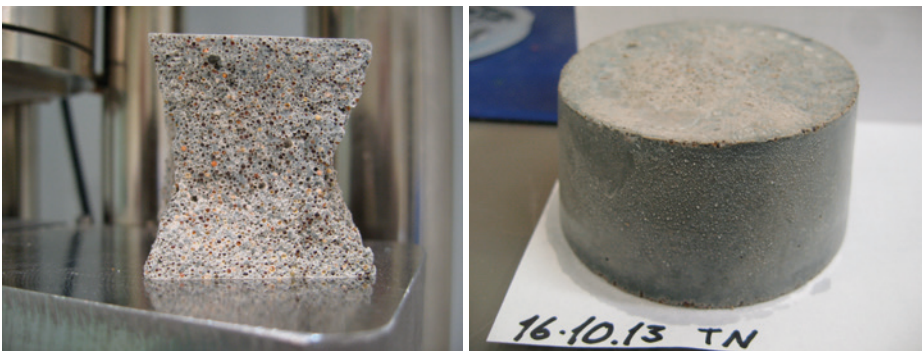
Kiinteytystuotteen tehokkuuden ja laa-

dukkuuden jatkuva kehitys on ensisijaisen tärkeää, minkä vuoksi vuoden 2013 aikana käynnistettiin kiinteytystuotteen kehityksen toinen vaihe. Vuoden 2017 alkuun mennessä toisen vaiheen aikaisia laboratoriokokeita on tehty jo lähes 150 kpl. Määrätietoisien tutkimuksen ansioista on saatu todella arvokasta tietoa kiinteytystuotteen mikrorakenteesta, ja sitä kautta on opittu ymmärtämään kiinteytystuotteen sielunelämää. Erityisesti mikrorakenteen tutkimuksista saatujen havaintojen perusteella kiinteytystuotteen jätemäärä on saatu laboratoriomittakaavassa kasvatettua > 50 %:iin.

Mikrorakennetutkimuksilla on ollut toinenkin hyvin tärkeä tavoite: tuotteen toiminta loppusijoitusolosuhteissa. Vuodesta 2013 lähtien jokaisesta laadunvalvontakoe kiinteytyskokeesta on tehty yksi kappale edellä mainittua tarkoitusta varten, missä kiinteytystuote on upotettu loppusijoitustilan pohjaveteen. Tutkimuksella pyritään selvittämään, miten kiinteytystuote käyttäytyy tilanteessa, jossa sen ympäriltä on satojen vuosien kuluessa hävinnyt kaikki kolmesta etenemisestestä ja loppusijoitustilan pohjavesi pääsee suoraan kosketuksiin jätematriisin kanssa.

Koe vaatii pitkäjänteisyyttä ja tarkoituksena on, että nyt tutkimukseen erityisesti valittuja kappaleita säilytetään veden alla useita vuosikymmeniä, minkä aikana niitä tutkitaan järjestelmällisesti. Kiinteytystuotteen laadusta kertoo se, että muutamia vuosia upotettuina olleet tuotteet ovat erittäin hyvässä kunnossa, eikä niissä ole nähtävissä betonimatriisin rapautumista tai halkeilua. Yksi tutkittavista kohteista tulevina vuosina on kiinteytysreseptissä käytettävä masuunikuona, jota mikrotutkimusten perusteella jää betonirakenteeseen vapaaksi, hydratoitumattomiksi (reagoimattomiksi) partikkeleiksi. Tämä mahdollistaa teoriassa sen, että kiinteytystuotteen lujuus saattaa jatkaa kasvamistaan, mikäli se joutuu kosketuksiin rakenteen ulkopuolisen veden kanssa.

Vaikka kiinteytyslaitoksen kehitystyö on jatkunut yhtämittaisesti lähes 40 vuoden ajan, on työtä jatkettava väsymättömästi. Kehitystyöllä lisätään ja ylläpidetään suomalaista betoniasiantuntemusta ja taataan laadukas ja turvallinen kiinteytyslaitoksen tuotannollinen käyttö. Hieman leikkisästi voidaankin loppuun todeta, että suomalainen on paras työnsä haastaja, sillä harvoin olemme tyytyväisiä oman työmme lopputulokseen. Vaikka lopputulos olisi maailman mittakaavalla kuinka laadukas tahansa, voi suomalainen todeta siitä häneltä kysyttäessä, että se on ihan OK. 



Kiinteytystuotteen laadunvalvontakappaleita: vasemmalla puristuslujuuskappale 7 vrk:n ja oikealla vesisäilytyskappale 3,5 vuoden ikäisinä.

Kyberturvallisuus on erottamaton osa ydinturvallisuutta

Tietoturvallisuuden roolia ydinlaitoksen elinkaaren eri vaiheissa ja suhdetta ydinturvallisuuteen on syytä pohtia.

Teksti: Jarkko Holappa ja Robert Valkama

Kuva: Lassi Kaaria ja Istockphoto, kuvankäsittely: Akseli Kilpinen, Brand MNGR

TIEDOTUSVÄLINEISSÄ kerrotaan lähes päivittäin erilaisista tietoturvaloukkauksista; milloin suurelta verkkokaupalta on kadonnut miljoonia luottokorttitietoja, milloin viranomaisen verkkopalvelut ovat alhaalla palvelunestohyökkäyksen takia. Ydinvoimalan toimijat ovat onneksi vain harvoin päätyneet otsikoihin. Miksi näin on, ja mitä on tehtävä, ettei tilanne muutu jatkossakaan?

Osittain syynä on laitosten ikä ja niissä käytetty teknologia. Maailman ydinvoimalaitokset ovat keskimäärin 30 vuotta vanhoja. Niiden tekniikka on suurimmaksi osaksi analogista, eikä ohjelmoitavaa digitaalista automaatiota ole juuri hyödynnetty. Tilanne on kuitenkin muuttumassa, sillä vanhoja lai-

toksia modernisoidaan ja uusia rakennetaan jatkuvasti lisää. Näissä nykyaikaisissa laitoksissa teknologia on sekoitus automaatiota ja ICT-teknologiaa.

Ohjelmoitavuuden ja verkottuneisuuden kautta IT-maailman kyberuhat ja tietoturvariskit päätyvät myös ydinvoimalaitosten suunnittelijoiden pohdittavaksi. Ydinvoimalan tulee pystyä varautumaan näihin uusiin uhkiin, jotta ydinturvallisuus voidaan varmistaa myös tulevaisuudessa.

Vakavia tapahtumia maailmalta

Ydinlaitokset eivät vähäisestä uutisoinnista huolimatta ole säästyneet puutteellisen kyber-

turvan aiheuttamilta ongelmilta, eivätkä suoranaisilta hyökkäyksiltä. Seuraavassa käydään läpi kolme tapausta, joissa puutteellisella tietoturvalla on ollut merkittävä rooli.

Ohjelmistopäivitys aiheutti reaktorin sammumisen Hatch NPP -ydinlaitoksessa:

Vuonna 2008 ulkoistetun huoltopalvelun työntekijä teki ohjelmistopäivityksen Hatch NPP -ydinlaitoksessa tietokoneeseen, joka oli yhdistetty toimistoverkkoon. Tietokonetta käytettiin diagnostiikkadatan keräämiseen ydinvoimalan prosessiohjausjärjestelmästä. Päivityksen piti synkronoida data prosessiohjauksen ja liiketoiminnan järjestelmissä, mutta sen sijaan päivitetty tietokone resetoikin koko prosessiohjausjärjestelmän datan uudelleenkäynnistämisen yhteydessä. Suojausjärjestelmä aiheutti jäähdytysvesitasojen laskun, mikä johti vuorostaan reaktorin sammumiseen. Huoltopalvelun työntekijä ei ollut tietoinen siitä, että toimistoverkossa oleva tietokone synkronoi prosessiohjausjärjestelmän ja -verkon dataa, jonka takia uudelleenkäynnistys aiheutti resetoinnin myös voimalan prosessiohjauksessa.

Tapauksen taustalla ei ollut tahallista toimintaa, saati haittaohjelmataruntaa. Kyseessä oli tahaton tietoturvatapahtuma, joka aiheutti ydinvoimalan järjestelmään suunnitteleemattoman muutoksen. Vaikka tällaiset muutokset eivät aina johdakaan merkittäviin seurauksiin, aiheuttavat ne riskin järjestelmän toiminnalle. Tietoturvamielessä hallitsemattomat muutokset ovat yksi suurimmista haavoittuvuuksien lähteistä.

Haittaohjelma japanilaisessa Monjun ydinvoimalassa:

Tammikuussa 2014 Monjun ydinvoimalan valvomotietokoneessa havaittiin haittaohjelmatarunta, joka oli tullut ilmeisesti ohjelmistopäivityksen mukana. Saastuneella tietokoneella oli yli 42 000 sähköpostia ja koulutusraporttia. Haittaohjelma lähetti tietoa Etelä-Koreassa sijaitseville palvelimille, joka voitiin jälkikäteen todentaa koneen lokitiedoista. Kone oli tavallinen toimisto-PC, joten ydinturvallisuuteen tällä tapahtumalla ei ollut onneksi vaikutusta. Koneen sijoituspaikan huomioiden tilanne olisi voinut olla myös hyvin vakava esimerkiksi, jos järjestelmässä olisi käsitelty vaikkapa polttoaineen siirtotietoja.



DI Jarkko Holappa

Johtava tietoturvakonsultti
Nixu Oyj
jarkko.holappa@nixu.com



Robert Valkama, insinööri (AMK)

Vanhempi tietoturvallisuuskonsultti
Nixu Oyj
robert.valkama@nixu.com

Bottiverkon haittaohjelma saastutti polttoainesauvoja hallinnoivan tietokoneen: Saksassa Gundremmingenin ydinvoimalassa havaittiin W32.Ramnit- ja Conficker-haittaohjelma vuonna 2008. Tietokone oli osa järjestelmää, jonka tehtävänä on siirtää polttoainesauvoja. W32.Ramnit on suunniteltu varastamaan tietoja saastuneelta tietokoneelta, ja se tarttuu Microsoft Windows käyttöjärjestelmään. Haittaohjelma antaa hyökkäjälle etäyhteyden kautta pääsyn tietokoneeseen, kun se on kytketty internetiin. Conficker-haittaohjelma havaittiin ensimmäisen kerran vuonna 2008, ja se on myös suunniteltu Microsoft Windows käyttöjärjestelmälle. Haittaohjelma luo saastuneista tietokoneista bottiverkon ja antaa hyökkäjälle pääsyn tietokoneella olevaan tietoon. Tällaisella bottiverkolla on yleensä jokin tavoite, kuten roskapostitus tai osallistuminen palvelunestohyökkäykseen. Tapahtumalla ei ollut merkittävää vaikutusta järjestelmän toimintaan, koska kyseinen järjestelmä oli erotettu yleisestä internetistä, eikä haittaohjelma toiminut suunnitellulla tavalla. Tapahtuman seurauksena tietoturvaluokituksen toimintatapoja tiukennettiin voimallaitoksella.

Miksi safety ei pelasta?

Ymmärtääksemme miksi safety eli ydinturvallisuus ei yksin riitä, meidän tulee ensin ymmärtää ydinturvallisuuden ja turvajärjestelyjen ero. Ydinturvallisuuden tehtävä on suojata ympäristöä radioaktiiviselta päästöltä. Ydinturvallisuuden varmistamiseksi järjestelmät suunnitellaan ja verifioidaan niin, että prosessia voidaan hallita suunnitteluperusteluokkien ja laajennusluokkien (Design Basis Condition (DBC) ja Design Extension Condition (DEC)) määräämissä olosuhteissa. Laitteistotasolla tämä näkyy siinä, että laitteiden ja järjestelmien soveltuvuus varmistetaan niille määrätyn tehtävän näkökulmasta. Prosessin näkökulmasta tämä on toiminnan laadun varmistusta.

Tietoturvaluokitus on osa ydinlaitoksen turvajärjestelyjä. Turvajärjestelyjen tehtävä on suojata ydinlaitosta tahalliselta tai tahattomalta haitalliselta toiminnalta sekä estää ydinmateriaalien hallitsematon leviäminen yhdessä ydinmateriaalihallinnon kanssa. Turvajärjestelyjen suunnittelussa ja mitoituksessa käytetään suunnitteluperusteuhkaa, joka on viranomaisen valmisteleva kuvaus tämän hetken uhista, sekä siitä minkälaisia vyökkyyksiä haitallista toimintaa suunnittelevalla taholla voidaan olettaa olevan. Suunnitteluperusteuhka on viranomaisten ylläpitämä ja sitä tarkastellaan määrävälein ja päivitetään tarpeen mukaan. Turvajärjestelyjen tehokkuutta arvioidaan sen mukaan, miten ne



pystyvät estämään, havaitsemaan ja torjumaan suunnitteluperusteuhkan mukaista toimintaa.

Turvajärjestelyjen ja ydinturvallisuuden suunnittelulähtökohdat ovat hyvin erilaisia. Ydinturvallisuus tarkastelee prosessiin liittyviä toimintoja ”toimii/ei toimi” -ajattelulla. Turvajärjestelyt ja erityisesti tietoturvaluokitus pyrkii sen sijaan tunnistamaan mahdolliset tilanteet tai tavat, joissa vaikutetaan prosessiin, niin että se toimii, mutta väärällä tavalla.

Ydinturvallisuuden varmistamiseen yleisesti käytettyjä tapoja ovat redundanssi ja diversiteetti. Vikojen hallintaan nämä ovat hyvin toimivia tapoja, mutta tietoturvaluokituksen näkökulmasta on samantekevää, onko laitteita yksi vai sata, jos ne ovat samalaisia ja kytketty samanlaisiin järjestelmiin. Tämä sen vuoksi, että identtisisissä laitteissa on samat haavoittuvuudet ja yhdellä hyökkäysmenetelmällä voidaan murtaa kaikki laitteet. Riippuen hyökkäyksen tavoitteista, diversiteetti voi jopa tarjota laajemman hyökkäysrajapinnan esimerkiksi, jos tavoite on saada häirittyä tuotantoa eikä vapauttaa radioaktiivista ainetta.

Analogisten turva-automaatiojärjestelmien suunnittelussa oli aikaisemmin riittävää varmistaa, että laitteiston rikkoutuminen ei vaikuttanut useampaan toimintoon samanaikaisesti, esimerkiksi jakamalla toiminnot eri kaappien välillä. Tämä pätee myös digitaalisiin turva-automaatiojärjestelmiin, mutta lisäksi tulee varmistaa, että digitaaliset vaikutuskanavat eivät sido useita toimintoja yhteen aiheuttaen tietoturvaluokituksen näkökulmasta yhteisvikamahdollisuutta. Nämä vaikutuskanavat voivat olla niin tietoteknisiä väyliä kuin esimerkiksi kunnossapitolaitteita, jotka kytketään tilapäisesti eri redundanssien laitteisiin.

Tietoturva, viranomaisvaatimukset ja elinkaariajattelu ydinturvallisuuden keskiössä

Säteilyturvakeskuksen nykyiset vaatimukset astuivat voimaan joulukuussa 2013. Ne ovat osittain aikaisempia tiukemmat ja niissä on huomioitu mm. Fukushima onnettomuuden ja Olkiluoto 3 -rakennusprojektin opit. Tietoturvaluokituksen keskiössä YVL A.12 -ohje



Kyberturvallisuuden merkitys korostuu ydinturvallisuuden varmistamisessa digitaalisen automaation ja uuden ICT-tekniikan myötä.

asettaa vaatimukset tietoturvan hallinnalle sekä tietoturvaperiaatteet ydinlaitoksen tieto- ja automaatiojärjestelmien suunnittelulle. Tietoturvan hallinnan on oltava osa luvanhaltijan johtamisjärjestelmää. YVL A.12 -ohjeen kantavana ajatuksena on myös riskilähtöisyys eli suunniteltavien tietoturvaratkaisujen ja käytäntöjen tulee määräytyä arvioidun riskin mukaan. Näin ollen riskienhallinta on osa kaikkea toimintaa. YVL A.12-ohje koskee ydinlaitoksen elinkaaren kaikkia vaiheita – aina rakentamisluvasta käytöstä poistoon saakka.

Miten kyberturvallisuus tulisi huomioida elinkaaren eri vaiheissa?

Jokaisella järjestelmällä on elinkaari, jonka kaikissa vaiheissa kyberturvallisuus tulisi huomioida. Tyypillisiä elinkaarimalleja ovat esimerkiksi V-malli, joka määrittelee, kuka tekee, mitä ja missä vaiheissa. V-mallissa järjestelmän käyttöönottoa edeltävät suunnittelu, toteutus, integraatio ja validointivaiheet. Elinkaari voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin:

- suunnittelu
- toteutus
- käyttö
- käytöstäpoisto.

Suunnitteluvaiheessa tunnistetaan ja arvioidaan tietoturvaluuteen liittyvät riskit ja uhat, minkä pohjalta määritellään tietoturva-vaatimukset, jotka ovat lähtökohtana kyberturvallisuuden varmistamiselle. Ilman konkreettisia vaatimuksia riittäviä suojausmekanismeja ei voida toteuttaa. Toisaalta tietoturvatestauksen tekeminen ilman riskianalyysijä ja vaatimusmäärittelyä on aikaa vievää ja tehotonta, kun testaukselta ei voida priorisoida, eikä tuloksia mitata riittävästi.


Toteutusvaiheessa järjestelmä rakennetaan vaatimusmäärittelyn mukaisesti. Toteutukseen osallistuville tulee kouluttaa tietoturvalliset käytännöt. Kaikki toteutettavat osa-alueet tulee katselmoida ja testata myös tietoturvallisuuden näkökulmasta. Esimerkkejä käytettävistä testausmenetelmistä ovat haavoituvuus- ja koodikatselmoinnit ja murtotestaukset.

Käyttövaiheessa järjestelmä toteuttaa suunniteltua toimintaa. Käytönaikainen tietoturvallisuus koostuu järjestelmän suojaamisesta luvaton käyttöä vastaan ja kyvykkyydestä palautua ongelmatilanteiden jälkeen normaalitoimintaan. Käyttövaiheessa tietoturvallisuus nojaa osittain suojausmekanismeihin, joiden tarve on tunnistettu jo vaatimusmäärittelyvaiheessa ja ne ovat jo valmiiksi sisäänrakennettuja järjestelmään. Käyttäjät ovat kuitenkin avainasemassa tietoturvallisuuden toteutumisessa. Sen vuoksi oikeanlaiset menetelmät, kouluttaminen ja ohjeistus ovat tärkeä osa käytönaikaista tietoturvallisuutta. Esimerkkinä mainittakoon salasanaikäytännöt ja tietoaineiston käsittelyyn liittyvä ohjeistus tai vaikkapa tietoturvallisuuden huomiointi kunnossapito-ohjeistuksissa. Kunnossapidon osalta tulee huomioida esimerkiksi muutosten vaikutukset tietoturvaluuteen osana muutos- ja konfiguraationhallintakäytäntöjä. Käytännöllä pyritään siihen, että kunnossapidon ja huollon toimenpiteet eivät vaikutta haitallisesti tietoturvallisuuden suojausmekanismeihin, kuten esimerkiksi pääsynhallintaan ja palomuurikonfiguraatioon.

Käytöstäpoistovaiheen riskit liittyvät luottamuksellisen tiedon menettämiseen. Tämä tulisi huomioida hävitettäessä fyysistä laitteistoa (kiintolevyt ja muistivälineet) ja järjestelmään liittyvää dokumentaatiota. Käytöstäpoistoon tulisi määrittellä käytännöt, miten komponentit ja tietoaineisto tuhoetaan turvallisesti. Tietoaineiston osalta käytäntöjen tulee olla linjassa tiedonluokittelun kanssa.

Kyberturvalla on merkittävä rooli tulevaisuuden ydinturvallisuudessa

Usein kuulee sanottavan, että niin kauan kuin toiminto on analoginen, se on turvallinen. Tämä pitää siltä osin paikkansa, että analogisiin järjestelmiin ei kohdistu samanlaisia uhkia kuin digitaalisiin. Mutta toisaalta kunnossapitomenetelmien kehittyessä myös analogiset järjestelmät tulevat olemaan riippuvaisia digitaalisista komponenteista, kuten kalibrointilaitteista ja niiden parametreista. Näissä tapauksissa korostuu erityisesti tiedon eheyden ja luottamuksellisuuden varmistaminen.

Kyberturvallisuuden varmistaminen ydinvoimaympäristössä voi tuntua ylittävältä, mutta mahdollista se ei ole. Se vaatii tosin ison kulttuurimuutoksen. Tietoturva tulee jatkossa huomioida suunnittelussa entistä tarkemmin, ja ennen kaikkea samalla vakavuudella, kuin muut keskeiset ydinturvallisuuden osa-alueet. Näin tehdään ratkaisuja, jotka ovat hyväksyttävissä sekä ydinturvallisuuden että turvajärjestelyjen näkökulmasta myös tulevaisuudessa. 

Ydinvoiman kokonaisturvallisuus – tuloksia ORSAC-projektista

Juhani Hyvärinen, Juhani Vihavainen, Otso-Pekka Kauppinen
Lappeenranta University of Technology, School of Energy Systems, Nuclear Engineering

Ydinvoimalaitosten turvallisuuden toteuttaminen teknisesti tarkoituksenmukaisesti ja taloudellisella tavalla edellyttää, että ydinturvallisuus ymmärretään kokonaisuutena, jossa perinteiset turvallisuussuunnittelun ja -arvioinnin menetelmät yhdistetään turvajärjestelyjen ja ydinmateriaaliturvallisuuden tarkasteluun, ja jossa voidaan myös käsitellä ydinturvallisuuteen liittyviä organisatorisia ja yhteiskunnallisia näkökohtia. SAFIR2018-ohjelman ORSAC-projektissa on kehitetty ydinturvallisuudelle viitekehys, jonka avulla voidaan yhtenäisellä tavalla tarkastella turvallisuuden eri ilmentymiä.

Implementation of nuclear power plant safety in a technically and economically viable way requires understanding nuclear safety as an integral entity where traditional design and assessment methods combine with nuclear security and nuclear material non-proliferation. Organisational and societal aspect of nuclear safety must also be treatable in the context. Project ORSAC of SAFIR2018 research programme has developed an overall safety framework that enables the integrated approach for different varieties of safety.

Kaupalliset ydinvoimalat ovat kooltaan suuria ja niiden turvallisuus perustuu suurelta osin erikseen suunniteltuihin turvallisuusjärjestelmiin. Laitoksiin kohdistuu hyvin monikerroksinen joukko ajan oloon jatkuvasti lisääntyviä turvallisuusvaatimuksia. Ydinturvallisuustutkimuksessa onkin tunnustettu tarve kehittää menetelmiä monimutkaisten laitos- ja järjestelmäkokonaisuuksien ymmärtämiseksi ja turvallisuuden toteuttamiseksi teknisesti ja taloudellisesti tehokkaasti – eli luoda kokonaisturvallisuuden arvioimiseen soveltuva menetelmä. SAFIR2018-ohjelman puitteissa tätä menetelmäkehitystä on tehty Lappeenrannassa ORSAC-projektissa vuonna 2016.

ORSAC-projektissa kehitetty kokonaisturvallisuusmalli perustuu syvyyspuolustuksen käsitteeseen. Syvyyspuolustus, eli Defence-in-Depth (DiD), on keskeinen ydinturvallisuuden peruseriaate. Kokonaisturvallisuusmalli on havainnollinen tapa ymmärtää turvallisuusajattelun kehittymistä ja yhdistellä erilaisia turvallisuus- ja syvyyspuolustuksen perusteella. Tässä artikkelissa esittelemme ORSAC-projektin keskeisiä tuloksia. Koko raportti on saatavilla SAFIR2018-verkkosivuilta [1].

Syvyyspuolustusajattelun historiaa

Syvyyspuolustuksen idea otettiin käyttöön jo 1950-luvulla, kun ydinvoiman kaupallistamisen edellytyksiä ja toisaalta reaktorionnettomuuksien seurauksia ensimmäisen kerran mietittiin vakavasti raportissa WASH-740. Ensimmäinen laajasti sovellettu toiminnallisen syvyyspuolustuksen

malli syntyi 1970-luvun alussa yhdysvaltalaisen suunnittelukäytännön myötä; sen mukaan laitos varusteltiin sekä normaalikäytön järjestelmillä että erillisillä turvallisuusjärjestelmillä, ja turvallisuusjärjestelmät mitoitettiin (pahimmaksi kuviteltujen) oletettujen onnettomuustilanteiden mukaan.

Mielenkiintoista kyllä, selkeää kansainvälistä määritelmää syvyyspuolustukselle saatiin kuitenkin odottaa vuoteen 1988 asti. Määritelmä julkaistiin IAEA:n raportissa 75-INSAG-3, joka syntyi pitkälti reaktiona Tshernobylin onnettomuuteen. Siksi ei ole yllättävää, että 75-INSAG-3 nosti inhimilliset tekijät teknisten vikojen rinnalle.

Päästyään näin vauhtiin IAEA tuotti nopeassa tahdissa lisää syvyyspuolustusta kuvaavia raportteja. INSAG-10 (1996) [2] ja INSAG-12 (1999) [3] mm. selvensivät ja lavensivat ajattelua, lisäsivät suojaustasoja kolmesta viiteen, ja ulottivat ajattelun yli koko laitoksen elinkaaren. Itse syvyyspuolustuksen viisiportainen perusmalli on säilynyt INSAG-10:stä alkaen jokseenkin muuttumattomana; malli vietiin IAEA:n suunnitteluvaatimusohjeeseen NS-R-1 (2000), jonka korvasi SSR-2/1, Safety of Nuclear Power Plants: Design vuonna 2012.

Kuva 1 havainnollistaa turvallisuus toimintojen (-järjestelmien) lisääntymistä vuosina 1970–2000.

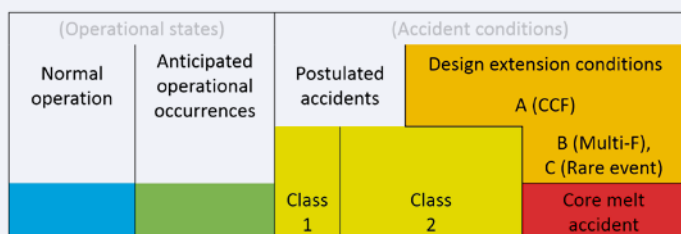
Nykyisellään syvyyspuolustus on lakisääteinen osa ydinlaitosten suunnittelua IAEA:n jäsenmaissa. Kansainvälinen ydinturvallisuusso- pimus (ydinturvallisuuskonventio) vuodelta 1996 on Suomessakin sitovaa lainsäädäntöä. IAEA:n dokumenttihakemistossa syvyyspuolustus esiintyy lyhyesti perusvaatimusdokumentissa SF-1, Fundamental Safety



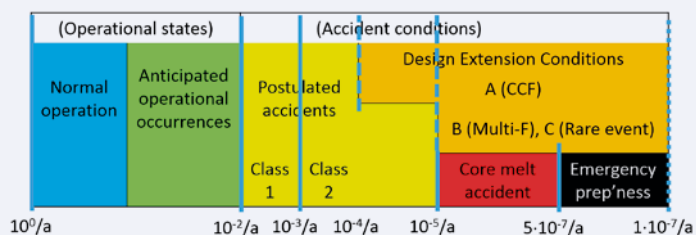
Kuva 1. Ydinlaitosten käyttöön ja turvallisuuteen liittyviä toiminnallisia tasoja (ja samalla erilaisia järjestelmiä) on lisätty suunnilleen kerran vuosikymmenessä vuosina 1970–2000.



Kuva 2. Laitostilat ja tapahtumakategoriat SSR-2/1 Rev. 1:n mukaan. Viisi tasoa etenevät vasemmalta oikealle ja samalla tapahtumataajuus laskee.



Kuva 3. Laitostilat ja tapahtumakategoriat suomalaisessa säännöstössä. Huomaa oletettujen onnettomuuksien (Postulated accidents) jako, ja samoin laajennustilanteiden (Design Extension Conditions A, B, C) asettuminen päällekkäin toisaalta oletettujen onnettomuuksien, toisaalta sydämensulamisonnettomuuksien kanssa.



Kuva 4. Laitostilat ja tapahtumakategoriat suomalaisessa säännöstössä taajuusrajoineen. Kuvaan on myös lisätty syvyyspuolustuksen viides taso, väestönsuojelu laitoksen ympäristössä. DEC-tilanteista tulee selviytyä ilman isoja sydänvaurioita hyvin mataliin taajuuksiin asti, vaikka toisaalta sydämen sulaminen on sallittua taajuudesta $1E-5/a$ alkaen. [1]

Principles (2006). Viimeisin ja perusteellinen kuvaus IAEA:n syvyyspuolustuskäsitteestä löytyy dokumentista SSR-2/1 (Rev. 1), Safety of Nuclear Power Plants: Design (2016) [4]. Kuva 2 havainnollistaa IAEA:n syvyyspuolustuksen tasoja.

Länsi-Euroopan viranomaisten yhdistys WENRA on laatinut oman syvyyspuolustuskäsitteensä uusille laitoksille raportissaan Safety objectives for new power plants (2009) [5]. WENRAn mallissa puolustustasot vastaavat IAEA:n tasoja, mutta tasojen sisällä on lisäksi hienojakoja: oletetut onnettomuudet jaetaan osiin niin että yksittäiset alkutapahtumat (perinteiset oletetut onnettomuudet, taso 3a) käsitellään tiukemmin kriteerein kuin turvallisuusjärjestelmien yhteisviat ja muut moninkertaiset vikayhdistelmät (taso 3b).

Syvyyspuolustus Suomessa tänään

Suomalainen syvyyspuolustuskäsitys on muotoutunut osin IAEA:lta saadun mallin, osin kotimaisten paineiden vuoksi. Suomalainen malli on esitetty kuvassa 3.

Suomen tapa jakaa oletetut onnettomuudet kahteen luokkaan (Class 1 ja 2) on kansainvälisesti ainutlaatuinen; se on syntynyt 1990-luvulla vanhoilla laitoksilla tehtyjen tehonkorotusten yhteydessä, kun mitoittavia häiriötilanteita tehtiin laitosparannuksilla niin harvinaisiksi, että ne putosivat onnettomuusluokkaan. Väliluokka Class 1 tasoiittaa hyppäystä suhteellisen yleisten käyttöhäiriöiden tiukoista hyväksymiskriteereistä suhteellisen harvinaisten oletettujen onnettomuuksien (Class 2) paljon lievempiin kriteereihin.

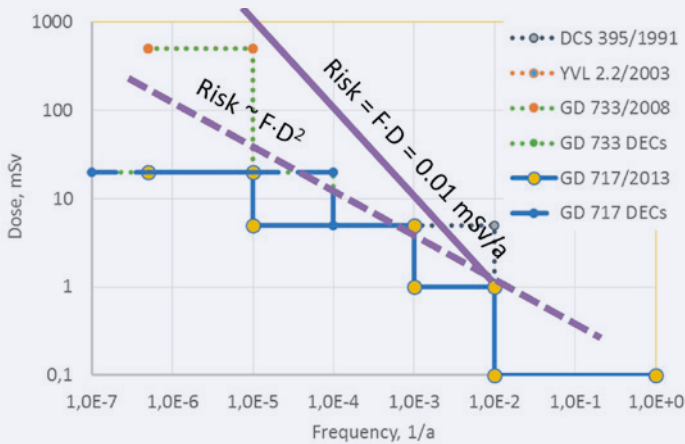
Toinen erikoisuus suomalaisessa käytännössä on asettaa suunnittelun laajennustilanteet (Design Extension Conditions) päällekkäin toisaalta oletettujen onnettomuuksien, toisaalta vakavan reaktorionnettomuuden hallinnan kanssa. Tämä ei ole säännöstöksteistä suoraan ilmeistä, mutta paljastuu, kun piirretään kuvaan eri tapahtumakategorioiden taajuusraajat. Tämä on tehty kuvassa 4.

Syvyyspuolustustasoihin liittyy taajuusrajojen lisäksi hyväksymiskriteereitä laitoksen toiminnolle. Turvallisuusanalyysin viimekätinen tavoite on rajoittaa ihmisen saamaa säteilyannosta, ja kun piirretään tätä kirjoitettaessa voimassa olevat annosrajat samaan kuvaan tapahtumataajuuksien kanssa, saadaan kuva 5. (Vakavan onnettomuuden annosraja ei enää lue säännöissä, mutta säännösten ilmaisut akuuttien annosten rajoittamisesta laitosten ulkopuolella johtavat kuvassa näytettyyn noin 20 mSv rajaan.)

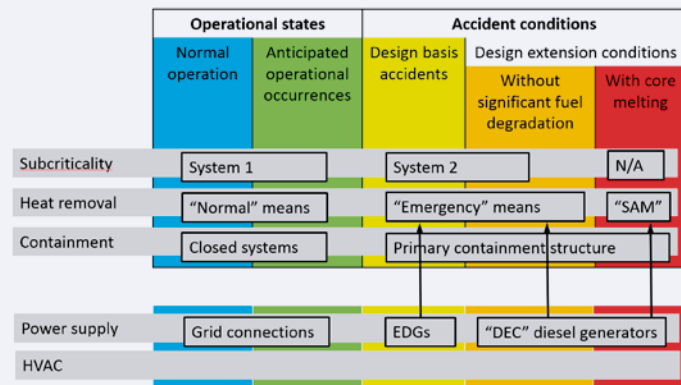
Turvallisuussuunnittelussa noudatetaan usein vakioriskin periaatetta, eli harvinaisilla tapahtumilla saa olla vakavimmat seuraukset kuin yleisillä tapahtumilla. Suomalainen (WENRAn myötä yleiseurooppalainen) säännöstö painottaa nyt harvinaisia tapahtumia suhteettoman paljon, mikä voi johtaa kalliisiin ja/tai monimutkaisiin suunnitteluratkaisuihin ko. harvinaisten tapahtumien varalta. Toisaalta näitä sääntöjä noudattava laitos ei missään onnettomuudessa aiheuta väestönsuojelutarpeita laitosalueen ulkopuolella; näin toimiva laitos voitaisiin sijoittaa Suomessa melkein mihin vain, mikä antaa uusia mahdollisuuksia ydinvoiman käytön arkipäiväistämiseen ja sitä tietä yleisen hyväksyttävyyden lisäämiseen.

Kokonaisturvallisuuden viitekehys

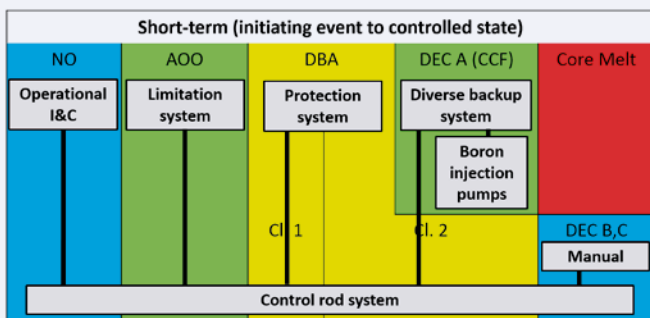
ORSACin kokonaisturvallisuusmallissa laitoksen turvallisuussuunnittelun kokonaiskuva rakennetaan vaiheittain. Aluksi sijoitetaan keskeisiä turvallisuustoimintoja IAEA:n syvyyspuolustuksen tapahtumakategorioiden päälle, kuvassa 6 esitetyllä tavalla.



Kuva 5. Annosrajat taajuuden funktiona suomalaisessa säännöstössä. Vuoteen 2008 asti voimassa ollut vakavien onnettomuuksien raja johti jokseenkin vakioriskiin. Uudempi säännöstö painottaa voimakkaasti harvinaisia tilanteita (DECit ja vakavat onnettomuudet). [1]



Kuva 6. Keskeisiä turvallisuustoimintoja (tehon hallinta, lämmönsiirto ja jälkitehon poisto, ja radioaktiivisuuden pidättäminen) toteuttavia järjestelmiä on kutakin toimintoa varten tyypillisesti useita, mutta ei koskaan yhtä monta kuin puolustustasoja. Turvallisuustoiminnot tarvitsevat tyypillisesti käyttövoimaa (Power supply: EDG = Emergency Diesel Generator) ja ao. laitteiden olosuhteiden hallintaa (HVAC). [1]



Kuva 7. Automaation riippumattomat järjestelmät on helppo sijoittaa syvyyspuolustusmalliin, mutta hankaluudet syntyvät siitä, että ohjattavia prosessijärjestelmiä ja -laitteita on yleensä paljon puolustustasoja vähemmän: toisistaan riippumattomat automaatiot ohjaavat loppukädessä samoja säätösauvoja.

Kuva 6 osoittaa periaatteen, kuvaamatta mitään yksittäistä laitosta. Käytännön sovelluksiin tällainen kuva täytyy piirtää laitos(tyyppi)kohtaisesti, mutta kuvassa 6 esitetty järjestelmien jako puolustuslinjoihin esiintyy useissa uudemmissa laitos(tyyppi)kohtaisesti melkoisen samanlaisena.

Viitekehysten voima on sen havainnollisuudessa. Kuva osoittaa mm., että

- prosessijärjestelmistä samaa turvallisuusjärjestelmää käytetään useissa puolustuslinjoissa → linjat eivät ole toisistaan riippumattomia
- tukijärjestelmien jako puolustuslinjoihin voi poiketa pääjärjestelmien jaosta ja johtaa edelleen uudenlaisiin linjojen välisiin riippuvuuksiin,

Käytännössä on mahdollista jakaa turvallisuusjärjestelmät korkeintaan kolmeen toisistaan aidosti riippumattomaan joukkoon: käyttötiloissa käytettävät, onnettomuustilanteissa käytettävät, ja vakavassa onnettomuudessa käytettävät. Tällä hetkellä kaupan olevissa laitosmalleissa jakoa ei näytä olevan tehty ehdottoman selkeänä.

Kuvan 6 kaltaiseen kuvaan voi liittää järjestelmien turvallisuusluokitus- ja vikasietoisuusvaatimukset, koska ne juontuvat järjestelmien käyttötilasta. Samoin yhteen toimintoon osallistuvien järjestelmien muodostamat ketjut voi piirtää näkyviin. Periaatteessa kuvan tarkentamista on mahdollista jatkaa yksittäisten komponenttien ja osien tasolle; järjestelmien luokituksista ja karkean tason vika-analysistä kiinnostuneet lukijat löytävät ORSAC-raportista lukuisia sovellusesimerkkejä.

Viitekehysten käyttö on erityisen hyödyllistä automaatio suunnittelussa, koska kehiksestä näkee nopeasti missä on saavutettu riippumattomuutta ja missä ei. Kuvassa 7 on esitetty miten reaktorin tehoa hallitsevat toisistaan sinänsä riippumattomat automaatiojärjestelmät kaikki haluavat liikuttaa samoja säätösauvoja.

Kuvassa 7 ainoa todellinen diversiteetti säätösauvoille on reaktorin booraaminen, joka on tässä piirretty yksinomaan diverssin suojausjärjestelmän käynnistettäväksi. Mikäli pikasulun diverssifointi haluttaisiin aidosti muista puolustustasoista riippumattomaksi, kyseistä diverssia suojausjärjestelmää ei saisi kytkeä ohjaamaan myös säätösauvoja. Ei saisi, vaikka mieli tekisikin – ristiinkytkennät houkuttelevat, mutta ne huonontavat riippumattomuutta!

Esitetty kokonaisturvallisuuden viitekehys siis ohjaa hahmottamaan laitosta ”järjestelmien järjestelmänä” ja auttaa rakentamaan laitokselle yleisiä suunnittelutavoitteita aidosti toteuttavan toiminto- ja järjestelmä-arkkitehtuurin.

Kokonaisturvallisuuden viitekehysten laajentaminen: ulkoiset uhat, turvajärjestelyt, materiaaliturvallisuus, organisaatioiden organisaatio

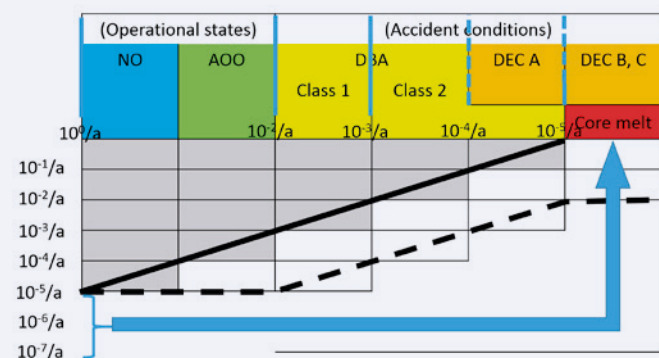
Edellä esitetty kokonaisturvallisuusmalli kattaa vasta laitoksen sisäiset alkutapahtumat. Laitoksen *ulkopuolelta kohdistuvat uhat* on kuitenkin helppo liittää siihen, ainakin niiden uhkien osalta, joille voidaan kohtuullisella vaivalla määritellä taajuusjakauma.

Liitos rakentuu luontevasti tapahtuma- ja esiintymistajuuksien avulla. Äärimmäiset säällimöt ja muut ympäristötekijät sinänsä kuuluvat suunnittelun laajennustilanteisiin (DEC B) taajuusalueella 1E-5/a ... 1E-7/a; tätä useammin esiintyvien taajuuksien osalta voidaan noudattaa periaatetta, että tapahtumataajuuden ja sääolosuhteiden taajuuden tulo on vakio, mikä johtaisi perinteiseen vakioriskiin (riski ~ kokonaistaajuus * seuraukset). Tätä on havainnollistettu kuvassa 8.

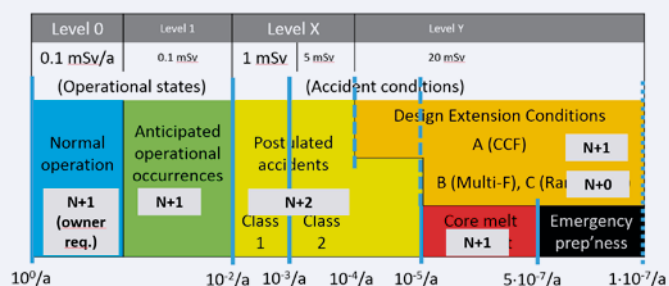
Kuvassa 8 katsellessa muistettakoon, että suomalaisen säännöstöön ei ole kirjoitettu auki miten alkutapahtumataajuuksia ja olosuhteita pitäisi yhdistellä. Kuvassa esitetyn yhtenäisen mustan viivan perusteena on säännöstöön sisältyvä selkeä ajatus, jonka mukaan DEC-tilanteet analysoidaan parhaan arvion menetelmillä ja oletuksilla, joten DEC-A

tai DEC-C tilanteissa sääolosuhteisiin ei tulisi sisällyttää ylimääräistä konservatismia.

Lainvastainen toiminta laitoksen vahingoittamiseksi voisi vaurioittaa laitoksen järjestelmiä ja rakenteita, ja kokonaisturvallisuusmallissa tällainen vaurio ilmenisi samaan tapaan kuin yksittäis- tai yhteisvika.



Kuva 8. Ulkoisten olosuhteiden taajuus pystyakselilla, tapahtumataajuus vaakakselilla. Alkutapahtuman yhteyteen oletettava ympäristöolosuhteen toistuvuus voidaan lukea mustalta suoralta. Musta katkoviiva osoittaa raskaampaa tapaa huomioida ympäristöolosuhteet. [1]



Kuva 9. Lainvastaiselta toiminnalta suojautumisessa mitoitettavat tilanteet voidaan jakaa luokkiin kuten sisäiset alkutapahtumatkin. Keskeisiä luokitteluperiaatteita ovat hyväksymiskriteeri annoksena ja laitokselle aiheutuvan vahingon laajuus, jonka voi rinnastaa sisäisen alkutapahtuman vikaletukseen. [1]

Aivan kuten sisäisille alkutapahtumille, myös turvajärjestelyjen mitoituksessa käytettäville tapahtumille voidaan määritellä tapahtumaluokkia ja luokkiin liittyviä hyväksymiskriteereitä. Viimekätinen hyväksymiskriteeri voi olla kriittisen henkilön annos, aivan kuten muissakin mitoitavissa tilanteissa. Tätä ajattelutapaa on havainnollistettu kuvassa 9.

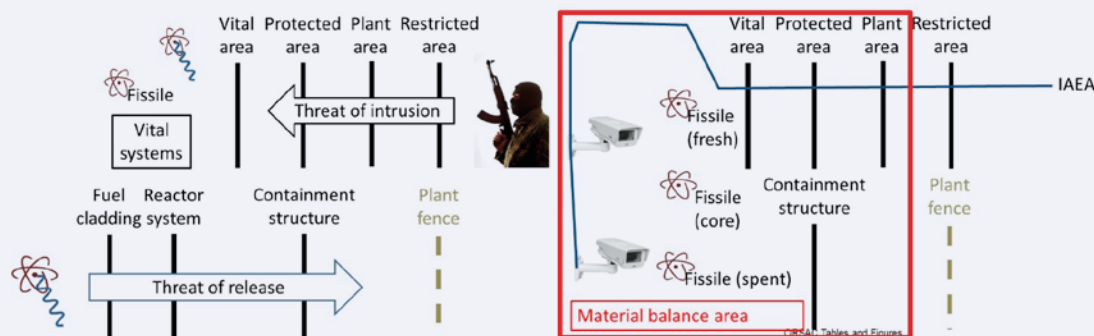
Lainvastaiselta toiminnalta suojautumiseen kuuluvat uhkien määritelyt eivät ole julkisia, mutta ihannetapauksessa ne on määritely niin että vahingon laajuus vastaa saman seurauksisen sisäisen alkutapahtuman vikaletuksia.

Ydinmateriaaliturvallisuuden kannalta toiminnallinen syvyyspuolustusmalli on tarpeettoman raskas, sillä riippumattomia suojaustasoa on vähemmän: toimijat, kansallinen viranomainen ja ylikansallinen valvonta Euratomin ja IAEA:n muodossa. Materiaaliturvallisuus onkin helpointa rinnastaa rakenteelliseen syvyyspuolustukseen, sekä radioaktiivisuuden leviämissesteisiin että lainvastaisen toiminnan torjuntaan, kuten havainnollistetaan kuvassa 10.

Ydinmateriaaliturvallisuus palautuukin käytännössä pitkälti lainvastaisen toiminnan estämiseen, ainakin niissä maissa missä ydinaseiden valmistus on laitonta. Mielenkiintoisin kysymys muodostuu tarpeesta järjestää kansainväliselle valvonnalle pääsy syvälle laitoksen turvallisuuskriittisille alueille, mikä on lähtökohtaisesti ristiriidassa turvallisuudelle tärkeän tiedon leviämisen estämisen kanssa.

Aivan kuten ydinlaitos on itsessään järjestelmien järjestelmä, muodostaa *ydinvoimayhteisö organisaatioiden organisaation*. Keskeisten toimijoiden suhde muistuttaa aika tavalla syvyyspuolustusmallia, vaikka tiukkaa analogiaa onkin tässä syytä välttää. Käyvien laitosten käyttöön ja valvontaa osallistuvien yhteisöjen suhdetta on havainnollistettu kuvassa 11, missä toimintorivin toimijan välitön osallistuminen laitoksen käyttöön vähenee vasemmalta oikealle siirryttäessä. Samantapainen kuva voidaan piirtää myös uudisrakennushankkeista, niissä käyttöorganisaation korvaa rakennusprojektin toteuttaja.

Juuri julkaistu INSAG-27 (huhtikuu 2017) [6] sisältää hyvin samanlaisen mallin. INSAG-27 niputtaa käyttäjän ja omistajan otsikolla Industry, teknisen ja hallinnollisen valvonnan otsikolla Regulators, ja eduskunnan, suuren yleisön, paikalliset asukkaat sekä vastustajat otsikolla Stakeholders. Ehkäpä merkittävin uutuus on uusi termi, Strength-in-Depth (SiD). INSAG on kokenut tarpeelliseksi alleviivata käsitteen myönteistä puolta ja pyrkii välttämään sekaannusta perinteisen syvyyspuolustuksen kanssa. Termi esiintyy enimmäkseen muodossa Institutional Strength-in-Depth (ISiD).



Kuva 10. Ydinmateriaalien valvonta osana rakenteellista ydinturvallisuutta. Vasemmalla rakenteellisten turvajärjestelyjen suhde aktiivisuuden leviämissesteisiin, oikealla materiaaliturvallisuuden suhde turvajärjestelyihin. [1]

Yhteenveto

SAFIR2018-ohjelman projektissa ORSAC on kehitetty kokonaisturvallisuusmalli, jonka perustana on syvyyspuolustusperiaate. Mallin, tai viitekehysten, keskeinen idea on piirtää syvyyspuolustuksen tasojen päälle turvallisuutta toteuttavia laitoksen toimintoja ja järjestelmiä; kukaan voidaan luontevasti liittää esimerkiksi turvallisuusluokitus, vikakriteerit, mitoituksen hyväksymiskriteereitä, toimintoihin tai järjestelmiin kohdistuvia uhkia. Näin laitoksen turvallisuudesta muodostuu yhdellä silmäyksellä hahmotettava kokonaiskuva, jonka yksityiskohtia voi halutessaan tarkentaa yksittäisiin osiin asti. Pääpaino on kuitenkin laitoksen turvallisuusarkkitehtuurin (laitos järjestelmien järjestelmänä) ymmärtämisessä.

Yhteen kokonaisturvallisuuden viitekehukseen on helppo liittää kaikki turvallisuuteen vaikuttavat tekijät: sisäiset alkutapahtumat, ulkoiset tapahtumat, mitoitusvaatimukset (-uhat) turvajärjestelyjen kautta, materiaaliturvallisuuden näkökulma, ja organisaatioiden myötävaikutus. Ydinvoima-ala on yhteisö, jossa useat toimijat varmentavat toistensa toimintaa – yhteisö on organisaatioiden organisaatio, samoin kuin laitos on järjestelmien järjestelmä.

ORSAC-tutkimusta tehdessä jouduimme tekemään jonkin verran salapolitiisyyttä selvitellessämme erityisesti uusimpien suomalaisten vaatimusten tarkoitusta ja merkitystä. Uskomme, että säännöstöstä

Functional Level	1	2	3	4	
	Operation	Ownership	Technical oversight	Administration By law	By opinion
Organisation	Operating organisations (Fortum, Loviisa, TVO, Fennovoima, Posiva)	Plant owners (Fortum P&H, PVO, VSF)	Technical Regulator (STUK)	TEM / Government	Parliament
Support / Stakeholder	Expert services by TSOs, universities				
	Inspection Organisations (independent)		IOs, accredited	Intervenor	Local population General public
	O&M contractors				

Kuva 11. Organisaatioiden organisaatio, käyvä ydinlaitosta tarkasteltaessa. [1]

tulisi sisäisesti johdonmukaisempi, jos STUKin määräyksiin ja YVL-ohjeisiin sisällytettäisiin vaikkapa tässä artikkelissa esitetyn kaltaisia kuvia siitä, mitä ohjeiden vaatimuksilla todella tavoitellaan. Selkeää ja sisäisesti johdonmukaista säännöstöä olisi helpompi ymmärtää, kehittää ja soveltaa aikamme haasteita vastaavalla tavalla.

Viitteet

- [1] Hyvärinen, J., Vihavainen, J., Kauppinen, O.-P., Overall Safety Conceptual Framework – ORSAC Final Report Revision 1. Lappeenranta University of Technology, December 2016.
- [2] INSAG, 1996. Defence in depth in nuclear safety. A report by the International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG). INSAG series No. INSAG-10. ISBN 92-0-103295-1. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 1996.
- [3] INSAG, 1999. Basic safety principles for nuclear power plants 75-INSAG-3 rev. 1. A report by the International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG). INSAG series No. INSAG-12. ISBN 92-0-102699-4. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 1999.
- [4] IAEA, 2016. Safety of nuclear power plants: design. IAEA Safety Standard Series. Specific Safety Requirements (SSR) No. SSR-2/1 (Rev.1). ISBN 978-92-0-109315-8. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2016.
- [5] WENRA, 2009. Safety objectives for new power plants. Study by the WENRA Reactor Harmonization Working Group (RHWG). Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA), 2009.
- [6] IAEA, 2017. Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems — Institutional Strength in Depth. A report by the International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG). INSAG series No. INSAG-27. ISBN 978-92-0-102317-9. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, April 2017.

Kirjoittajat



TkT Juhani Hyvärinen
 Professori
 LUT School of Energy Systems,
 Nuclear Engineering
 juhani.hyvarinen@lut.fi



TkT Juhani Vihavainen
 Laboratoriainsinööri
 LUT School of Energy Systems,
 Nuclear Engineering



DI Otso-Pekka Kauppinen
 Nuorempi tutkija
 LUT School of Energy Systems,
 Nuclear Engineering

Diplomityö: Trendien huomiointi Loviisan ydinvoimalaitoksen luotettavuus- parametrien laskennassa

Tuuli Pyy
Fortum Power and Heat Oy

Diplomityössä kehitettiin Loviisan ydinvoimalaitoksen luotettavuusparametrien arvioinnissa käytettävän laskentaohjelman vikataajuuden trenditestiä. Komponenttien ajantasainen vikataajuusarvio saatiin luotettavammaksi laajentamalla vanhaa trenditestiä uusilla testiparametreilla ja hyödyntämällä graafista tarkastelua.

In this master's thesis the trend test of the reliability parameter's computational software used for Loviisa nuclear power plant was analysed and developed. The estimate of the current failure rate gave more reliable results after introducing additional test parameters to the old trend test and benefiting from a graphic evaluation.

Laitteiden ja komponenttien luotettavuusparametreja arvioitaessa niiden vikataajuus oletetaan yleensä lähtökohtaisesti ajasta riippumattomiksi. Oletus ei kuitenkaan aina pidä paikkaansa, vaan vikataajuudella voi olla myös trendi. Trendi voi olla monotoninen, jolloin se pysyy samansuuntaisena ja on siis joko kasvava tai vähenevä, tai ei-monotoninen eli ajan suhteen muuttuva.

Trenditestausta luotettavuusparametrien laskennassa

Osana todennäköisyysperusteista riskianalyysiä (PRA) Loviisan ydinvoimalaitoksen laitteiden ja komponenttien luotettavuusparametreja päivitetään vuosittain laitoksella kertyneen uuden vikahistorian perusteella. Laskennassa komponenttien vikataajuudet oletetaan lähtökohtaisesti vakioiksi, mutta tätä hypoteesia testataan vikatapausten sarjoille tehtävällä trenditestillä.

Testin kehittäminen on tullut ajankohtaiseksi laitoksen käynnin aikana kertyneen vikahistorian kasvun myötä. Vanha trenditesti ei ota ollenkaan huomioon ei-monotonisten trendien mahdollisuutta, sillä niiden testaus suppeasta vikahistoriasta ei ole ollut mielekästä. Lisäksi monotonisen trendin testiparametrien inhimillinen tulkinta on jäänyt pois ja sen seurauksena testistä on tullut tahattoman trendiposiitiivinen.

Trenditestin kehittäminen

Diplomityössä trenditestiä kehitettiin korvaamalla käytössä olleiden monotonisten trendien testiparametreista toinen uudella ja ottamalla mukaan kolmas tarkistusparametri sellaisia tapauksia varten, joissa kaksi muuta parametria on todettu epäluotettaviksi. Monotonisen trenditestin lisäksi esiteltiin niin ikään kolme testiparametria ei-monotonisten trendien havaitsemiseksi. Vikatapausten sarjoja tarkasteltiin myös graafisesti esittämällä vikaantumisvälit ja hetkelliset vikataajuudet kumulatiivisen kokonaisajan funktiona.

Tulokset ja soveltaminen

Laajennetun trenditestin todettiin antavan luotettavampia tuloksia monotonisen trendin tunnistuksessa. Lisäksi uusi trenditesti havaitsi merkittävässä määrin myös ei-monotonisia trendejä, minkä vuoksi niiden analysointi aiotaan jatkossa ottaa mukaan luotettavuusparametrien laskentaan. Myös graafinen tarkastelu todettiin hyödylliseksi työkaluksi ja se liitetään osaksi trenditestausta.

Diplomityö on hyväksytty Aalto-yliopiston perustieteiden korkeakoulussa 27.9.2016.

Kirjoittaja



DI Tuuli Pyy
Luotettavuusinsinööri
Fortum Power and Heat Oy
tuuli.pyy@fortum.com

Väitös: Ydinvoimapäätösten politiikka 2007–2014

Maarit Laihonen
Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu

Väitöstutkimuksessa tarkastellaan uusiin ydinvoimaloihin liittyvää politiikkaa ja keskustelua kahdeksan vuoden ajalta. Prosessia tutkitaan tapauksena nykyisestä politiikanteosta ja sen taustalla vaikuttavista ideologioista. Tutkimuksen aineistona käytettiin mm. politiikkadokumentteja ja julkista keskustelua, joita analysoitiin prosessi- ja diskurssinäkökulmista. Tutkimuksen tulokset osoittavat nykyisen talous- ja teollisuuspolitiikan kietovan yhteen perinteisen suomalaisen hyvinvointivaltioajattelumallin sekä oletettuun talousrationaaliiteettiin nojaavan uusliberalistisen poliittisen ideologian.

In my doctoral thesis, I study the politics of nuclear new builds and the discussion around it during an eight-year period. I approach the process as a case of contemporary politics and the background ideologies. The data consisted of e.g. policy documents and public debate, which were analysed from process and discursive perspectives. The results show how current economic and industrial politics draw together the traditional Finnish welfare state thinking and neoliberal ideology based on claims of economic rationality.

Tutkimus tarkastelee talouden ja yhteiskunnan suhdetta – politiikkaa, jossa faktat, ideologiat ja nykyhetkeä ja tulevaisuutta koskettavat eettiset haasteet kohtaavat – tutkimalla, miten yhteiskunnallinen hyvä määritty poliittisissa prosesseissa. Tutkimuksen kohteena on uusiin ydinvoimaloihin liittyvä politiikka ja analyysikehikkona hegemonisen hyvän käsityksen diskursiivinen luominen – prosessit, joissa suuren mittaluokan projektien jatkuvuus ja niiden yhteiskunnalliset vaikutukset oikeutetaan. Laajana tutkimuskysymyksenä kysyn ”Miten yhteiskunnallinen hyvä määritty uusien ydinvoimaloiden poliittisissa prosesseissa?”. Tarkastelen prosessia, jonka kontekstissa huomioin erityisesti taloudellisen ja poliittisen, sekä lainsäädännöllisen ja moraalisen ympäristön vaikuttavina tekijöinä prosessin etenemiseen. Näiden ulkoisten vaikuttavien asioiden lisäksi tietenkin huomioin itsensä ydinvoima-alan sisäiset tekijät ja tähän nimenomaiseen prosessiin osallistuvat tahot erityisluonteineen.

Tausta ja tutkimuskohde

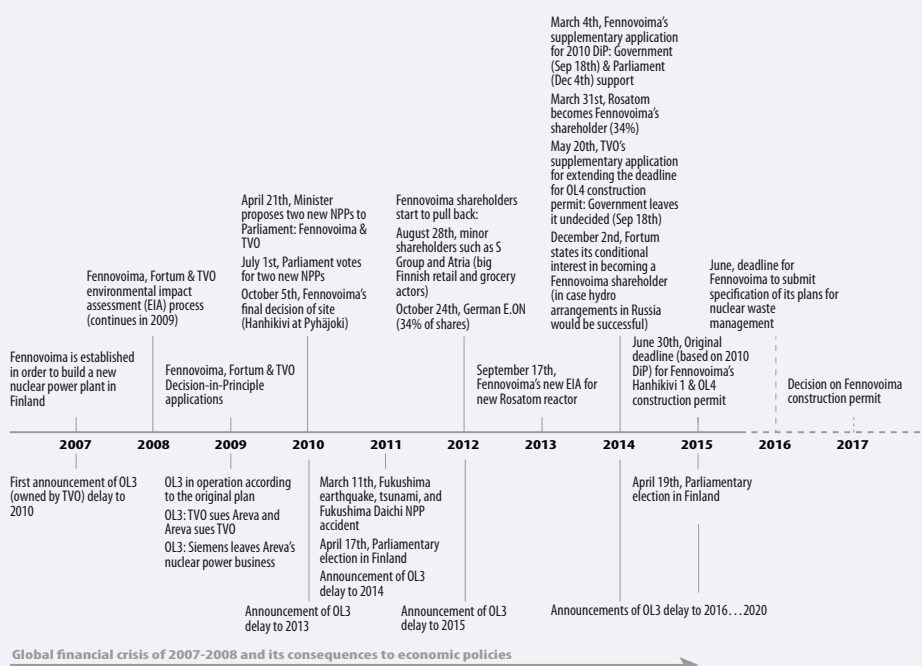
Jaoin tutkimani kahdeksan vuoden ajanjakson kronologisesti, mutta osittain keinotekoisesti kolmeen osaan: 1) alkuperäiseen periaatepäätösten ja niiden hakemusten aikaan (vuoden 2007 ympäristövaikutusten arviointien aloittamisesta vuoden 2010 päätöksiin), 2) Fukushima ”aikaan”, joka Suomessa ei kestänyt muutamaa viikkoa kauempaa jos katsoo merkittävää mediahuomiota, ja lopulta 3) organisaatioiden (Fennovoiman ja TVO:n) kriittisten sisäisten muutosten aikaan. Tämä sisäisten muutosten aika alkoi vuonna 2012 E.ONin jätettyä Fennovoiman osakkuuden, mutta otti uusien tapahtumien muodossa tuulta alleen vuonna 2013, kun Rosatom uutena laitetoimittajana tuli mukaan taloudellisilta ja teknisiltä resursseiltaan tyngäksi jääneeseen Fennovoiman projektiin. Samaan aikaan (vuodesta 2011 alkaen) TVO julkaisi toistuvasti ilmoituksia Olkiluoto 3:n viivästyvästä valmistumisesta. Nämä tapahtumat johtivat vuoden 2014 uusiin periaatepäätösprosesseihin molempien yritysten kohdalla johon päätin aineistonkeräykseni ympärän sulkeutuessa – periaatepäätö-

öksistä periaatepäätöksiin. Keskeisiä tapahtumia olen kerännyt oheiselle aikajanelle (kuva 1).

Analyttinen viitekehys ja aineistolähtöinen tutkimus

Analyysissäni hyödynnän kolmen eri tutkimusalan teoreettista antia. Nämä alat ovat ympäristöpolitiikan tutkimus, tieteen- ja teknologiantutkimus, sekä laveasti nimeämäni talouden ja yhteiskunnan tutkimus, joka itse asiassa sisältää useiden alojen kirjallisuutta joissa on hahmoteltu talouden ja yhteiskunnan suhteita. Usein nämä ammentavat eri tavoin poliittisen talouden perinteestä, jossa taloutta ei nähdä irrallisena, ihmisiltä näkymättömissä olevana tai ihmisten toiminnan vaikutuksilta vapaana abstraktina rakennelmana vaan ihmisten luomana ja poliittisesti ohjattuna järjestelmänä. Toisaalta esimerkiksi kriittinen yritys vastuun tutkimus ehkä parhaiten edustaa kauppakorkeakoulumaailmassa poliittisen talouden perinteitä ja käsittää laajan skaalan erilaisia yhteiskunnallisia ilmiöitä, joissa taloudellinen toiminta on keskeisellä sijalla.

Aineistolähtöisessä analyysissä hahmottui kuva yhteiskunnallisesta, hallinnollisesta ja poliittisesta haasteesta, joka oli yhtä aikaa selvästi jonkinlaisen taloudellisen logiikan ohjaama (markkinoiniin ja teollisuuden kuostukseen liittyvät perustelut), teknisesti haastava (ydintechnologia ja jäte-kysymykset sinänsä sekä jo tuolloin ilmeiset aiemman Olkiluoto 3 -projektin ongelmat), ja lopulta eettisen ylisukupolvinen kysymys ydinjätteistä, jota on kuitenkin laajalti käsitelty tutkimuksissa aiemmin. Näin ollen keskeisiksi viitekehyyksiksi nousivat talousproblematiikkaa politiikan ja ympäristön viitekehyyksessä tarkasteleva ympäristöpolitiikka ja erilaiset poliittisesta taloudesta ammentavat organisaatio- ja yhteiskuntateoreettiset suuntaukset. Toisaalta ydinvoiman erikoisesta luonteesta johtuen katsoin keskeiseksi ymmärtää tutkimusperinnettä, jossa ydinvoimaa on tarkasteltu nimenomaan sosiaalisena ilmiönä (tieteen- ja teknologiantutkimus). Näistä kirjallisuuksista nousivat analyysiprosessin keskeiset käsitteet, kuten valtasuhteet ja hegemonia sekä niiden sosiaaliset ja materiaaliset ulottuvuudet.



Kuva 1. Keskeisiä organisaatioiden sisäisiä ja ulkoisia kontekstuaalisia tapahtumia tutkitulla ajanjaksolla.

Tutkimuksen tulokset ja pohdintaa

Tarkastellun kahdeksan vuoden aikana Suomessa vahvistui omaperäinen politiikan kenttä, jossa aito ja syvälinen poliittinen keskustelu hautautui markkinointipuheen alle ympäröivän maailman tapahtumista ja organisaatioiden sisäisistä ongelmista huolimatta. Ilmastonmuutoksesta oltiin kutakuinkin yhtä mieltä kaikkien toimijoiden puolelta, mutta ydinvoimakysymys erkaannutti näitä toimijoita toisistaan. Lopulta poliittinen esileikki rikkoi myös ydinvoimaa puoltavaa rintamaa (esim. eduskunnan uusi äänestys vuonna 2014), ja toi prosessiin takaisin Fortumin, joka samaisella poliittikalla oli alkujaan pudotettu. Pysyvinä argumentteina olivat läpi vuosien työllisyys ja talouskasvu, joissa yhtä lailla linjat rikkoutuivat ydinvoimakysymyksen myötä. Oli siis olemassa ikään kuin konsensus siitä, mitä ilmasto ja talous tarvitsevat, mutta käsitykset keinoista erosivat joskus radikaalistikin. Samaan aikaan taustalla toimivat energiyhtiöt, jotka kiistoista huolimatta tekivät ajoittain muita investointejaan samalla kun uudesta ydinvoimasta voitiin vasta unelmoida. Usko suomalaiseen tekniseen ylivoimaisuuteen ja taloudellisen hyvän tavoittelu peittivät alleen syvällisen keskustelun ydinvoimalaprojektien merkityksestä ja alkuperäisten päätösten kriittisen tarkastelun. Kahdeksan vuoden aikana prosessi osoitti yhtä lailla perinteikkään suomalaisen mentaliteetin laajamittaisissa teollisuuspäätöksissä, samalla kun uusi talouskasvu-usko tuli keskeiseksi osaksi julkista oikeutusprosessia. Viimeksi mainittua heijasteli esimerkiksi Fennovoiman projektin jatkuva poliittinen tuki olosuhteiden kriittisistä muutoksista huolimatta.

Se miten tähän päädyttiin, eli mitä prosessi osoittaa, liittyy taustalla vaikuttaviin yhteiskunnallisiin rakenteisiin ja perinteisiin. Lisäksi itsessään voimassaoleva ydinenergialaki ei anna tarkkoja määräyksiä sille, miten yhteiskunnallinen kokonaisuus pitäisi määritellä poliittisessa prosessissa. Kuten aiempi kirjallisuus on esittänyt, tällaisissa tilanteissa yhteinen hyvä määrittäytyä vallalla olevan politiikan tavoitteiden, halujen ja uskomusten mukaisesti. Aitoa poliittikkaa ei ikään kuin edes tapahdu näiden poliittisten valtakausien sisällä, tai sen tapahtuminen on poikkeus. Sisäiset

poliittiset linjat (esim. oikeisto-vasemmisto-akseli) rakoilivat ydinvoimakysymyksessä jossain määrin, mutta yleinen linja säilyi. Samalla aktiivinen ja koko prosessin kestänyt vastarinta jäi harvojen käsiin ja hiljeni prosessin edetessä. Prosesseihin itsessään liittyvät ongelmat hautautuivat talousrationaaliiteettipuheen alle jättäen monet kylmäksi koko vuosia kestäneelle (ja kestäväille) prosessille. Uudet ydinvoimalaprojektit olivat uusi toivonpilkahdus pohjamudissa talouspuheessa hehkutettiin aineetonta palvelutaloutta ja vastaavia innovaatioita.

Taloudellis-tekologinen kehitys ja järjestelmät ovat tiukasti riippuvaisia politiikasta ja vakaasta instituutioista. Tämä monimutkainen järjestelmä näyttyy ydinvoimakysymyksissä monella tapaa ja tutkimuksessani esitän yhden tavan tarkastella näitä riippuvuussuhteita ja sen, mitä järjestelmä kertoo laajemmin modernista yhteiskunnasta. Tutkimukseni lisää ymmärrystä ensinnäkin siitä, kuinka yhteiskunnallinen poliittinen päätöksenteko pyrkii nojautumaan abstraktiin yhteiseen hyvään, jossa viralliset hallintoprosessit sekoittuvat yhtä lailla lainsäädäntöön kuin sen hetkiseen moraaliseen ja ideologiseen ilmastoon. Lisäksi työni osallistuu keskusteluun uusliberalistisen poliittisen ideologian noususta perinteisen hyvinvointivaltioajattelun rinnalle, ja siitä kuinka hyvinvointidiskurssi sulautui keskeiseksi osaksi taloususkoajattelua ja miten tämä uusi liitto julkisessa puheessa oikeutetaan yhteiskunnallisin perustein. Ja lopulta, tutkimus valaisee yhden prosessin kautta ydinvoiman edelleen omalaatuista yhteiskunnallista ja poliittista asemaa.

Väitöskirja "Political foreplay for nuclear new build – Defining good at the intersection of politics, economy and technology" tarkastettiin Aalto-yliopiston kaupakorkeakoululla 16.12.2016. Vastaväittäjänä toimi professori Peter Fleming Cass Business Schoolista, Lontoosta. Työn viimeisimpänä ohjaajana toimi professori Janne Tienari Hanken Svenska Handelshögskolanista.

Kirjoittaja



KTT Maarit Laihonen

Tutkija

Aalto-yliopiston kaupakorkeakoulu
maarit.laihonen@aalto.fi



Saattohoidossa olevat ydinlaitokset
– Oskarshamn 1 ja 2 (kuva: OKG).

Saattohoitoa vai omaistoimintaa?

TERRORISTIT ISKEVÄT kerran toisensa jälkeen länsimaiden pehmeisiin kohteisiin. Samalla se tarkoittaa, että ydinvoiman kova tekniikka ja vahvat, suojatut rakennukset eivät ole ajankohtaisia terrorismin ja julkisuushakuisten mielenosoitusten kohteita. Terrorismiin varautumiseen liittyviin turvatoimiin ja aseisiin suunnatut resurssit syövät kuitenkin tekniikan kehityksen voimavaroja. Samaan aikaan ydinvoimahankkeiden riskit ja huono kannattavuus ovat johtaneet ydinvoiman kieltävään politiikkaan tai uusien hankkeiden kannattamattomuuteen useissa länsimaissa. Ydinvoimalaitokset ovat saattohoidossa monissa Euroopan maissa. Mikä neuvoksi?

Ydinvoimalaitosten suunnittelu ei valitettavasti ole kaikkialla kattavaa ja ota huomioon kaikkia todenäköisiä riskejä. Ongelmana on ollut myös viranomaisen tarttuminen hyvin harvinaisiin tilanteisiin varautumisen toteutukseen, jolloin

käytettävien keinojen laajuus, asiantuntijaharkinnan merkitys ja toteutuksen joustavuus ovat supistuneet. Tällöin turvallisuus ei parane, mutta realististen oletusten puuttuessa kustannustehokkuus kärsii ja tuloksena on USAn kaltainen viranomaistoiminta, jossa useimmat asiat raportoidaan ja arvioidaan viranomaisen kautta. Viranomaisvetoinen toiminta vaatii paljon resursseja viranomaiselta ja kaikilta tukiorganisaatioilta. Siirtyä omistajan kattavasta valvonnasta, turvallisuusviranomaisen ja sen ohjaamien tarkastuslaitosten tekemään laajempaan valvontaan, on osaltaan johtanut purukumina venyviin rakennushankkeisiin. Viranomaisten ja sen konsulttien neuvoessa tekijöitä kädestä pitäen ollaan projektissakin kohta saattohoidossa. Olisikohan mahdollista palata takaisin tilanteeseen, jossa omistaja ottaisi vastuun sekä varaisi osaamisen ja resurssit siihen? Sitten viranomaisen vain varmentaisi tuloksen.

Tiesittekö miksi ei ole olemassa yhtään hyvää vitsiä ydininsinööreistä?

Koska ydininsinöörit eivät itse niitä kerro tai ymmärrä ja muiden mielestä ydininsinööreissä ei ole mitään hauskaa.

Fukushiman ydinlaitoksen onnettomuuden seurauksia katsoessa meinaa vanhemmalta ydininsinööriltä päästä poru. Vanha japanilainen laitos, jonka suunnitteluperustaa ei ollut koskaan sovitettu laitospaikalle joutui onnettomuuteen. Nyt siitä otetaan sitten porukalla oppia ja keskustellaan vakaviin onnettomuuksiin varautumisesta ja suunnitteluperustan laajentamisesta. Reaktorisydämen sulamiiseen varauduttiin Suomessa jo 80–90-luvulla Harrisburgin ja Tshernobylin jälkiarvioissa: mittaustiedon ja sähkönsyötön saamista vakavassa onnettomuudessa varmennettiin, mutta vastaavien varautumistoimien suunnitelmista saa vasta nyt lukea kansainvälisistä raporteista. Ja taas voi käydä niin, että osa jenkkiin suunnitteluperustaa olevista laitoksista ei tee paljon mitään!

USA on rikas maa, jossa neljän vuoden välein terveydenhuolto uudistetaan ja varmistetaan potilaiden väheneminen rahan puutteen sekä luonnollisen poistuman kautta. Amerikkalaiselle golfaavalle kirurgille insinööri on hyvä potilas. Insinööri ymmärtää, että kun kaikki osat pantu paikoilleen ja kansi on suljettu, saatetaan havaita muutamia osia jääneen yli.

Fukushiman onnettomuuden jälkeen on kansainvälisesti pohdittu omistajan ja viranomaisen etiikkaa. Monesa maassa on tutustuttu lompakon kautta tunnetun ranskalaisen laitetoimittajatehtaan jo vuosikymmenien ajan puuttuneeseen etiikkaan. Samaan aikaan kabineteissa voimalaitokset ja -yhtiöt vaihtavat omistajuutta pankkiirien puhtoiisiin työllä piilaamattomiin käsiin. Heille ydinvoiman turvallisuus on jotain, joka hoidetaan tarvittaessa vartiointiliikkeen ja poliisin toimin. Monelle suomalaiselle ekonomille atomi on tuttu vain Lappeenrannan torin nakkikioskilta. Omistajan säästöt laitosten kunnossapidossa ja henkilöstön osaamisessa on helppo hyväksyä yhtiön hallituksessa, vaikka turvallisuudesta hiukan tingitään. Onhan se niin vaikeaa saada halvalla alkuperäistä vastaavia osia ja vielä vaikeam-

paa ymmärtää ydinvoiman suunnittelun yksityiskohtia. Ydinvoiman sanatkin ovat vaikeita: neutronit – nehän ovat sen neutronipommin raaka-ainetta, ei niitä tarvita. On helppoa joutua Ruotsin tielle: ydinvoimalaitoksia suljetaan kannattamattomina verotuksen, sähkön hinnan, uusien säännösten ja pääomistajan virhepäätösten seurauksena.

Yksi suurista ongelmista ydinvoimarakentamisessa on teknisen kokoonpanon hallinta tai uussuomeksi ”konfiguraation” hallinta hankkeessa, jossa vastuut jaetaan sopimuksilla useille eri osapuolille. Hallinnan ongelma ei helpotu päätöksenteon siirtymisellä viranomaiselle tai raskaalla tietokantaistetulla vaatimusten hallinnalla. Tietokannan hallitessa tekniikka-alueiden vaatimusrajapintoja tarvitaan kunkin alueen erityisvaateiden sovitusta hoitamaan armeija kavereita ja loputtomia neuvotteluja. Tärkeimmät vaatimukset hukuvat massaan priorisoimattomina. Tietokanta ei osaa priorisoida tai yksinkertaistaa teknisiä vaatimuksia suurilla, koko projektia sitovilla linjauksilla. Tekniikan alueiden rajapintoja ei hoideta kokoamalla vaatimukset pataan ja sekoittamalla vaan osaamisella. Osaamisen tarve korostuu erityisesti rakennettaessa lajissaan ensimmäistä ns. prototyypilaitosta, jollaisia Suomeen valitettavasti on rakenteilla kaksikin. Onneksi ensimmäinen on ostettu ainakin 50% alennuksella. Toivottavasti toisen sopimuspalat on naulattu tiukasti ja laitosta ei ole hankittu kasakalta.

Suuria projekteja ei helpota myöskään ajan hengen mukainen oman edun maksimointi ja diilien teko muiden kustannuksella. Ahneus, pyrkisyys ja itsensä kehuminen vie suurvalan presidentiksi, mutta ei helpota yhteistyötä suurissa ja teknisesti vaikeissa projekteissa. Kannattaa muistaa, että maantien teossa hyväksi havaittu, urakat pilkkova ja kustannukset minimoiva sopimusmalli, ei sovi ydinvoimalaitoksen rakentamiseen. Tuollaisessa mallissahan urakoiden hinnan minimoimisen

ajatellaan edellyttävän sopimuskokonaisuuden salaamista alussa valituilta alihankkijoilta. Mallissa laatua ei tarvitse erityisesti varmentaa. Kirjoittaja suosittelee perehtymään suurien projektien toteutuksesta muutama vuosi sitten tehtyyn suomalaiseen tutkimukseen. Sen tuloksista löytyy vastaus kysymykseen: miksi ydinvoimalaitosta ei kannata rakentaa ”avaimet käteen” -projektina.

Lopuksi perinteinen tyhjän lasin esimerkki eri alojen asiantuntijoiden ajattelumalleja arvioivasta testistä. Pöydälle sijoitettiin lasi, joka oli puolillaan skottilaista viskiä. Tilaan ensin saapuneen taiteilijan mielestä lasi kuvaa ihmisen täyttymättömiä haaveita. Toisena saapuneen filosofin mielestä se, onko lasi puolitäysi vai puolityhjä on vaikea, kunkin henkilön lähtökohtiin ja ajattelumalleihin perustuva teoreettinen kysymys. Viimeisenä saapunut insinööri otti lasin, joi kaiken viskin ja kysyi ”Mikä olikaan tämä filosofinen kysymys?”

Ydininsinööri

Palautusosoite:

Suomen Atomiteknillinen Seura
PL 78
02151 ESPOO



KANNATUSJÄSENET

B+Tech Oy

**Pohjoismainen
Ydinvaruutuspooli**

**Teknologian
tutkimuskeskus VTT Oy**

Fennovoima Oy

Pohjolan Voima Oy

Teollisuuden Voima Oyj

FinNuclear ry

Posiva Oy

TVO Nuclear Services Oy

**Fortum Power
and Heat Oy**

Saario & Riekkola Oy

Voimaosakeyhtiö SF Oy

Platom Oy

Siemens Osakeyhtiö

Wärtsilä Finland Oy