

Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustudkimus 2015–2018

Uuden tutkimusohjelman SAFIR2018
runkosuunnitelma hankehakua varten

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu
Energia ja ilmasto
34/2014



TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ
ARBETS- OCH NÄRINGSMINISTERIET
MINISTRY OF EMPLOYMENT AND THE ECONOMY

Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimus 2015–2018

Uuden tutkimusohjelman SAFIR2018
runkosuunnitelma hankehakua varten

Tekijät Författare Authors		Julkaisuaika Publiceringstid Date	
SAFIR2018-suunnitteluryhmä		Syyskuu 2014	
Puheenjohtaja Marja-Leena Järvinen		Toimeksiantaja(t) Uppdragsgivare Commissioned by	
Sihteeri Jari Hämäläinen		Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy	
		Toimielimen asettamispäivä Organets tillsättningsdatum Date of appointment	
		18.2.2014	
Julkaisun nimi Titel Title			
Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimus 2015–2018 – Uuden tutkimusohjelman SAFIR2018 runkosuunnitelma hankehakua varten			
Tiivistelmä Referat Abstract			
Ydinenergiaa käyttävältä maalta edellytetään riittävää infrastruktuuria, joka kattaa laitosten käyttö- ja viranomaisvalvonta-organisaatioiden lisäksi myös alan koulutuksen ja tutkimuksen. Julkisten ydinturvallisuustutkimusohjelmien lähtökohtana on, että ne luovat edellytyksiä ydinvoiman turvallisen ja taloudellisen käytön jatkumiseen tarvittavan tietämyksen säilymiselle, uuden tietämyksen kehittämiselle ja kansainväliseen yhteistyöhön osallistumiselle. Alan tutkimusta Suomessa harjoittavat organisaatiot ovat olleet tärkeä voimavara, jota eri ministeriöt, Säteilyturvakeskus (STUK) ja voimayhtiöt ovat pystyneet hyödyntämään myös 2014 päättyvän SAFIR2014-ohjelman aikana.			
Työ- ja elinkeinoministeriön toimeksianto nimesi helmikuussa 2014 ryhmän, jonka päätehtävänä oli suunnitella uuden ohjelman sisältö. Tässä raportissa on ehdotus tämän työnimellä SAFIR2018 (SAfety of Nuclear Power Plants – Finnish National Research Programme) kulkevan ohjelman runkosuunnitelmaksi. Suunnitelma on tehty vuosille 2015–2018, mutta se perustuu myös pidemmälle aikajänteelle tunnistettuihin turvallisuushaasteisiin. Suunnittelussa on otettu huomioon Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikön rakentamisprojekti ja kesällä 2010 eduskunnassa vahvistetut periaatepäätökset. Vanhojen ja uusien laitoksien asettamat turvallisuushaasteet ja tästä seuraavat tutkimustarpeet ovat kuitenkin suurimmalta osin yhtenevät. Runkosuunnitelma perustuu vuonna 2004 voimaan tulleeseen ydinenergialain lukuun 7a.			
Uudet hankkeet lisäävät Suomessa alan asiantuntijoiden tarvetta. Samaan aikaan myös nykyisten asiantuntijoiden eläkkeelle siirtyminen jatkuu. Nämä yhdessä lisäävät koulutustarvetta, missä aktiivisella tutkimustoiminnalla on oleellinen merkitys. Tilanne asettaa myös pitkäjänteisen turvallisuustutkimuksen ylläpidolle suuren haasteen.			
Runkosuunnitelmassa on pyritty määrittelemään kolmen tutkimusalueen ja kahdeksan aihepiirin tutkimustarpeet. Tutkimushankkeet näillä alueilla ja alueiden yhteiset poikkitieteelliset hankkeet muodostavat ohjelman teknistieteellisen päätehtävän. Ohjelman on ylläpidettävä osaamista myös niillä alueilla, joilla ei suuria muutoksia ole mutta joiden valpas tutkimustoiminta on ydinvoiman turvallisen käytön ehdoton edellytys. Myös uudet yllättävät ongelmat voivat olla tutkimuksen käynnistäjänä. Runkosuunnitelma luo pohjan tarkempien vuosisuunnitelmien ja näihin tarvittavien tutkimusesitysten valmistelulle. Ohjelmaan sopivat joustavasti nopeat täsmähankkeet, koko tutkimusohjelman kestävät hankkeet sekä erittäin pitkäjänteinen kehitystyö.			
Ydinturvallisuustutkimus vaatii kansallisten voimavarojen kokoamista ja kokonaisuuden hallintaa. Tutkimusohjelman on toimittava tehokkaana tiedon välittäjänä kaikille alalla toimiville organisaatioille ja avoimena keskustelufoorumina kansainvälisiin hankkeisiin osallistumisessa, resurssien kohdistamisessa ja uusien hankkeiden suunnittelussa.			
TEM:n yhdyshenkilö: Energiaosasto/Jorma Aurela, puh. (050) 5922109			
Asiasanat Nyckelord Key words			
Ydinenergia, tutkimus, ydinturvallisuus			
Painettu julkaisu Inbunden publikation Printed publication		Verkkojulkaisu Nätpublikation Web publication	
ISSN	ISBN	ISSN 1797-3562	ISBN 978-952-227-877-7
Kokonaissivumäärä Sidoantal Pages		Kieli Språk Language	
78		Suomi, Finska, Finnish	
Julkaisija Utgivare Published by			
Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy		Vain sähköinen julkaisu Endast som elektronisk publikation Published in electronic format only	

Esipuhe

Tutkimuksen merkitys ydinturvallisuusosaamisen luomisessa ja kehittämisessä on tunnustettu jo otettaessa ydinteknologiaa käyttöön Suomessa 1960- ja 1970-luvuilla. Kansallista kyvykkyyttä itsenäiseen ydinvoimalaitosten toimittajista riippumattoon päätöksentekoon ja turvallisuuden arviointiin on kehitetty systemaattisesti kansallisissa turvallisuustutkimusohjelmista jo 1990-luvun alusta lähtien. Nyt valmisteilla oleva tutkimusohjelma on neljäs ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksen eri osaamisalueet kattava ohjelmakokonaisuus.

Uuden ydinturvallisuustutkimusohjelman suunnittelu osuu sopivasti juuri huhtikuussa työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) johdolla työstetyn vuoteen 2030 ulottuvan ydinenergia-alan tutkimusstrategian valmistumisen jatkoksi. Uusi kansallinen tutkimusstrategia tuo vahvasti esille kansallisten ohjelmien merkityksen, asettaa uusia tavoitteita tutkimuksen tieteellisen tason kohottamiselle ja kansainvälistymiselle. Riittävien resurssien ja soveltuvan infrastruktuurin merkitys tuodaan myös esille. Strategia painottaa eurooppalaisen tutkimuksen merkitystä Suomen kannalta sekä tarvetta kehittää tutkimuksesta liiketoimintaa. Nämä suuntaviivat viitoittavat myös tätä uuden ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksen runkosuunnitelman valmistelutyötä.

Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksen ohjelma SAFIR2014 on suurin kansallinen alan tutkimusohjelma ja merkittävä toimija alalla. Nykyinen SAFIR2014-tutkimusohjelma on saanut kansainvälistä tunnustusta niin ohjelmaan kohdennetussa arvioinnissa kuin myös ydinturvallisuussopimuksen käsittelyn yhteydessä. Tutkimusohjelman aikaisemmat tulokset, jämäkkä runkosuunnitelma kiinnostavine tutkimuskokonaisuuksineen ja korkeatasoiset tulokset ovatkin tärkeitä haettaessa tutkimukselle strategisia, kansainvälisiä kumppaneita.

TEM käynnisti uuden kansallisen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelman runkosuunnitelman valmistelun huhtikuun 2014 alussa. Ohjelman suunnitteluryhmään on kuulunut edustajia kaikista ydinturvallisuustyöhön keskeisesti osallistuvista organisaatioista. Suunnitteluryhmä täydensi itseään asiantuntijoilla niin, että noin 40 henkilöä on ollut valmistelemassa uutta ohjelmaa.

Tutkimus luo osaamista ja valppautta turvallisuuskysymysten tunnistamiseen. Suunnitteluryhmä on ottanut työssään haasteen vastaan ja tuloksena on syntynyt aivan uusia näkökulmia ydinturvallisuuden käsittelyyn. Tutkimusohjelman uusi rakenne korostaa kokonaisturvallisuuden hallintaa ja tuo vahvasti esille syvyys-suuntaisen puolustuksen periaatteet sekä tukee poikkitieteellisten hankkeiden syntymistä. Uusina aiheina turvallisuuden, turvajärjestelyjen, ydinmateriaalivalvonnan ja ympäristövalvonnan rajapinnat tulevat nyt myös luontevasti mukaan tutkimusohjelmaan.

Suunnitteluryhmä toimi hyvässä talkoohengessä. Työn aikana käytiin vilkasta ja monipuolista keskustelua ydinturvallisuustutkimuksesta. Valmisteluprosessi

on tuottanut hyvän ja mielenkiintoisen tutkimuskokonaisuuden. Uusi runkosuunnitelma on yksi konkreettinen askel ydinenergia-alan tutkimusstrategian jalkautushaasteeseen. Runkosuunnitelman valmistelutyö on luonut hyvät lähtökohdat uudelle SAFIR2018-tutkimusohjelmalle.

MARJA-LEENA JÄRVINEN

Suunnitteluryhmän puheenjohtaja

Sisältö

Esipuhe.....	5
1 Johdanto.....	9
2 Tutkimusohjelman organisointi.....	12
2.1 Ohjelman tarkoitus ja yhteiskunnalliset vaikuttavuustavoitteet	12
2.2 Ohjelman käynnistys.....	14
2.3 Ohjelman hallinnointi.....	15
2.3.1 Johtoryhmä.....	16
2.3.2 Tutkimusalueiden ohjausryhmät.....	17
2.3.3 Tukiryhmät	18
2.3.4 Ohjelman johtaja ja hallintohanke.....	18
2.3.5 Projektipäällikkö, tutkimusryhmä ja tutkimuksen suorittajaorganisaatio	19
2.4 Hanketyypit ja hakumenettely.....	19
2.5 Tutkimusohjelman tuloksellisuus.....	21
2.6 Julkisuusperiaatteet, oikeudet ja vastuut.....	22
2.7 Tutkimuksesta tiedottaminen ja tiedonvaihto	23
2.8 Yhteydet muuhun Suomessa tehtävään ydinenergia-alan tutkimukseen ja tohtorikoulutusohjelmiin	23
2.9 Kansainvälinen yhteistyö	25
2.9.1 Kansainvälinen yhteistyö osana tutkimusohjelmaa	25
2.9.2 Kansainvälisen yhteistyön muodot ohjelmassa.....	26
2.9.3 Käytännön toteutus.....	28
3 Tutkimus.....	29
3.1 SAFIR2018:n toimintaympäristö – haasteet ja tutkimustarpeet	29
3.1.1 Yleistä toimintaympäristöstä	29
3.1.2 Asiantuntemuksen kehittäminen.....	29
3.1.3 Säännöstöympäristö.....	31
3.1.4 Koelaitteistot	33
3.1.5 Kansainvälinen toimintaympäristö ja tutkimusaiheet.....	34
3.1.6 Syvyysuuntaisen puolustus ja tutkimustarpeet.....	36
3.2 Kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta.....	37
3.2.1 Tutkimusalueen kuvaus.....	37
3.2.2 Tavoitteet	38
3.2.3 Tutkimuksen nykytila.....	39
3.2.4 Tutkimustarpeet	40
3.2.4.1 Kokonaisturvallisuuskäsitys.....	41
3.2.4.2 Organisaatio, ihminen ja sidosryhmät	42

3.2.4.3	Toimintaprosessit kokonaisturvallisuuden tukena ja suunnittelun hallinnassa (Systems Engineering).....	43
3.2.4.4	Teknisiin turvallisuusratkaisuihin vaikuttavat tekijät.....	45
3.3	Reaktoriturvallisuus	48
3.3.1	Tutkimusalueen kuvaus.....	48
3.3.2	Tavoitteet	49
3.3.3	Tutkimuksen nykytila	50
3.3.3.1	Kokeellinen tutkimus	50
3.3.3.2	Laskentaohjelmistot.....	51
3.3.4	Tutkimustarpeet	51
3.3.4.1	Yleinen menetelmäkehitys.....	52
3.3.4.2	Kansainväliset hankkeet	52
3.3.4.3	Termohydrauliikka ja virtauslaskenta.....	53
3.3.4.4	Reaktorifysiikka ja dynamiikka	55
3.3.4.5	Polttoaine.....	56
3.3.4.6	Vakavat onnettomuudet.....	56
3.3.4.7	Todennäköisyysperusteinen riskianalyysi (PRA)	57
3.3.4.8	Ympäristövaikutusten mallinnus.....	57
3.3.4.9	Imusihdit	58
3.3.4.10	Sähköjärjestelmien analyysi	58
3.4	Rakenteellinen turvallisuus ja materiaalit.....	59
3.4.1	Tutkimusalueen kuvaus.....	59
3.4.2	Tavoitteet	60
3.4.3	Tutkimuksen nykytila	63
3.4.4	Tutkimustarpeet	64
3.4.4.1	Vikaantumis- ja vaurioitumismekanismien arviointi.....	65
3.4.4.2	Aktiivisten materiaalien kokeellisten tutkimusvalmiuksien kehittäminen.....	66
3.4.4.3	Rikkomattomat tarkastus- ja arviointimenetelmät	66
3.4.4.4	Rakenteellisen turvallisuuden kehittyneet arviointimenetelmät	68
3.4.4.5	Eliniänhallinnan menetelmät ja eliniän pidentäminen	69
3.4.4.6	Uudet materiaalityratkaisut	71
3.4.4.7	PRA-perustaisen ja deterministisen suunnittelun rajapinta	71
4	Yhteenveto	73
	Viitteet.....	76

1 Johdanto

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) käynnistää vuosille 2015–2018 kansallisen neli-vuotisen ydinvoimalaitosten teknistieteellisen turvallisuustutkimusohjelman. Uusi ohjelma on jatkoa aikaisemmille julkisille ydinturvallisuustutkimusohjelmille, joista on ollut hyviä kokemuksia tietämyksen ylläpitämisessä ja kehittämisessä. Turvalli-suustutkimusohjelma perustuu ydinenergiain lukuun 7a ”Asiantuntemuksen var-mistaminen”. Ohjelma kattaa pääpiirteissään vuonna 2014 päättyvän SAFIR2014-ohjelman aihepiirit [1,2]. Ohjelmaa rahoittavat Valtion ydinjätehuoltorahaston (VYR) lisäksi muut ydinenergia-alalla toimivat keskeiset organisaatiot. SAFIR2014-ohjel-man rahoitus on ollut noin 10 miljoonaa euroa vuodessa. Kansallisen ydinturvalli-suustutkimuksen infrastruktuurien kehittäminen edellyttää uudella ohjelmakau-della merkittävää VYR-rahoituksen kasvua. Uudessa ohjelmassa pyritään siihen, että tutkimukseen käytettävä rahoitus jatkuu samana tai hieman korkeampana kuin SAFIR2014-ohjelmassa. Tutkimusohjelmasta käytetään lyhennettä SAFIR2018.

SAFIR2018-ohjelman rinnalla TEM valmistelee VTT:n Ydinturvallisuustalon vuo-sittaisen VYR-rahoituksen (infrastruktuuri, investoinnit ja laboratorioiden vuokrat). TEM esittää VYRille kyseisen rahoituksen yhdessä muun ydinenergiain luvun 7a mukaisen hankekokonaisuuden kanssa.

Ydinvoimalaitosten kansallisen turvallisuustutkimuksen suunnittelujaksolle vuo-teen 2018 sisältyy useita käytössä olevien ja uusien laitosten lupaprosesseja: Loviisa 1 ja 2 laitossyksiköiden automaation uudistus jatkuu, Olkiluoto 3-laitossyksikölle tul-laan hakemaan käyttöilupaa ja uusille ydinvoimalaitoshankkeille tullaan hakemaan rakentamislupaa. Myös käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitokselle rakentamis-lupaa on haettu valtioneuvostolta. Nämä prosessit heijastuvat usealla tavalla kan-salliseen turvallisuustutkimukseen. Julkisrahoitteisissa tutkimusohjelmissa kehitet-tyä tietotaitoa sovelletaan luvitusprosesseissa.

Uusien laitoshankkeiden eteneminen lisää asiantuntijaresurssien tarvetta. Uudet hankkeet ovat lisänneet kansainvälistä kiinnostusta Suomessa tehtävää ydinturval-lisuustyötä ja -tutkimusta kohtaan. Uuden laitoksen rakentaminen ja muut uudet hankkeet ovat myös lisänneet alan kiinnostavuutta työnantajana, mikä näkyy sekä alan opiskelijoiden määrän kasvuna että rekrytointien yhteydessä alalle hakeutu-vien henkilöiden määrässä.

Ydinturvallisuustutkimus vaatii suorittajiltaan syvällistä koulutusta ja sitoutu-mista alueeseensa. Tutkimusohjelma toimii ympäristönä, joka takaa toiminnalle pitkäjänteisyyttä. Tämä on erityisen tärkeää tilanteessa, jossa tutkijoiden keskuu-dessa tapahtuu sukupolvenvaihdos ja uusi tutkijapolvi on saatava rekrytoiduksi ja sitoutetuksi. Nykyisen tutkimusohjelman kansainvälisessä arvioinnissa [3] analy-soitiin yhdeksi tulosten hyvyyden syyksi se, että VTT ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT) ovat pitkäjänteisesti sitoutuneet ydinturvallisuuden tutkimukseen.

Tämän tyyppisen toimintatavan jatkuminen eri organisaatioissa on nopeatempoisessa nykymaailmassa vaativa haaste.

Laitosten luvitusprosessit sekä mahdollisuus rekrytoida uusia henkilöitä turvallisuustutkimushankkeisiin tarjoavat oivallisen tilaisuuden eri sukupolvien asiantuntijoiden työskentelyyn yhteisissä projekteissa ja tiedon siirtoon sukupolvien välillä. Tällä myös varmistetaan, että ydinvoimalaitosten käyttökokemukset ovat hyödynnettävissä parhaalla mahdollisella tavalla.

Kansallisen turvallisuustutkimuksen merkitystä korostavat toiminnan globalisoituminen ja verkottuminen. Tästä syntyy myös paineita yhdenmukaisten ydinturvallisuusvaatimusten ja valvontakäytäntöjen luomiseksi. Parhailleen on meneillään useita kansalliseen säännöstöön sekä kansainvälisiin vaatimuksiin ja ohjeisiin liittyviä hankkeita. Euroopan Unioni on tätä kirjoitettaessa juuri saamassa muutosdirektiivin vuoden 2009 ydinturvallisuudirektiiville ja myös IAEA:n ydinturvallisuuskonventio on uudistumassa.

YVL-ohjeiden rakenneuudistus on juuri valmistunut. Vuonna 1996 alkanut IAEA:n säännösten perusteellinen uudistus on tähännyt aikaisemman minimitasen sijaan ydinturvallisuuden kehittämiseen jäsenmaissa. Ydinvoimaa käyttävien EU:n jäsenmaiden ydinturvallisuutta valvovien viranomaisten päälliköt perustivat vuonna 1998 yhteistyöfoorumin nimeltä WENRA (Western European Nuclear Regulators' Association). Sen tarkoitus on vastata kansalaisten ydinturvallisuutta koskeviin odotuksiin ja turvata tasavertainen toimintaympäristö ydinenergian käytölle kaikissa Euroopan maissa. WENRalla on merkittävä rooli myös ydinturvallisuudirektiivin uudistamisessa ja monissa toiminnoissa kuten uudet aihekohtaiset vertaisarviointit.

Vuonna 2012 TEMin Osaamistyöryhmä määrittä sekä nykyiset henkilöresurssit ja tutkimusinfrastruktuurin että tulevat tarpeet [4]. Useat työryhmän suosituksista vaikuttavat tutkimustyöhön. Myös vuosina 2013–2014 työtä tehnyt TEM Ydinenergia-alan tutkimusstrategian kirjoittaneen työryhmän suositukset ovat olleet tämän runkosuunnitelman pohjana [5]. SAFIR on suurin kansallinen tutkimusohjelma, SAFIRissa toteutetaan merkittävä infrastruktuurin kehitys, SAFIRissa tullaan näkemään tutkimuksen tieteellisen tason kohottaminen ja kansainvälisyyteen voimakkaampi panostus. Monet tulevat tohtoriohjelmaverkoston tutkijat tekevät SAFIR-tutkimusta.

Työ- ja elinkeinoministeriö ja Valtion ydinjätehuoltorahasto valitsivat uuden tutkimusohjelman hallinto-organisaation ja johtajan joulukuussa 2013 julkisen kilpailutuksen perusteella ja nimittivät uudelle ohjelmalle suunnitteluryhmän ydinturvallisuustyöhön keskeisesti osallistuvien organisaatioiden edustajista [6]. Suunnitteluryhmän tehtävänä oli tuottaa tutkimusohjelman runkosuunnitelma ja ehdotus ohjelman organisoinnista.

Suunnitteluryhmä aloitti aktiivisen työnsä huhtikuussa 2014. Suunnitteluryhmä on täydentänyt itseään asiantuntijoilla ja suunnittelutyöhön on osallistunut noin 40 henkeä eri organisaatioista. Suunnitteluryhmä on työn aikana jakautunut kolmeen eri ryhmään, joista muodostetaan SAFIR2018-ohjelman tutkimusalueet. Osana suunnittelutyötä järjestettiin Dipolissa toukokuussa 2014 SAFIR2018-työpaja, johon

osallistui noin 30 henkeä. Seminaarin ryhmätyöt, joita suunnitteluryhmän alaryh-
mät ovat työstäneet vielä seminaarin jälkeen, ovat olleet tärkeä panos uuden tutki-
musohjelman runkosuunnitelman luomisessa.

Arvokas panos suunnitteluryhmän työlle on ollut myös erillinen TEMin tilaama
SAFIR2014-ohjelman kansainvälinen arviointi loppuraportteineen helmi-maalis-
kuussa 2014 [3]. Arviointiryhmän suositukset tulevalle ohjelmalle olivat:

- SAFIR-ohjelman tulisi kattaa koko tutkimuksen kenttä
- tulevassa ohjelmassa olisi korostettava teemoja eikä vain tutkimusalueita
- uusia tutkimusaiheita voidaan tunnistaa ydinlaitosten kunnossapidon ja käyt-
tötoiminnan piiristä
- ohjelman rahoituksen tulisi vastata Osaamistyöryhmän raportin edellyttämiä
valmiuksia
- Suomessa tulisi järjestää enemmän kansainvälisiä tapahtumia liittyen
SAFIR-ohjelmiin
- myös tutkijakoulutusta tulisi voida rahoittaa SAFIRin piirissä
- aikaisempien kansainvälisten arviointien suositukset tulisi ottaa huomioon
jatkokehityksessä
- ohjelman hallinnossa tulisi kiinnittää huomiota itsearviointeihin, joustavuus-
teen, strategiseen arviointiin ja hallinnon keveyteen.

Arviointiryhmän suositukset on otettu huomioon SAFIR2018:n runkosuunnitelman
laadinnassa. Niitä hyödynnetään edelleen tulevassa hankehaussa ja toimintakäsi-
kirjaa uusittaessa.

Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelma SAFIR2018 alkaa
julkisella hankehaulla syyskuussa 2014. TEM nimittää syksyllä 2014 tutkimusohjel-
man johtoryhmän. Ohjelma käynnistyy vuoden 2015 alusta.

Seuraavassa esitetään ehdotus ohjelman organisoinnista, kuvataan ohjelman toi-
mintaympäristöä ja esitellään SAFIR2018-ohjelman tutkimusalueet sekä kuvataan
yksityiskohtaisemmin alueisiin liittyviä tutkimustarpeita. Aihealueet ja tutkimus-
tarpeet perustuvat runkosuunnitelman laatimisen ajankohdan tietämykseen. Tutki-
musohjelma ottaa huomioon toimintaympäristössä tapahtuvat muutokset ja uusien
haasteiden ilmetessä siihen voidaan sisällyttää ohjelman yleisistä haasteista johdet-
tuja ohjelman tavoitteita tukevia tutkimuksia.

2 Tutkimusohjelman organisointi

2.1 Ohjelman tarkoitus ja yhteiskunnalliset vaikuttavuustavoitteet

SAFIR₂₀₁₈ tutkimusohjelman tarkoituksen on ydinergialain vuonna 2004 voimaan tuleen luvun 7a mukaisesti varmistaa, että jos ilmenee ydinlaitosten turvallisen käytön kannalta uusia seikkoja, joita ei ole ollut mahdollista ottaa ennalta huomioon, viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita käyttäen voidaan tarvittaessa viivytyksettä selvittää tällaisten seikkojen merkitystä. Ohjelmaan kuuluvien tutkimushankkeiden on oltava tieteellisesti korkeatasoisia ja niiden tulosten on oltava julkaistavissa sekä tulosten käytettävyys ei saa rajoittua vain yhden luvanhaltiana ydinlaitosten luovitukseen.

Ohjelma kattaa vuonna 2014 päättyvän SAFIR₂₀₁₄-tutkimusohjelman aihepiirit: ihmisten ja organisaation toiminta, automaatio, polttoaine, termohydrauliset menetelmät, vakavien onnettomuuksien tutkimus, primääripiirin tutkimus, rakenteiden tutkimus sekä todennäköisyyspohjaisten menetelmien tutkimus. Nämä alueet sisältävät jo Japanissa vuonna 2011 maanjäristyksen ja sitä seuranneesta tsunamista aiheutuneen Fukushima Daiichin ydinvoimalaitosonnettomuuden johdosta tehdyt täydennykset ohjelmaan. Saataessa uutta tietoa onnettomuuslaitoksista ja organisaatioiden sekä japanialaisen yhteiskunnan toiminnan arviointien valmistuttua on odotettavissa, että käynnistyy myös uusia kansainvälisiä onnettomuuden hallintaan liittyviä tutkimushankkeita. Uusina aiheina tutkimusohjelmaan on lisätty turvallisuuden, turvajärjestelyjen, ydinmateriaalivalvonnan ja ympäristövalvonnan rajapinnat.

Kokonaisturvallisuuden hallinta ja huomion kohdentaminen ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kannalta olennaisiin seikkoihin on entistä tärkeämpää, kun valmistaudutaan käytössä olevien ydinlaitosten hyvin pitkäikäiseen käyttöön ja uusiin laitoshakkeisiin. Eri toimijoiden, niin itse laitoshankkeeseen ja sen arviointiin osallistuvien kuin myös yhteiskunnallisten toimijoiden roolien ja toimintatapojen merkityksen ymmärtäminen verkottuneessa maailmassa muodostavat myös tärkeän kokonaisuuden tutkimusohjelmassa. Tutkimusohjelman aihepiiriin kuuluu useita aiheita kuten ydinpolttoaine, rakenteelliset leviämisesteet, organisaatioiden toiminta sekä yhteiskunnalliset selvitykset, joissa voidaan löytää synergiaetuja kansallisen ydinjätehuollon tutkimusohjelman KYT₂₀₁₈ kanssa.

Uudessa ohjelmassa pyritään siihen, että tutkimukseen käytettävä rahoitus jatkuu samana tai hieman korkeampana kuin SAFIR₂₀₁₄ -tutkimusohjelmassa. Ohjelman kokoa pyritään kasvattamaan hankkimalla lisää kansainvälistä rahoitusta. Ydin turvallisuustutkimuksen odotetaan kasvavan ohjelmakauden jälkeen merkittävästi

ydinturvallisuustutkimukseen tarvittavan kansallisen infrastruktuurin kehityksen myötä. VTT:n Ydinturvallisuustalo muodostaa yhdessä Lappeenrannan teknillisen yliopiston koelaitteistojen kanssa keskeisimmät kehityskohteet.

Tutkimusohjelman avulla luodaan osaamista, yhteistoimintaa ja verkottumista. SAFIR2018-ohjelman suunnitteluryhmä määritteli kansallisten ydinturvallisuusohjelmien missioksi:

*Kansallisella ydinturvallisuustutkimuksella kehitetään ja luodaan asiantunte-
musta, koelaitteistoja sekä laskenta- ja arviointimenetelmiä tulevaisuudessa ilme-
nevien turvallisuuskysymysten ratkaisemiseksi.*

SAFIR2018:n visioksi määriteltiin:

*SAFIR2018-tutkimusyhteisö on valpas, kansainvälisesti arvostettu ja vahvasti ver-
kottunut osaamiskeskittymä, joka tekee tieteellisesti korkeatasoista tutkimusta
ajantasaisin menetelmin ja koelaitteistoin suomalaisten ydinvoimalaitosten tur-
vallisuuden kannalta olennaisista aiheista.*

SAFIR2018-tutkimusohjelma kohdentaa rahoituksen suomalaisten ydinvoimalaitos-
ten turvallisuustutkimuksen vahvuuksiin huolehtien samalla tutkimuksen moni-
muotoisuudesta ja uudistumisesta. Tutkimusohjelma tukee riittävän ja kansainvä-
lisesti kilpailukykyisen tutkijakunnan kehittymistä ottaen huomioon ydinturvalli-
suustutkimukselle asetetut tavoitteet sekä tutkimuksen vahvuusalueet. Tutkimus-
ohjelman hankkeilla pyritään strategisesti valittuun kohdennettuun yhteistyöhön
eurooppalaisten ja kansainvälisten tutkimusohjelmien sekä ydinennergian käyttöä
kehittävien maiden tutkimusorganisaatioiden kanssa.

Tutkimusohjelman yhteiskunnalliset vaikuttavuusmittarit on esitetty kuvan 2.1
taulukossa.

Kuva 2.1. Tutkimusohjelman yhteiskunnalliset vaikuttavuusmittarit.

Mittari	Tilanne 2014	Tavoitetaso 2018	Huom!
Ohjelman volyymi			
Ohjelman volyymi suhteessa Euratomin ydinturvallisuustutkimukseen			
Kansainvälinen rahoitus: hankkeiden määrä, joissa kv. rahoitusta; kv. rahoituksen volyymi; osuus hankkeista, joissa on kv. rahoitusta; kv. hankkeiden osallistumismaksut			
Toteutumisaste: menetelmäkehitys			
Toteutumisaste: laitteisto ja infrastruktuuri			
Ydinturvallisuusmittarit: osaamisen saatavuus, OTR kartoitus *)			
Tutkimuksesta liitetoimintaa: kotimaiset tilaukset; kv. tilaukset			
Spin-offs: lukumäärä			

*) OTR kartoitus: akateemiset asiantuntijatehtävät, kartoitus vuosina 2015 ja 2018

2.2 Ohjelman käynnistys

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) käynnisti tutkimusohjelman valmistelun syyskuussa 2013 kuulutuksella tarjouskilpailusta, jossa haettiin organisaatiota vastaamaan uuden tutkimusohjelman hallintohankkeesta. TEM valitsi uuden ohjelman hallinto-organisaation ja johtajan joulukuussa 2013.

Maaliskuussa 2014 TEM nimitti uuden ohjelman suunnitteluryhmän ydinturvallisuustyöhön keskeisesti osallistuvien organisaatioiden edustajista. Suunnitteluryhmän tehtävänä oli tuottaa uuden tutkimusohjelman runkosuunnitelma ja ehdotus ohjelman organisoinnista. Tarvittaessa suunnitteluryhmällä oli lupa täydentää itseään joko pysyvillä tai tilapäisillä asiantuntijoilla.

Suunnitteluryhmä aloitti työnsä huhtikuussa 2014. Suunnitteluryhmä on täydentänyt itseään asiantuntijoilla ja suunnittelutyöhön on osallistunut noin 40 henkeä eri organisaatioista. Suunnitteluryhmä kokoontui ja toimi yhtenäisenä, mutta kirjoitustyötä varten muodostettiin kolme ryhmää aihepiirinään tulevan ohjelman kolme tutkimusaluetta ja lisäksi hallinnon rakennetta ja yleisiä asioita käsittelevä ryhmä. Osana suunnittelutyötä järjestettiin Dipolissa työpaja, johon osallistui yli 30 henkeä. Työpajan ryhmätyöt loivat pohjan runkosuunnitelman sisällölle. Uusi tutkimusohjelma on nelivuotinen ja se käynnistetään vuoden 2015 alusta. TEM nimittää syksyllä 2014 uuden tutkimusohjelman johtoryhmän ja julkaisee hankekuulutuksen vuoden 2015 tutkimushankkeista.

2.3 Ohjelman hallinnointi

Ohjelman toimintamalli koostuu johtoryhmästä ja sen alla toimivasta kolmesta tutkimusalueen ohjausryhmästä sekä projektien sisällölliseen ohjaamiseen keskittyvistä tukiryhmistä (kuva 2.2). Ohjelman hallinnoinnista vastaa julkisen kilpailutuksen perusteella valittu hallinnointiyksikkö ja ohjelman johtaja.

SAFIR₂₀₁₈-ohjelman tutkimusalueet ovat:

- Kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta
- Reaktoriturvallisuus
- Rakenteellinen turvallisuus ja materiaalit

Tutkimus toteutetaan projektipäälliköiden johtamissa projekteissa. Projektien tutkimusaiheet voivat liittyä yhteen tai useampaan tutkimusalueeseen, mutta hallinnollisesti kukin projekti sijoitetaan yhteen tutkimusalueeseen. Projekti sijoitetaan myös yhteen tutkimusalueen ohjausryhmän määräämään tukiryhmään.

Ohjelmassa noudatettavat hallintokäytännöt kuvataan yksityiskohtaisesti myöhemmin laadittavassa toimintakäsikirjassa. Ohjelman hankkeiden valinnassa ja seurannassa noudatetaan riippumattomuusperiaatetta, jonka mukaisesti projektissa työskentelevä henkilö ei voi olla ohjelman johtoryhmän tai tutkimusalueen ohjausryhmän jäsen.

Kuva 2.2 Ohjelman hallinnon rakenne. Kukin projekti kuuluu yhteen tukiryhmään, jonka aihepiiri voi liittyä yhteen tai useampaan tutkimusalueeseen. SAFIR2018-ohjelman tukiryhmät vahvistetaan ohjelman käynnistyttyä.



Työ- ja elinkeinoministeriö nimeää ohjelmalle ydinturvallisuustyöhön keskeisesti osallistuvien organisaatioiden edustajista koostuvan johtoryhmän, joka edelleen nimeää tutkimusalueiden ohjausryhmät ja tukiryhmät niiden ehdotuksesta. Johtoryhmä nimeää myös ohjaus- ja tukiryhmien puheenjohtajat ja jäsenet. Tutkimusinfrastruktuurin kehittämiseksi nimetään SAFIR2018-ohjelmassa oma tukiryhmä.

2.3.1 Johtoryhmä

Johtoryhmä vastaa ohjelmakokonaisuudesta ja sen tuloksellisuudesta siten, että ohjelma täyttää laissa asetetut vaatimukset. Johtoryhmä päättää myös hankekoko- naisuudesta, seuraa tutkimusohjelman toteutumista kokonaisuutena sekä päivit- tää tarvittaessa runkosuunnitelmaa hankehakua varten. Johtoryhmä tekee TEMille esityksen seuraavan vuoden hankekoko- naisuudesta, joka tekee lain edellyttämän rahoitusesityksen VYRille saatuaan lausunnon STUKilta.

Johtoryhmän puheenjohtaja on Säteilyturvakeskuksesta (STUK) ja sen sihteerinä toimii tutkimusohjelman johtaja. Johtoryhmään valitaan yksi edustaja kustakin ydinenergia-alueella toimivasta voimayhtiöstä, kustakin merkittävästä ydinvoimalan tutkimusta tekevästä tai opetusta antavasta tutkimuslaitoksesta ja yliopistosta, työ- ja elinkeinoministeriöstä sekä Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksesta (Tekes). TEMin yhteyshenkilö toimii myös Valtion ydinjätehuoltorahaston (VYR) yhdyshenkilönä. Kullekin johtoryhmän jäsenelle nimetään varajäsen. Johtoryhmän toimikausi päättyy 31.3.2019. Johtoryhmän osallistujaorganisaatiot maksavat omien edustajiensa osallistumiskulut.

Johtoryhmän päätökset dokumentoidaan pöytäkirjoihin, jotka jaetaan SAFIR2018-ohjelmassa mukana oleville organisaatioille sekä erillisellä jakelulla muille sidosryhmille. Johtoryhmä kokoontuu tarpeen mukaan ja pääsääntöisesti kolme kertaa vuodessa (maaliskuu, kesäkuu, joulukuu).

2.3.2 Tutkimusalueiden ohjausryhmät

Tutkimusalueet vastaavat omalla alueellaan tutkimusohjelman vaatimustenmukaisuudesta ja tuloksellisuudesta, valmistelevat oman alueensa hankehaut, arvioivat tutkimushanke-ehdotukset ja sijoittavat hankkeet tukiryhmiin. Ryhmät myös edistävät poikkitieteellisten tutkimushankkeiden syntymistä sekä vastaavat päivityksistä tutkimusalueiden suunnitelmiin ja vuotuisiin painopisteisiin. Ohjausryhmä voi esittää sekä sen oman alueen että poikkitieteellisten uusien tukiryhmien perustamista johtoryhmälle.

Ohjausryhmät vastaavat alueensa tutkimusprojektien seurannasta ja raportoivat johtoryhmälle. Ohjausryhmät tukeutuvat projektien tutkimuksen edistymisen seurannassa ja muutenkin tarvittaessa tukiryhmien asiantuntemukseen. Ohjausryhmän on valvottava, että projektissa saavutetut tulokset ja kustannukset vastaavat rahoituspäätöstä. Ohjausryhmä hyväksyy tukiryhmien esityksestä tutkimusprojektin sisäiset osatehtävien painotuksen muutokset, jos ne edellyttävät rahoitusmuutoksia. Ohjausryhmä hyväksyy myös vastaavat rahoitusmuutokset.

Alueen ohjausryhmän puheenjohtaja on Säteilyturvakeskuksesta ja sen sihteerinä toimii tutkimusohjelman johtaja. Ohjausryhmään valitaan yksi edustaja kustakin ydinenergia-alueella toimivasta voimayhtiöstä. Kullekin ohjausryhmän jäsenelle nimetään varajäsen.

Ohjausryhmän päätökset ja esitykset johtoryhmälle dokumentoidaan pöytäkirjoihin, jotka jaetaan johtoryhmälle, tukiryhmille ja asianomaisille projektipäälliköille. Ohjausryhmä kokoontuu tarpeen mukaan ja pääsääntöisesti kolme kertaa vuodessa (helmikuu, toukokuu, marraskuu). Helmikuun kokouksessa arvioidaan edellisen vuoden tutkimusprojektien tulokset ja alkaneen vuoden päivitetty hankesuunnitelmat. Helmikuun kokous järjestetään alueen tukiryhmäkokousten jälkeen tai yhdistetään tukiryhmäkokouksiin.

2.3.3 Tukiryhmät

Tukiryhmät vastaavat projektien tutkimustyön tieteellisestä ohjauksesta ja päättävät niiden tutkimuksellista sisältöä koskevien suunnitelmien muutoksista työn edetessä. Tukiryhmä voi olla koko hankekauden jatkuva tai perustettu yksittäistä hanketta varten. Tukiryhmien jäsenet arvioivat tutkimushanke-ehdotusten tieteellistä tasoa ja sisältöä tutkimusalueen ohjausryhmän pyynnöstä.

Johtoryhmä vahvistaa tukiryhmien aihealueet ja kokoonpanon tutkimusalueiden ohjausryhmien esityksestä. Uusia tukiryhmiä voidaan perustaa ja vanhoja lopettaa ohjelman aikana.

Tukiryhmän puheenjohtaja on ydinenergia-alueella toimivan voimayhtiön tai STUKin edustaja tai muu alan tunnustettu asiantuntija. Sen sihteerinä toimii vuorotellen aina jonkin tukiryhmän aihepiirin projektipäällikkö. Tukiryhmään valitaan aihepiirin asiantuntijoita siten, että kustakin ydinenergia-alueella toimivasta voimayhtiöstä, STUKista ja tukiryhmään sijoitetuista projekteista vastaavista tutkimusorganisaatiosta on ainakin yksi edustaja ja lisäksi tarpeen mukaan muita asiantuntijoita. Kullekin tukiryhmän jäsenelle nimetään varajäsen.

Tukiryhmän kokouksista kirjoitetaan muistiot, joihin dokumentoidaan hankkeiden sisältöä koskevat päätökset ja tutkimusalueiden ohjausryhmille tehtävät esitykset. Muistiot jaetaan johtoryhmälle, tutkimusalueiden ohjausryhmille ja asianomaisille projektipäälliköille. Tukiryhmä kokoontuu tarpeen mukaan ja pääsääntöisesti kolme kertaa vuodessa (helmikuu, toukokuu, lokakuu).

2.3.4 Ohjelman johtaja ja hallintohanke

Ohjelman johtaja ja hallintohanke vastaavat ohjelman hallinnosta ja ne valitaan tarjouskilpailun perusteella. Ohjelman johtajan ja hallintohankkeen tehtävät määritellään vuosittain erillisessä tilauksessa ja sen liitteenä olevassa tarjouksessa.

Ohjelman johtaja ja hallintohanke valmistelevat ohjelman johtoryhmän kokoukset ja toimeenpanevat sen päätökset, ylläpitävät ohjelman yhteistä esittelyaineistoa ja verkkosivuja, hoitavat ohjelmatason yhteydenpitoa kansainvälisiin yhteishankkeisiin ja edistävät kansainvälistä yhteistyötä. Ohjelman johtaja ja hallintohanke valmistelevat myös tutkimusalueiden ohjausryhmissä käsiteltäviä asioita sekä hoitavat tukiryhmien ja projektien keskinäistä koordinaatiota. Ohjelman johtaja ja hallintohanke kokoavat ohjausryhmien kokouksiin kustannusyhteenvedot ja tukiryhmien arvioimat projektien sisällölliset edistymisraportit projektin laskutuksen hyväksymistä varten kaksi kertaa vuodessa (loka- ja tammikuun loppujen tilanteet). Ohjelman johtaja osallistuu johtoryhmän, tutkimusalueiden ohjausryhmien ja tukiryhmien kokouksiin.

Ohjelman johtaja ja hallintohanke koostavat ohjelman vuosisuunnitelman ja vuosisraportin, edistymisraportit ja muun vaaditun yhteisraportoinnin mukaan lukien VYR-laskutuksen perustaksi tarvittavan kustannusseurannan. Ohjelman hallinto

organisoi TEMin ja johtoryhmän ohjeistuksen mukaisesti vuosittaisen VYR-hankehaun mukaisen hankkeiden valinnan.

Ohjelman johtaja ja hallintohanke kehittävät ohjelman toimintaa sekä ylläpitävät toimintakäsikirjaa ja muita ohjelman sisäisiä toimintaohjeita.

Ohjelman johtaja ja hallintohanke järjestävät johtoryhmän päätösten mukaisesti ohjelman puoliväli- ja loppuseminaarit sekä mahdolliset muut vastaavat ohjelman yhteiset tilaisuudet.

Ohjelman johtaja ja hallintohanke avustavat TEMiä myös muissa ohjelmaan liittyvissä tehtävissä.

2.3.5 Projektipäällikkö, tutkimusryhmä ja tutkimuksen suorittajaorganisaatio

Tutkimusprojekteja johtaa projektipäällikkö, joka osallistuu hankkeen tutkimustyöhön yhdessä muiden hankkeessa työskentelevien tutkijoiden kanssa. Projektipäällikkö ja hänen edustamansa organisaatio vastaavat projektin toteuttamisesta projektisuunnitelman ja kustannusbudjetin sekä näihin mahdollisesti liittyvien tutkimusalueen ohjausryhmän päätösten mukaisesti. Projektipäällikkö vastaa projektin sisällöllisestä toteutumisesta ja hoitaa yhteydenpidon omaan tutkimusryhmään, muihin hankkeisiin, hanketta ohjaavaan tukiryhmään ja ohjelman johtoon sekä vastaa ohjelman projekteille asetetuista raportointivelvoitteista.

2.4 Hanketyypit ja hakumenettely

Ohjelman tutkimushankkeiden tulee olla tavoitteeltaan kunnianhimoisia ja kansainvälisesti arvioiden korkeatasoisia. Hankkeet voivat olla soveltavia tai perusosaamista kehittäviä ja ylläpitäviä. Soveltavat hankkeet voivat olla tieteellisesti uutta luovia tai tunnettujen tulosten soveltamista käytäntöön uudella tavalla. Perusosaamista kehittävät ja ylläpitävät hankkeet varmistavat, että Suomessa ovat tarpeelliseksi katsotut koelaitteistot ja kelpuutetut menetelmät sekä niiden käytön hallitseva henkilöstö.

Projektisuunnitelmassa on osoitettava tutkimuksen uutuusarvo ja miten hanke vahvistaa suomalaista ydinturvallisuusalan osaamista sekä edistää alan toimijoiden kansainvälistä verkottumista ja yhteistyötä. Hyviä kansainvälisiä käytäntöjä kehitetään pääasiassa ydinturvallisuustutkimuksen piirissä, mutta myös muiden teollisuudenalojen käytäntöjen soveltaminen voi sopia tutkimusaiheeksi. Väitöskirjat osoittavat tutkijoiden pätevoitymistä sekä tulosten tieteellistä uutuusarvoa, mutta väitöskirjan tekeminen ei pelkästään riitä tavoitteeksi, vaan työn aihepiirin on myös oltava tutkimusohjelman kannalta merkityksellinen.

Jokaiselle ohjelmassa rahoitettavalle projektille on asetettava selkeät tavoitteet ja tehtävät. Tukiryhmien ja tutkimusalueiden ohjausryhmien on pystyttävä arvioimaan tavoitteiden toteutuminen projektivuoden aikana ja sen lopussa. Kunkin

projektivuoden suunnitelman tulee sisältää vähintään lokakuussa arvioitavissa olevat välitavoitteet sekä projektivuoden lopussa arvioitavat koko projektivuoden tavoitteet.

VYRin rahoitettavaksi ehdotetuista hankkeista julkaistaan vuosittain alkusyksyllä hankehakukuulutus. Hanke-esitys voidaan tehdä yhdeksi tai useammaksi vuodeksi. Mikäli rahoitusta myönnetään useampivuotiselle hankkeelle, sille myönnetään pääsääntöisesti jatkorahoitusta hankesuunnitelman mukaisesti. Rahoitusta voidaan kuitenkin esittää VYRille pienenettäväksi alkuperäisesti suunnitellusta johtoryhmän päätöksellä. Erityisesti arvioidaan, onko hanke toteutunut suunnitellusti ja onko toimintaympäristön muuttuminen vaikuttanut hankkeen tavoitteiden toteuttavuuteen tai merkitykseen.

Varsinaisten tutkimushankkeiden lisäksi SAFIR2018-ohjelman johtoryhmä voi käynnistää vuosittain pieniä selvityksiä tilausmenettelyllä. Päätökset selvityshankkeista tehdään varsinaisen tutkimushaun rahoituspäätösten jälkeen. Selvityshankkeilla tuetaan runkosuunnitelman toteuttamista aihepiireissä, joihin ei käynnisty varsinaisia tutkimusprojekteja sekä perehdytään muihin uusiin aiheisiin.

Projektiesitysten valintaperusteina VYRille esitettävään hankekokonaisuuteen ovat hankkeiden kyky kehittää alan asiantuntemusta, menetelmiä ja kokeellista toimintaa sekä verkottumista (ks. SAFIR2018:n visio sekä ohjelman vaikuttavuuden ja tuloksellisuuden mittarit). Erityisesti kiinnitetään huomiota ydinenergialain 7a luvun vaatimuksen toteutumiseen: varmistaa se, että viranomaisella on viiveettä käytettävissä riittävästi asiantuntemusta ja menetelmiä, jos uusien turvallisuuteen liittyvien seikkojen ilmetessä on arvioitava niiden turvallisuusmerkitys.

SAFIR2018-ohjelman tutkimusalueiden ohjausryhmät arvioivat hanke-esitykset ja ohjelman johtoryhmä tekee vuosittain TEMille esityksen tutkimushankekokonaisuudesta. TEM tekee esityksen yhdestä ydinenergialain vaatimukset täyttävästä hankekokonaisuudesta VYRille kuultuaan STUKia. Useampivuotisten hankkeiden rahoitusesitys voi poiketa hankkeen alussa esitetystä suunnitelmasta esimerkiksi tutkimusohjelman tavoitteiden painotusten tai hankkeiden kilpailutilanteen muuttuessa. Johtoryhmä voi myös esittää useampivuotisen hankkeen keskeyttämistä. Hankkeiden valintaprosessi kuvataan yksityiskohtaisesti tutkimusohjelman toimintakäsikirjassa.

Hanke-arvioinnin aikana ohjelman johtoryhmällä on mahdollisuus sopia hankeesitysten tekijöiden ja rahoittajien kanssa hankkeen tavoitteiden ja rahoituksen muuttamisesta sekä tehtyjen hanke-esitysten yhdistämisestä suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Tutkimusohjelmaan voidaan myös esittää hankkeita, joihin ei haeta rahoitusta VYRiltä. Johtoryhmä päättää tällaisten hankkeiden mukaanotosta ohjelmaan. Kriteerinä kaikille hankkeille on sopivuus tutkimusohjelman runkosuunnitelmaan.

Projekteja suunniteltaessa ja VYRiltä haettavaa rahoitusosuutta määriteltäessä tulee ottaa huomioon projektissa tehtävän työn luonne. Projektin tulee muodostua yhtenäiseen tavoitteeseen tähtäävistä osatehtävistä ja sillä tulee olla selkeät

välitavoitteet, joiden toteutuminen voidaan arvioida projektivuoden aikana sekä sen lopussa. SAFIR2018-ohjelmassa on tavoitteena muodostaa projekteihin keskimäärin suurempia tutkimuskokonaisuuksia kuin SAFIR2014-ohjelmassa.

Tutkimuslaitokset, teknologista tutkimusta tekevät organisaatiot ja yliopistot voivat saada VYRin rahoitusta korkeintaan 70 % projektin kokonaiskustannuksista. Kansainvälisiin sopimuksiin liittyviin osallistumismaksuihin voidaan kuitenkin saada 100 % VYRin rahoitus. Rahoitusta voivat saada myös yritykset, jotka ovat uskottavasti sitoutuneet tutkimusalueeseen. Yrityksiin sovelletaan lisäksi EU:n valtiontukisäännösten de minimis -sääntöä. Tutkimusohjelma notifioidaan tarvittaessa EU:n komissiolle TEMin päätöksellä.

2.5 Tutkimusohjelman tuloksellisuus

Tutkimusohjelmaa voidaan arvioida neljästä näkökulmasta: vaikuttavuus, resurssit ja uudistuminen, prosessit ja rakenteet sekä talous.

Tutkimusohjelman vaikuttavuutta mitataan ensisijaisesti sillä miten ohjelma on onnistunut tehtävässään. Vaikuttavuuden yhteiskunnalliset mittarit on esitetty ohjelman tavoitteiden yhteydessä luvussa 2.1.

Tutkimusohjelman hankkeiden tuloksellisuutta ja tavoitteiden saavuttamista voidaan mitata tutkimusohjelman loppukäyttäjiltä saadulla dokumentoidulla palautteella, tutkimusohjelman hankkeissa syntyneiden julkaisujen määrällä sekä menettelmien ja infrastruktuurin toteutumisen asteella asetettuun tavoitteeseen nähden. Tutkimusohjelmaista suoritettavat ulkopuoliset kotimaiset ja kansainväliset arvioinnit mittaavat tutkimusohjelman ja sen osa-alueiden sijoittumista kansainväliseen osaamiskenttään.

Resurssien ja uusiutumisen kannalta hankkeen koulutusvaikutuksen suoria indikaattoreita ovat hankkeissa syntyneet akateemiset opinnäytteet, toteutuneet tutkimustyövuodet, tutkijoiden vaihto ulkomaille/Suomeen sekä tutkimuksesta syntyneiden spin-offien määrä.

Tutkimusohjelman prosessien ja rakenteiden näkökulmasta ohjelmaa arvioidaan toteutettavien sisäisten auditointien tulosten perusteella ja ohjelmaa koskevilla kyselyillä. Johtoryhmän vuotuisessa katselmuksessa arvioidaan toimintaprosessien kehitystarpeet sekä päätetään prosesseihin ja rakenteisiin tehtävistä parannuksista.

Talouden näkökulman mittarit, tutkimusohjelman volyymi ja henkilötyövuodet sekä rahoitus, jotka on esitetty luvussa 2.1, kertovat osaltaan ohjelman yhteiskunnallisesta vaikuttavuudesta. Projektihallinnon vaatimien resurssien määrä tulee olla hyvin perusteltu ja oikeassa suhteessa hankkeen kokoon.

Tutkimusohjelman tuloksellisuuden ja laadun mittarit on esitetty kuvassa 2.3.

Kuva 2.3 Tutkimusohjelman tuloksellisuuden ja laadun mittarit.

Mittari	Tilanne 2014	Tavoitetaso 2018	Huom!
Julkaisupisteet: alkuperäisjulkaisut; vertaisarvioidut proceedings-julkaisut; tutkimusraportit; muut julkaisut			
Tutkimusraporttien hyödynnettävyys ja taso/ laatu: arviointilomakkeen tulosarvioinnit; määrät eri luokissa			
Opinnäytteet: maisterin työt ja lisensiaatintyöt; väitöskirjat			
Tutkijoiden vaihto: kv-tutkijoita Suomeen; suomalaisia tutkijoita ulkomailla			

2.6 Julkisuusperiaatteet, oikeudet ja vastuut

Tutkimusohjelmassa hankitut ja kehitetyt laitteet, koneet, ohjelmistot sekä tutkimustulokset ovat tutkimuksesta vastaavan organisaation omaisuutta, ellei muuta sovita.

Tutkimustulosten julkistamisesta päätetään rahoituspäätöksessä nimetyn yhdys henkilön ja tutkimuksesta vastaavan organisaation kesken. Pääsääntö on, että tutkimustulosten on oltava julkaistavissa (ydinenergialaki 53 d §). Tutkimusohjelman julkaisut kootaan vuosittain toimitettavaksi sopivassa muodossa tutkimusohjelmassa mukana olevien organisaatioiden sisäiseen käyttöön.

Mikäli hankkeen nimenomaisena kohteena on uuden tietokoneohjelman kehittäminen kokonaan tai pääosin VYRin rahoituksella, viranomaiset ja muut tutkimusohjelmaan osallistuvat tahot saavat erikseen täsmennettävien ehdoin määritellyn oikeuden käyttää tietokoneohjelmaa. Ohjelmiston käytön veloituserusteista sovi taan tapauskohtaisesti.

Tutkimusprojektin päävastuullinen organisaatio vastaa tutkimuksen suorituksesta ja raportoinnista tilaajan (VYR tai muu organisaatio) ja päävastuullisen organisaation välisen sopimuksen mukaisesti. Päävastuullisen organisaation projekti-päällikkö toimii vastuullisena yhteyshenkilönä. Päävastuullinen organisaatio on vastuussa tutkimustulosten asianmukaisesta taltioinnista tutkimusohjelman toimintakäsikirjan mukaisesti. Tilauksiin liitetyt rahoitusehdot määrittelevät laskutusaika-taulun ja laskutuksen ehdot.

Ohjelman hallintohankkeesta vastaa hallinnointiin tarjouskilpailun perusteella valittu organisaatio ja ohjelman johtaja. Hallintohankkeen vastuut on määritelty hallintohankkeen tilauksessa ja siihen liitetyissä rahoitusehdoissa.

Kaikissa VYRin rahoittamissa hankkeissa on suomalaisille osallistujille pyrittävä antamaan mahdollisimman avoin pääsy syntyviin tutkimustuloksiin.

2.7 Tutkimuksesta tiedottaminen ja tiedonvaihto

Tutkimusohjelmalla on merkittävä rooli uuden asiantuntijapolven kouluttamisessa ja tiedonsiirrossa. Oppiminen tapahtuu osallistumalla tutkimustyöhön kokeneempien tutkijoiden ohjauksessa. Yliopistoille tehtävät opinnäytetyöt ovat osa tulosten raportointia. Korkeatasoinen tutkimustyö, kansainvälinen yhteistyö ja uudet yhteydet eri tieteenalojen ja tekniikan alojen välillä syventävät ja laajentavat myös kokenempien tutkijoiden osaamista.

Syvällisen asiantuntemuksen saavuttaminen edellyttää jatko-opintojen suorittamisen ja väitöskirjatyön tekemisen. Väitöskirjojen ja muiden opinnäytetöiden syntyminen on yksi SAFIR2018-ohjelman tuloksellisuuden mittari. Jatko-opinnot myös lisäävät ohjelman tutkimuksen pitkäjänteisyyttä ja tuottavat tieteellistä tasoa nostavia julkaisuja.

Työskentely ohjelman johtoryhmässä, tutkimusalueiden ohjausryhmissä ja tukiryhmissä on tärkeää myös tiedonvaihdon kannalta. Tutkimuksen tulokset leviävät loppukäyttäjille ja toisaalta tutkimustarpeet tutkijoille. Ohjelman seminaarit toimivat myös tehokkaina tiedonvaihtokanavina.

VYR-rahoitteisen turvallisuustutkimuksen rooli on ydinenergialaissa selkeästi rajattu koskemaan nykyisiä ja rakenteilla olevia ydinlaitoksia. Tutkimusohjelmassa pyritään kuitenkin myös edistämään sekä seuraavan sukupolven reaktoreihin että SAFIR2018-ohjelman sisällön suhteen rajapinnoilla olevin tutkimusaiheisiin liittyvää tiedonvaihtoa (mm. KYT2018-ohjelma).

2.8 Yhteydet muuhun Suomessa tehtävään ydinenergia-alan tutkimukseen ja tohtorikoulutusohjelmiin

Suomessa ydinenergiatutkimus on jakautunut useaan eri organisaatioon. Valtaosa julkisrahoitteisesta tutkimus- ja kehitystoiminnasta toteutetaan Teknologian tutkimuskeskus VTT:ssä. Muita tärkeitä tutkimuslaitoksia ovat Aalto-yliopisto ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), Geologian tutkimuskeskus (GTK), Ilmatieteen laitos sekä Helsingin, Itä-Suomen, ja Jyväskylän yliopistot sekä Tampereen teknillinen yliopisto. Näiden lisäksi Säteilyturvakeskus (STUK) sekä Fortum, Teollisuuden Voima Oyj ja Posiva Oy ovat rahoittaneet omaa tutkimusta sekä erilaisia muualla kuin Suomessa tehtäviä tutkimushankkeita.

Ydinenergia-alan tutkimuksen kokonaislaajuus Suomessa on vuosittain noin 75 miljoonaa euroa. Merkittävimmät julkiset tutkimusrahoittajat ovat VYR (Valtion ydinjätehuoltorahasto), Tekes, Euratom ja Suomen Akatemia. Muita rahoittajia ovat mm. VTT, STUK, yliopistot, voimayhtiöt sekä EU:n eri rahoituskanavat.

Tutkimusrahoituksesta yli puolet on kohdistunut ydinjätehuollon tutkimukseen. Pääosa siitä on Posiva Oy:n omistajayhtiöiden rahoittamaa tutkimusta, joka

kohdistuu ydinjätteen turvalliseen loppusijoitukseen. Merkittävässä roolissa tässä on Olkiluodossa sijaitseva ONKALO-tutkimustila. Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2014 (2010–2014) toteuttaa edellisen vaiheen teknisluonnontieteellisiä hankkeita, joilla vahvistetaan ydinjätealan kansallista osaamis pohjaa. Tavoitteena on kehittää ja ylläpitää perusvalmiuksia, joita Suomessa tarvitaan ydinjätehuollon suunnitelman mukaisten ratkaisujen toteuttamiseksi. Tutkimukset on jaettu strategiaan selvityksiin ja käytetyn polttoaineen geologisen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta varmistaviin hankkeisiin. KYT2014 ohjelman tutkimushankkeiden toteutukseen osallistuvat VTT, GTK sekä useat yliopistot. Uusi tutkimusohjelma KYT2018 on valmisteilla SAFIR2018:n valmistelun rinnalla.

Reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelma SAFIR2014 on ollut volyymiltään noin puolet kartoitetusta reaktoriturvallisuuden tutkimuksesta Suomessa. Muu reaktoriturvallisuuden tutkimus koostuu voimayhtiöiden, tutkimuslaitosten ja yliopistojen oma- tai yhteisrahoitteisesta tutkimuksesta. Fortumin oma tutkimus on keskittynyt Loviisan VVER-440-tyyppisten laitosten kysymyksiin esimerkiksi materiaalien ikääntymiseen, termohydrauliikkaan, ydinpolttoaineeseen sekä reaktoriteknikkaan ja laitostekniikkaan. TVO:n oma tutkimustoiminta keskittyy mm. polttoaineeseen ja Olkiluoto 1- ja 2-laitosyksiköiden erityiskysymyksiin. VTT on tehnyt SAFIR2014-ohjelman ulkopuolella reaktoriturvallisuustutkimusta erityisesti Euratomin hankkeissa. Muu VTT:n omarahoitteinen tutkimustoiminta pitää sisällään uuden sukupolven reaktorien (GenIV) tutkimusta sekä sellaista VTT:n omien valmiuksien kehittämistä, joka aiheeltaan ei sovellu kansallisiin tutkimusohjelmiin.

Suomen Akatemian ydintekniikan alalle vuonna 2011 suunnatusta hausta rahoitetaan neljää hanketta (2012–2016, kokonaisvolyymiltään 3 miljoonaa euroa) Aalto-yliopistossa, Helsingin yliopistossa, Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa sekä VTT:ssä. Hankkeista kahdessa mallinnetaan rakennemateriaalien säteilyvauriomekanismeja ja polttoaineen suojakuoren muita vanhenemis-mekanismeja, toinen puoli hankkeista puolestaan keskittyy sekä nykyisten että neljännen sukupolvien reaktorisydämen monifysiikkamallinnukseen. Kansallista tutkimusyhteistyötä erityisesti VTT:n, Aalto-yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston välillä on edistetty myös osallistumalla Suomen Akatemian infrastruktuuritiekarttahankkeisiin sekä ”Uusi Energia” -ohjelman valmisteluun.

Fuusioenergian tutkimusyhteistyön (Euratom-Tekes-assosiaatio 2013 asti, sittemmin EUROfusion-konsortio) keskeisenä päämääränä on kehittää ITER-koereaktorille suomalaista teollisuutta kiinnostavaa teknologiaa ja osallistua fokusoidusti ITERin rakentamisen rinnalla toteutettavaan EU:n fuusiotutkimukseen. Teknologiahjelman tutkimusalueet ovat fuusioplasmatutkimus, plasma-seinämävuorovaiikutukset, fuusioreaktoreiden materiaalitutkimus, suprajohtavien lankojen kehitys, kauko-ohjatut huoltojärjestelmät ja systeemitutkimukset. Suomalaisen fuusioenergiatutkimuksen painopisteet arvioidaan EU:n fuusiotutkimusohjelman painopisteiden mukaan, jolloin hyöty suomalaisten yritysten toimituksille ja osaamisen kehittymiselle on myös parhain.

TEM asetti tammikuussa 2013 työryhmän valmistelemaan ydinenergia-alan tutkimusstrategiaa vuoteen 2030 asti. Valmistelu perustui maaliskuussa 2012 työnsä päättäneen kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raporttiin [4]. Strategiat julkistettiin huhtikuussa 2014 [5]. Strategian suosituksista ”Ydinenergia-alan tutkimuksen painopistealueet tulee koota laajoiksi kansallisiksi ohjelmiksi” koskettaa SAFIR2018-ohjelmaa suoraan. Suosituksessa todetaan, että perustan ydinturvallisuuden ja ydinjätehuollon tutkimukselle muodostavat edelleen vahvat kansalliset tutkimusohjelmat näillä osa-alueilla. Lisäksi suositellaan kansallisten tutkimusohjelmien perustamista säteilyturvallisuustutkimukseen sekä tulevaisuuden ydinennergian tutkimukseen (fissio ja fuusio).

Yliopistot, tutkimuslaitokset, viranomaiset ja teollisuus on sitoutettava monialaisen ja poikkitieteellisen tohtoriohjelmaverkoston toiminnan tukemiseen sekä tutkijakoulutuksen pitkäjänteiseen rahoittamiseen. SAFIR-ohjelmilla on merkittävä rooli tutkijakoulutuksen tukemisessa ydinturvallisuuden alalla. Kaikkien organisaatioiden yhteistyö erityisesti tutkijoiden liikkumisessa sektorirajojen yli on avainasemassa. Vuosina 2012–2015 toimiva Aalto-yliopiston koordinoima Ydintekniikan ja radiokemian kansallinen tohtoriohjelma on toimiva esimerkki laaja-alaisesta yhteistyöstä, jonka rahoittamiseen voimayhtiöt osallistuvat Suomen Akatemian ohella. Tohtoriohjelmassa väitöskirjaansa tekeviä tutkijoita on Aalto-yliopistossa, Helsingin yliopistossa, Lappeenrannan teknillinen yliopistossa sekä VTT:ssä.

2.9 Kansainvälinen yhteistyö

2.9.1 Kansainvälinen yhteistyö osana tutkimusohjelmaa

Kansainvälinen yhteistyö ydinenergia-alalla on välttämättömyys, etenkin pienessä ydinenergiamaassa kuten Suomi. Yhteistyön kautta on mahdollisuus päästä mukaan suurempiin tutkimushankkeisiin Euroopassa ja muualla maailmassa ja näin kasvattaa tarvittavan osaamisen määrän kriittistä massaa kestäväälle pohjalle. Lisäksi yhteistyöllä voidaan omaan osaamiseen liittää täydentävää osaamista tai saada käyttöön Suomesta puuttuvia resursseja. Täydentävien resurssien kautta saadaan käyttöön myös laitteistoja ja ohjelmistoja, joiden käyttöaste Suomessa jäisi pieneksi tai joiden ylläpitoon ei olisi mahdollisuuksia [5].

Tutkimusohjelmaan sisältyvän kansainvälisen yhteistyön tulee edistää tutkimusohjelman tavoitteiden toteutumista ja hyödyttää kotimaista ydinturvallisuustutkimusta mahdollisimman tehokkaasti. SAFIR2014-ohjelmassa kansainvälinen tutkimusyhteistyö on painottunut suuriin OECD/NEA-koehankkeisiin, osallistumiseen pohjoismaiseen NKS-yhteistyöhön ja osallistumiseen OECD/NEA:n ja IAEA:n erilaisiin komiteoihin. Komiteatyöskentelystä vain pieni osa on tapahtunut suoraan tutkimusohjelman hankkeiden osana. Suomen osallistuminen US NRC:n CAMP- ja CSARP-hankkeisiin on myös kanavoitu tutkimusohjelman kautta. Joistakin Eurotomin 7. puiteohjelman hankkeista, joissa suomalaiset tahot ovat mukana, on

raportoitu tukiryhmien kokouksissa, mutta hankkeet eivät ole olleet osa kansallista tutkimusohjelmaa.

OECD/NEA-koehankkeissa TEM on nimittänyt tutkimuslaitoksen (yleensä VTT tai LUT) Suomen edustajaksi hankkeessa ja SAFIR2014-ohjelman johtoryhmä on nimittänyt Suomen edustajat hankkeen johto ja ohjelmaryhmiin sekä hankkeen kuulumisen tai raportoinnin johonkin tutkimusohjelman tutkimushankkeeseen. Hankkeen osallistumismaksu on voitu maksaa suoraan VYR-rahoituksesta, mutta hankkeen seurantaan ja mahdollisiin analyysitehtäviin on käytetty SAFIR-tutkimushankkeen yhteisrahoitteista osuutta.

Seuraavassa kansainvälisen yhteistyön muotoja ja käytännön toteutusta tarkastellaan SAFIR2018-ohjelman näkökulmasta. On kuitenkin muistettava, että kansainvälinen yhteistyö on kaksisuuntaista. Aiempien ohjelmien tuloksellisuus, jätävä runkosuunnitelma ja uuden ohjelman kiinnostava tutkimuskokonaisuus ja myöhemmin sen korkeatasoiset tulokset ovat se, mikä tekee SAFIR2018-ohjelmasta kansainvälisesti halutun sopimuskumppanin.

2.9.2 Kansainvälisen yhteistyön muodot ohjelmassa

Tulevassa ohjelmassa OECD/NEA- koehankkeiden osalta aiempi käytäntö on osoittautunut toimivaksi ja sitä on syytä jatkaa. Erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että tutkimusohjelmien taitekohdan yli jatkuvat nykyiset hankkeet kiinnitetään järkevästi uuden ohjelman tutkimushankkeisiin ja päättyvien hankkeiden tulosten hyödyntäminen uudessa ohjelmassa varmistetaan. Uudessa ohjelmassa juuri OECD/NEA-hankkeiden koetulosten entistä tehokkaampaan hyödyntämiseen osana uusien tutkijoiden koulutusta ja kansainvälistä verkostoitumista, mutta myös oman tutkimusosaamisen esiintuomisessa on kiinnitettävä erityistä huomiota. Tulevien OECD/NEA-koeohjelmien volyyymi ja painopisteet vaikuttavat merkittävästi tämän yhteistyön volyyymiin SAFIR2018-ohjelmassa.

NKS-yhteistyön odotetaan jatkuvan tulevassa ohjelmassa entiseen tapaan, ja erillisten NKS-projektien tietyt osatehtävät ovat osana SAFIR2018-ohjelmaa. NKS-ohjelman kokonaisvolyyymi on varsin pieni (1 miljoona euroa tutkimukseen). Tästä syystä yhteistyön SAFIR2018 ohjelman puitteissa on syytä olettaa pysyvän suunnilleen nykytasolla. Myös yhteistyön pohjoismaisen NORTHNET-termohydrauliikkaverkoston kanssa odotetaan jatkuvan ennallaan.

US NRC yhteistyö painottuu CAMP- ja CSARP-sopimusten puitteissa tehtävään yhteistyöhön, joiden kautta saadaan käyttöön US NRC:n ydinturvallisuusanalyysiohjelmat TRACE/PARCS ja MELCOR. Nykyinen CAMP-sopimuskausi kattaa jakson 2012–2017 ja CSARP-sopimuskausi jakson 2013–2015.

Myös uudessa tutkimusohjelmassa osallistuminen IAEA:n ja OECD/NEA:n komitea- ja työryhmätyöskentelyyn on tärkeää. Tutkimusohjelma ei ole ollut eikä jatkosakaan voi olla tämän yhteistyön päärahoituslähde, vaan osallistuvat organisaatiot rahoittavat osallistumisensa pääosin itse tai muista lähteistä. Tutkimusohjelmaan

tämä työskentely voidaan käytettävissä olevien resurssien puitteissa sisällyttää silloin, kun työ palvelee suoraan kyseisen tutkimushankkeen tai tutkimushankekokonaisuuden tarkoitusta ja siitä syntyy selkeä tutkimusohjelmalle raportoitava tutkimuksellinen tuotos. Sama pätee IAEA:n OECD/NEA:n tai ETSOn nuorille tutkijoille järjestämiin kesäkouluihin.

SAFIR2018-ohjelman kansainvälisen yhteistyön haastavimmat osa-alueet on sopimuksiin perustuva yhteistyö EU-hankkeiden ja NUGENIA-yhteisön tutkimushankkeiden kanssa. Näistä molemmissa on oleellista varmistaa, että yhteistyö edistää tutkimusohjelman tavoitteiden toteutumista ja hyödyttää kotimaista ydinturvallisuustutkimusta mahdollisimman tehokkaasti ja yhteistyö voidaan toteuttaa VYR-rahoitusehtojen puitteissa.

NUGENIA-yhteisö (NUGENIA Association) on Belgian lain alla toimivana toisen ja kolmannen sukupolven fissioreaktoriin tutkimukseen omistautuvana yhteisönä luonnollinen yhteistyökumppani SAFIR2018-ohjelmalle. NUGENIA on osa Euratomin Sustainable Energy Technology Platformia (SNETP).

Ranskaan rakennettava Jules Horowitz tutkimusreaktori (JHR) tulee olemaan tulevaisuudessa Euroopan keskeisin materiaalien ja polttoaineen tutkimiseen keskittyvä reaktori. Uuden reaktorin on määrä valmistua noin vuonna 2019. Suomella tulee olemaan VTT:n kautta 2 %:n osuus tutkimusreaktorin käyttöajasta ja käyttökustannuksista. Suunnittelu JHR:n hyödyntämiseksi on aloitettava SAFIR2018-ohjelmassa. Suomi osallistuu VTT:n ja STUKin edustusten kautta kaikkiin merkittäviin JHR:n käytön suunnitteluun liittyviin päätös- ja työryhmiin. JHR:n käynnistyessä SAFIR-tutkimusohjelmiin kuuluvan ydinpolttoainetutkimuksen Haldenissa voidaan otaksua pienenevän OECD/NEA:n Haldenin tutkimusreaktorin lähestyessä käyttöikänsä loppua ja osan nykyisestä SAFIR-ohjelmaan kuuluvasta polttoainetutkimuksesta siirtyessä JHR:ään. Vaikka ensimmäiset kokeet JHR-reaktorilla tehdäänkin todennäköisesti vasta ensi vuosikymmenen alkupuolella, on ensimmäisten koeohjelmien suunnittelu aloitettu jo ja sitä tulee tehdä myös Suomessa SAFIR2018-ohjelmakaudella. Halden-yhteistyön kautta on SAFIR-ohjelmiin ohjautunut myös rahoitusta.

TEM:n vuonna 2014 julkaisemassa ydinenergia-alan tutkimusstrategiassa tunnistetaan nykyisiä, nousevia ja potentiaalisia kahdenvälisen yhteistyön kohdemaita, joissa yhteistyö voi tapahtua joko olemassa olevan kahden organisaation yhteistyösopimuksen puitteissa tai useamman suomalaisen organisaation 'Team Finland' tyyppisen toiminnan kautta. Siltä osin kuin tämäntyyppinen yhteistyö täyttää kansalliselle ydinturvallisuuden tutkimusohjelmalle määritellyt tavoitteet ja se on tutkimusohjelman päättävien elinten hyväksymää, suositellaan tapauskohtaista etene mistä. Siltä osin kuin kaupalliset näkökohdat ovat merkittävässä roolissa, yhteistyön luonnollinen paikka on tutkimusohjelman ulkopuolella.

2.9.3 Käytännön toteutus

Yhteistyön käytännön toteutuksessa olennaiset komponentit ovat sopimukset, ohjelman ja kansainvälisten partnereiden oikeudet ja velvollisuudet niin tehtävien kuin niiden tuotosten omistus-, käyttö- ja julkaisu-oikeuksien suhteen.

OECD/NEA-koehankkeiden osalta nykyinen toimintamalli (TEM nimeää Suomea edustavan organisaation, johtoryhmä liittää hankkeen osaksi tiettyä SAFIR2018-ohjelman tutkimushanketta ja nimeää johto- ja ohjelmaryhmien edustajat) on osoittautunut toimivaksi. Päätösvaiheessa on syytä kiinnittää huomiota siihen, että kotimainen sisäinen tiedotus ohjelman sisällä samoin kuin mahdollisuus hyödyntää koehjelman tuloksia on varmistettu SAFIR2018-hankesuunnitelmassa.

Myöskään NKS- ja Northnet- hankkeiden osalta nykyistä toimintamallia ei ole tarpeen muuttaa SAFIR2018-ohjelman kannalta.

SAFIR2018-ohjelmassa kansainväliset tutkimusprojektit suositellaan edelleen kiinnitettäväksi pääsääntöisesti niihin suurehkoihin ja pitkäkestoisiin tutkimushankkeisiin, joihin niiden aihepiiri luonnostaan kuuluu. Tutkimushankkeessa puolestaan on kiinnitettävä huomiota tulosten aitoon ja ripeään hyödyntämiseen ja tulosten asianmukaiseen välittämiseen muille tutkimusohjelman organisaatioille tai hankkeille, jotka voivat osaltaan niitä hyödyntää. CAMP-sopimukseen liittyvä yhteistyö, jonka kautta saadaan käyttöön US NRC:n TRACE/PARCS-ohjelmisto, on edelleen syytä liittää sopivaan termohydrauliikan alueen hankkeeseen. CSARP-yhteistyö, jonka kautta saadaan käyttöön US NRC:n vakavien onnettomuuksien analysointiohjelma MELCOR, on syytä liittää sopivaan vakavien onnettomuuksien alueen hankkeeseen.

Euratomin 8. puiteohjelman ja NUGENIA-yhteisön yhteistyöhankkeissa on määritettävä selkeästi ja yksikäsitteisesti ohjelman ja kansainvälisten partnereiden oikeudet ja velvollisuudet. Sopimusehtojen on oltava sopusoinnussa VYR-ehtojen kanssa. Samoin tulosten omistuksen, käytön ja julkaisun osalta sopimusehtojen on oltava sopusoinnussa VYR-ehtojen kanssa.

Myös JHR-yhteistyö SAFIR2018-ohjelman yhteydessä vaatii erillisen sopimusmallin sitten, kun yhteistyö on ajankohtaista.

3 Tutkimus

3.1 SAFIR2018:n toimintaympäristö – haasteet ja tutkimustarpeet

3.1.1 Yleistä toimintaympäristöstä

Ydinvoimalaitosten kansallisen turvallisuustutkimuksen suunnittelujaksolle vuoteen 2018 sisältyy kaikissa elinkaaren eri vaiheissa olevien ydinlaitosten lupaprosesseja ja turvallisuuden kokonaisarviointeja:

- Käytössä oleville Loviisa 1- ja Loviisa 2- ydinvoimalaitosyksiköille ovat ajankoh-
taisia turvallisuuden väliarviointi sekä Olkiluoto 1- ja Olkiluoto 2-ydinvoimalai-
tosyksiköille käyttöluvan uudistaminen.
- Olkiluoto 3-ydinvoimalaitosyksikölle tullaan hakemaan käyttö lupaa
- Olkiluoto 4-ydinvoimalaitosyksikölle tullaan hakemaan rakentamislupaa
- Hanhikivi 1-ydinvoimalaitosyksikölle tullaan hakemaan rakentamislupaa.

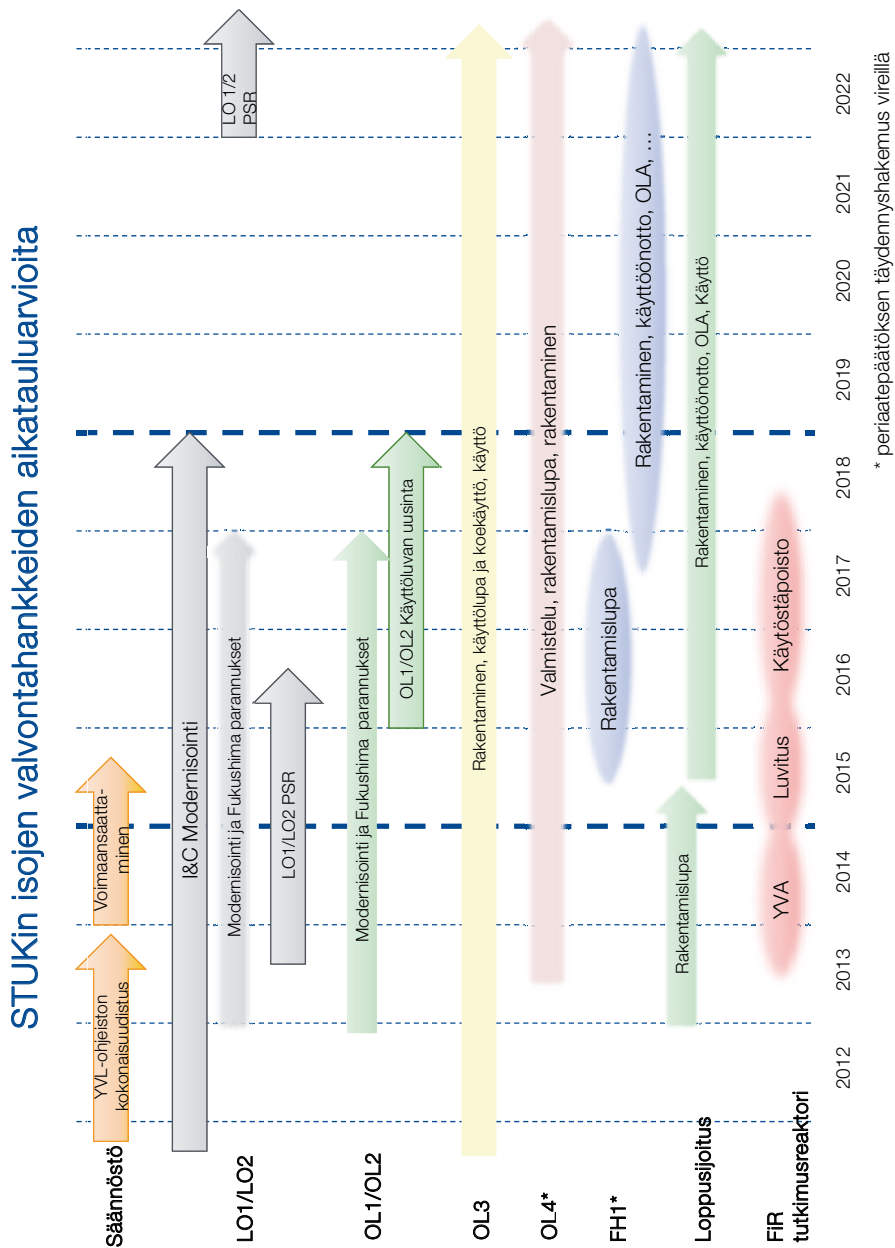
Käytössä olevilla Loviisa 1- ja 2- sekä Olkiluoto 1- ja 2-laitosyksiköillä tehdään tule-
van suunnittelujakson aikana merkittäviä modernisointihankkeita, joista volyy-
miltään suurin on automaation uudistus. Laitosparannukset ja erityisesti Fukushi-
man onnettomuuden johdosta tehtävä parannukset toteutettaneen ohjelmajakson
aikana. Runkosuunnitelman kirjoittamisen aikana TEMin käsittelyssä ovat täyden-
nyshakemukset Hanhikivi 1-ydinvoimalaitosyksikön ja Olkiluoto 4-ydinvoimalaitos-
yksikön periaatepäätöksiin. Näillä hakemuksilla voi olla vaikutusta hankkeisiin liit-
tyviin aikatauluihin.

Nämä prosessit heijastuvat usealla tavalla kansalliseen turvallisuustutkimuk-
seen. Kuvassa 3.1 esitetään Suomessa käytössä olevien ja rakennettavien ydinlaitos-
ten käyttö lupien hakemisen ja uusimisen arvioidut ajankohdat.

3.1.2 Asiantuntemuksen kehittäminen

Julkisrahoitteisessa tutkimusohjelmassa kehitettyä tietotaitoa voidaan soveltaa käy-
tännössä luvitusprosesseissa. Uusien laitoshankkeiden käynnistyminen on lisännyt
merkittävässä määrin asiantuntijoiden tarvetta [4]. Julkisrahoitteisen tutkimusohjel-
man on osaltaan tarkoitus varmistaa asiantuntemuksen saatavuus erityisesti ydin-
voimaspesifisillä alueilla. Nämä ovat asiantuntemusalueita, joilla ei Suomessa teh-
täisi tutkimusta, ellei meillä olisi ydinenergian käyttöä.

Kuva 3.1. Ydinlaitosten arvioidut lupaprosessit 2012–2022.



Vain korkeatasoisella kansallisella osaamisella voidaan varmistaa turvallinen ydinenergian käyttö. Suomessa on tällä hetkellä ydinlaitoksia kaikissa elinkaaren ja luvituksen vaiheissa. Asiantuntemusta tarvitaan niin ydinvoimalaitosten pitkäkestoisesta käytöstä kuin myös uusista laitosvaihtoehdoista. Kansallisen korkeatasoisen osaamisen välttämättömyys on tullut esille niin laitostapahtumien käsittelyn yhteydessä kuin käytössä olevien laitosten modernisoinneissa ja rakennettaessa uutta kapasiteettia. Kansallista osaamista ei voida rakentaa ulkomailta ostetun tiedon varaan.

Alalla on meneillään sukupolvenvaihdos samanaikaisesti kun alalle on tulossa uusia toimijoita. Tällainen tilanne on erityisen haasteellinen kansallisen korkeatasoisen osaamisen ylläpitämisen ja kehittämisen kannalta. Ydinenergian käytön 1960- ja 1970-luvulla aloittanut sukupolvi on pääosin siirtynyt eläkkeelle. Laitos- ja modernisointihankkeisiin sekä laitosten käyttöön liittyvä tutkimus tarjoavat oivallisen tilaisuuden eri sukupolvien asiantuntijoiden työskentelyyn yhteisissä projekteissa ja tiedon siirtoon uudelle sukupolvelle. Tällä myös varmennetaan, että ydinvoimalaitosten rakentamisen – ja käytön aikaiset kokemukset ovat hyödynnettävissä parhaalla mahdollisella tavalla.

Monipuolinen ja haastava toimintaympäristö on lisännyt kansainvälistä kiinnostusta Suomessa tehtävää ydinturvallisuustyötä ja -tutkimusta kohtaan. Meneillään olevat monipuoliset hankkeet ovat lisänneet alan yritysten kiinnostavuutta työnantajina, mikä näkyy sekä alan opiskelijoiden määrän kasvuna että rekrytointien yhteydessä alalle hakeutuvien henkilöiden määrässä. Suomi isännöi myös kansainvälisiä tutkimushankkeita. Toimintaympäristö tarjoaa monipuolisia mahdollisuuksia kansainvälisen yhteistyön edelleen kehittämiseksi ja tutkijoiden kansainvälistymiselle.

Asiantuntemuksen merkitys kaikissa toimintaan liittyvissä organisaatioissa ydinturvallisuuden varmistamiseksi on korostunut erityisesti Fukushima Daiichin onnettomuutta käsittelevissä arvioinneissa. Turvallisuuden ymmärtäminen ja käsitteleminen kokonaisuutena olennaisten turvallisuuskysymysten tunnistamiseksi ja ratkaisemiseksi ovat keskeisiä seikkoja asiantuntijuutta kehitettäessä. Määräaikaisten turvallisuusarviointien ja käyttökokemuksista saatujen opetusten vaikuttavuutta tulee edelleen parantaa tapahtumien ja onnettomuuksien ennaltaehkäisemiseksi.

3.1.3 Säännöstöympäristö

Kansallisen turvallisuustutkimuksen merkitystä korostavat ydinenergian käyttöön liittyvän toiminnan maailmanlaajuisuus ja verkottuminen. Kansainvälisiin turvallisuusvaatimuksiin ja ohjeisiin sovelletaan jatkuvan parantamisen periaatetta. Merkitettävimmät muutokset vaatimustasossa on tehty Three Mile Islandin onnettomuuden vuonna 1978, Tšernobylin onnettomuuden vuonna 1986 ja Japanissa 2011 sattuneen Fukushima Daiichin onnettomuuden jälkeen. Sekä kansainvälinen että kotimainen ohjeisto on kehitetty ajatellen ensisijaisesti isokokoisia (> 300 MWe) kevytvesireaktoreita, joissa polttoaineena on uraanidioksidi ja joiden

turvallisuusfilosofia nojaa pääosin ns. aktiivisiin (ulkoista käyttövoimaa tarvitseviin) turvallisuusjärjestelmiin.

Suomessa vuonna 2006 aloitettu YVL-ohjeiden kokonaisuudistus valmistui 2013. Yhtenäinen ohjeisto kattaa säteily- ja ydinturvallisuuden sekä turva- ja valmiusjärjestelyjä koskevat vaatimukset. Uudistus ottaa huomioon EU:n jäsenmaiden ydinturvallisuutta valvovien viranomaisten päälliköiden vuonna 1998 perustaman yhteistyöfoorumin WENRA (Western European Nuclear Regulator association) nk. referenssitaset käytössä oleville laitoksille ja turvallisuustavoitteet uusille laitoksille sekä Fukushima Daiichin onnettomuuden johdosta edellytettävät turvallisuusparannukset. YVL-ohjeuudistuksessa koko ohjeiston rakenne ja esitystapa uusittiin tavoitteena selkeä turvallisuusvaatimusten esittäminen, joka edistää vaatimustenhallinnan menettelyjen käyttöönotto eri organisaatioissa.

Vuonna 2008 valmistuneista valmisneuvoston asetuksista päivitettiin vuonna 2013 turvallisuutta ja valmiustoimintaa koskevat asetukset. Päivitykset koskivat erityisesti uusia turvallisuustavoitteita vakavassa onnettomuudessa ja varautumista äärimmäisiin luonnonilmiöihin.

Kansainvälisessä säännöstöympäristössä EU:n piirissä valmistellaan päivitystä ydinvoimalaitoksia koskevaan direktiiviin. Tähän direktiiviin on tulossa ensimmäistä kertaa myös aineellisia vaatimuksia. EU:n tammikuussa 2014 hyväksymä säteilyturvallisuuden perusdirektiivin, joka asettaa vaatimuksia mm. säteilyturvallisudelle, ympäristövalvonnalle ja valmiustoiminnalle, voimaansaattaminen kansallisessa säännöstössä on Suomessa alkamassa.

WENRA on julkaissut tavoitteet uusien ydinvoimalaitosten suunnittelulle 2010. Tavoitteissa korostuvat syvyysuuntaisen puolustuksen periaatteet. Lähtökohtana on, että uusista ydinvoimalaitoksista ei edes vakavan onnettomuuden sattua olisi päästöjä, jotka edellyttävät onnettomuuden aikaisia tai pitkäaikaisia väestöön kohdistuvia suojautumistoimenpiteitä. WENRA:n referenssitasojen päivitykset Fukushima Daiichi onnettomuuden johdosta valmistuvat vuoden 2014 aikana.

IAEA:n Safety Standards rakenneuudistus on edennyt hyvin ja lähes kaikki vaatimustason dokumentit on päivitetty uuteen rakenteeseen. Ydinenergian käytön kannalta merkittävä muutos oli vuonna 2012 julkaistut uudet suunnitteluvaatimukset (SSR-2/1), jotka edellyttävät vakavien onnettomuuksien huomioimista laitoksen suunnittelussa. Fukushima Daiichi onnettomuuden johdosta tehtävät kohdennetut päivitykset valmistuvat vuoden 2014 aikana. Säteilysuojelun perusvaatimukset (GSR Part 3), jotka ovat referenssinä myös EU:n säteilyturvallisuutta käsittelevälle direktiiville, julkaistiin vuonna 2011.

Eurooppalaisten standardointijärjestöjen CEN/CENELEC toimesta vuonna 2013 valmistunut selvitys ydinenergiakäyttöön liittyvistä eurooppalaisista standardeista on siirtynyt käytännön toteutukseen. Uusien standardien valmistelu toteutettaneen pääsääntöisesti maailmanlaajuisena kansainvälisenä yhteistyönä, mutta joillekin alueille kuten esimerkiksi rakennustekniikan ja mekaniikan alueella on odotettavissa myös eurooppalaisiin lähtökohtiin perustuvia standardeja. Ydinergien

käyttöön liittyvää standardointia edeltävää tutkimusta tarvitaan hyvä perustan luomiseksi edellä mainitulle työlle. Tutkimuksen kannalta uusi säännöstöympäristö edelleen vahvistaa tarvetta kansainvälisten yhdenmukaisten ydinturvallisuusvaatimusten ja menettelyjen kehittämiseksi toiminnan eri tasoilla sekä tuo uusia aiheita turvallisuustutkimuksen piiriin.

Pienten modulaaristen reaktorien (Small Modular Reactors, SMR) lisensointiin tarvittavat menettelyt ja turvallisuussuunnittelun vaatimusten asettaminen ovat kypsytydeltään kaukana isojen reaktorien tasosta. OECD/NEA:n ja IAEA:n piirissä on aloitettu SMRiin liittyviä kehitys- ja säännöstötarkasteluhankkeita. SAFIR2018-kauden aikana saattaa kuitenkin olla tarkoituksenmukaista tarkastella myös SMRiä sopivassa laajuudessa.

3.1.4 Koelaitteistot

Turvallisuusanalyysissä laajasti käytettävät termohydrauliset laskentaohjelmat on kelpoistettava suomalaisten laitosten keskeisiä piirteitä ja toimintaparametreja kuvaavaa kokeellista dataa käyttäen. Koedatan tuottamiseen tarvitaankin kansallista infrastruktuuria ja tutkimusryhmiä, jolla on kykyä rakentaa ja käyttää ilmiöitä riittävän hyvin edustavia koelaitteita. Olemassa olevia laitteistoja voidaan modifioida, ja milloin tutkimustarve vaatii, uusiakin laitteita on osattava rakentaa. Tällaisia ovat esimerkiksi uudentyyppiset passiiviset jälkilämmönpoistopiirit tai -järjestelmät, joita eräät laitos-toimittajat ovat uusiin reaktoreihinsa ehdottaneet. SAFIR2014-tutkimusohjelmassa ja sen edeltäjissä on rakennettu Lappeenrannan teknilliseen yliopistoon kansainvälisesti katsoen ainutlaatuisen monipuolinen koelaitteinfrastruktuuri, jota on käytetty myös useissa OECD/NEA:n organisoimissa yhteisissä koeohjelmissa jo 90-luvulta alkaen. Tämän tyyppistä innovatiivista kehitystä tulee jatkaa alueilla, jotka koetaan merkittäviksi, jotta Suomessa voitaisiin säilyttää valmiudet tehdä ydinreaktoreiden lämpö- ja virtaustekniikkaan liittyviä kokeita myös uusista, odottamattomista ilmiöistä.

Laskennallisen virtausmekaniikan (CFD) yleistymisen turvallisuusanalyysin osana on synnyttänyt tarpeen tuottaa CFD-ohjelmien validoimiseen riittävän tarkkaa dataa, ja tämän mahdollistavia resoluutioltaan kehittyneitä mittaustekniikoita tuleekin kehittää edelleen.

Lentokonetörmäysten vaikutusta ydinvoimalaitosten teräsbetonirakenteiden kestävyys on tutkittu SAFIR-tutkimusohjelmissa kokeellisesti VTT:n IMPACT-koelaitteistolla. Koelaitteistoa on jatkuvasti kehitetty monipuolisemmaksi. Laitteistolla mitataan kohteena olevan teräsbetoninlevyn vaste erityyppisillä missiileillä aiheutettuihin törmäyksiin. Kokeissa on mahdollista simuloida erilaisia betonirakenteita, mm. esijännitettyä tai teräsvuorauksella varustettuja seiniä sekä lentokoneen osia: siipi, moottori, runko. Kokeilla on tutkittu myös polttoaineen leviämistä törmäyksessä rikkoutuvasta polttoainesäiliöstä. Kokeiden tuloksia käytetään lentokonetörmäysten laskennassa käytettävien rakenteellisten ja palomallien kehittämiseen ja kelpuutukseen.

SAFIR-tutkimusohjelmissa on tutkittu kokeellisesti joitakin vakavien onnettomuuksien ilmiöitä hyvällä menestyksellä. Kokeet ovat kohdistuneet sekä vakavien onnettomuuksien hallinnan erityispiirteisiin että fissiotuotteiden käyttäytymiseen. Tutkimus on kyetty tekemään tutkimuskohteisiin räätälöidyillä muunnettavissa olevilla mittaus- ja koelaitteistoilla. Mahdollisuus on säilytettävä jatkossakin siten, että Suomeen rakennettavien laitosten vakavien onnettomuuksien ratkaisuja voidaan varmentaa myös kokeellisesti.

VTT:n FIR- tutkimus- ja koulutusreaktorin poistuminen käytöstä aiheuttaa aukon kansallisella tasolla, mikä tulee paikata kansainvälisen yhteistyön kautta, erityisesti OECD/HALDEN-reaktorin ja kauempana tulevaisuudessa Ranskassa valmistuvan JHR-reaktorin (ks. kappale 3.1.5) avulla. Isoissa tutkimusreaktoreissa voidaan tutkia polttoaineen käyttäytymistä ja rakennemateriaalien säteilynkestävyyttä sekä vikaantumismekanismeja reaktorikäyttöä vastaavissa olosuhteissa, myös onnettomuusolosuhteissa.

VTT:n ydinturvallisuustalon, johon tulevat uudet kuumakammio-tilat ja muut ydinteknisten materiaalien tutkimukseen tarvittavat tilat ja laitteistot, rakentaminen on alkanut 2013. Talon on tarkoitus valmistua vuoden 2016 lopussa. Tiloissa tehtävän tutkimuksen on tarkoitus palvella GEN II-IV reaktoreiden tutkimusta sekä fuusioenergian ja jätehuollon tutkimusta. Yhteisten tilojen ja laitteistojen olemassaolo edistää nykyisten ja tulevien reaktorikonseptien suomalaisen tutkimuksen synergiaa.

Ajankohtainen asia on myös mahdollinen Ruotsissa Barsebäckin käytöstä poistetun reaktorin hyödyntäminen kansainvälisiin tutkimushankkeisiin ennen sen purkamista vuoteen 2020 mennessä.

3.1.5 Kansainvälinen toimintaympäristö ja tutkimusaiheet

Ydinenergian turvallisuustutkimus on entistäkin vahvemmin esillä seuraavalla ohjelmakaudella. Japanissa vuonna 2011 maanjäristyksen ja tsunamin seurauksena tapahtunut Fukushima Daiichin ydinvoimalaitoksen onnettomuus on vaikuttanut maailmanlaajuisesti ydinvoiman rakentamisen hyväksyttävyyteen ja ydinturvallisuusvaatimuksiin. Turvallisuustutkimus on aihe, johon voivat sitoutua niin ydinenergiaa käyttävät maat kuin myös maat, jotka ovat tästä tuotantomuodosta luopumassa. Kansainvälisten organisaatioiden, etenkin OECD/NEA:n tutkimusaiheissa Fukushima Daiichi tulee näkymään monella eri tavalla onnettomuuden kulun tutkimuksesta erilaisiin jätehuollon ja säteilysuojelun kysymyksiin. Organisatorisiin, inhimillisiin ja yhteiskunnallisiin kysymyksiin Fukushima Daiichi onnettomuuteen liittyvä tutkimus on vasta orastamassa. Aiheen voidaan olettaa tuovan tutkimukseen uusia kysymyksiä yhteiskunnan ja sositieknisten yhteisöjen toiminnasta.

OECD/NEA:n kokeellisissa turvallisuustutkimushakkeissa on systemaattisesti kartoitettu polttoaineen, termohydrauliikan, komponenttien eheyden, suojarakennuksen toimintaa ja sydänsulan jäähdytettävyyteen liittyviä ilmiöitä. Meneillään

olevat hankkeet pääosin päättyvät ohjelmakauden alkupuolella. Polttoaineaineen suojakuoren eheyteen liittyviä tutkimuksia on suunniteltu yli SAFIR₂₀₁₈-tutkimusohjelman kauden. Runkosuunnitelman valmistelun aikana on alustavia suunnitelmia mm. tulipalojen ja vedynhallintaan liittyvien tutkimushakkeiden jatkohankkeista.

Myös Fukushima onnettomuuden analysointihankkeelle on jatko valmisteilla. OECD/NEA:n piirissä tehtävää uusiin laitoksiin liittyvää vaatimusten harmonisointityötä on mahdollista tukea tutkimuksella. Maailmanlaajuisen seismisen tutkimustiedon kokoajana toimii tällä hetkellä IAEA:han Fukushima Daiichin ydinvoimalaitosonnettomuuden jälkeen perustettu yksikkö (ISSC), joka on tutkimuksen kannalta tärkeä uusi elin ulkoihin uhkiiin liittyvän tiedon välittäjänä. IAEA:ssa polttoainetutkimukseen on keskittynyt FUMEX.

Kiinnostus turvallisuuden arviointimenetelmien kehittämiseen ja yhtenäistämiseen voidaan olettaa olevan mailla, jonne suunnitellaan uutta kapasiteettia tai ydinvoimalaitosten pitkäaikaista käyttöä. Euroopassa erityisesti EU:n tutkimusohjelmat ja niistä NUGENIA tarjoavat yhteistyöfoorumin, jolla on yhteisiä aiheita SAFIR₂₀₁₈-tutkimusohjelman kaikkien tutkimusalueiden kanssa. Pohjoismaisen NKS-turvallisuustutkimusohjelman Reaktoriturvallisuus alue sisältö muodostaa osajoukon SAFIR₂₀₁₈-tutkimusohjelman aiheista. Kahdenväliselle yhteistyölle voidaan olettaa löytyvät uusia avauksia ydinenergiaa kehittävästä maista, kuten esimerkiksi Ruotsi, Venäjä, Ranska, Iso-Britannia, USA sekä Kiina ja muut Aasian maat. Saksan ja Sveitsin päätös luopua ydinenergian käytöstä heijastuu myös maiden kansalliseen tutkimukseen.

OECD Halden Projectin HBWR-reaktori on materiaalitutkimusreaktori, jossa tehtävistä kokeista saadaan mittaustietoa polttoaine- ja rakennemateriaalikysymysten selvittämiseen ja ilmiöiden mallintamiseen. Toinen puoli projektista paneutuu valvonta- ja ohjausjärjestelmien tutkimiseen ja kehittämiseen. Ennen JHR:n käyttöönottoa, HBWR on kokeelliselle polttoainetutkimukselle korvaamaton Euroopassa. Projektin kolmivuotiskausiksi jaksotettua tutkimusta valmistellaan parhaillaan vuosille 2015–2017. Pitkäaikaista seurantaa vaativia, erityisesti palaman lisääntymisen vaikutuksia selvittäviä polttoainekokeita jatketaan. Kohteina ovat mm. fissiokaasujen vapautuminen, fissiotuotteiden käyttäytyminen, sauvapaineen kehittyminen ja vaikutukset, tabletti-suojakuorivuorovaikutus, tabletin seosaineiden vaikutukset ja kuormanseuranta-ajon vaikutukset. Integraaliset jäähdytteenmenetysonnettomuuden simuloinnit täydentävät maailmanlaajuisesti ainutlaatuista koesarjaa. Tutkimuksessa korostuvat viime vuosina kehitettyjen niobiumseosteisten suojakuorimateriaalien (ml. VVER) asema ja osuus. Uutena aihealueena tutkitaan onnettomuustilanteiden olosuhteita paremmin sietävien polttoainekonseptien soveltuvuutta. Halden-projektissa tehdään edelleen monipuolisesti instrumentoituja reaktorikokeita säteilyn vaikutuksista rakennemateriaaleihin. Säteilytettävänä on tehoreaktoreilta kerättyjä näytteitä, joista saadaan tietoa pitkäaikaisen käytön aikana mahdollisesti tapahtuvista materiaalien vanhenemisilmiöistä.

JHR valmistuessaan tämän vuosikymmenen lopulla tulee muuttamaan reaktori-tutkimuksen painopistettä Euroopassa varsin voimakkaasti. Paitsi että Halden-reaktori tulee käyttökänsä päähän myös esim. CEA:n OSIRIS-reaktorin toiminnot tulevat siirtymään pääosin JHR:ään. JHR tulee palvelemaan niin GEN II-, GEN III- kuin GENIV-sukupolvienkin laitosten materiaali- ja polttoainetutkimuksia. Suomen kontribuutio JHR:n rakennusvaiheessa on toimittaa reaktoriin vaativia mittausrakenteita erityisesti polttoaineen gammasäteily- ja röntgenradiografiamittauksiin sekä materiaalien säteilynkäytävyyden tutkimiseen. Uusi tutkimusreaktori tarjoaa valmistuttuaan suomalaisille ensiluokkaiset tutkimusvalmiudet, joita pelkästään omin voimin olisi mahdotonta saavuttaa. JHR:n toimintaympäristö ja -mallit tullaan valmistelemaan ja kiinnittämään pitkälti tulevan SAFIR2018-ohjelman aikana, joten valmiutta osallistua tuohon työhön tulee tukea myös tässä ohjelmassa.

3.1.6 Syvyysuuntaisen puolustus ja tutkimustarpeet

Ydinvoimalaitosten turvallisuuden varmistaminen voidaan yleisesti esittää syvyysuuntaisen puolustuksen periaatteiden avulla: ennaltaehkäisevä taso, suojaava taso sekä vaikutuksia lieventävä taso (kuva 3.2). Ydinturvallisuus toteutuu vain, jos nämä periaatteet toteutuvat teknisessä toteutuksessa sekä organisaatioiden ja ihmisten toiminnassa.

Lähtökohtana ydinvoimalaitoksen turvalliselle käytölle ja toimintakuntoisuudelle on laitoksen käyttäminen suunnitteluperusteiden mukaisissa olosuhteissa. Merkittävä osa turvallisuustutkimusta liittyy onnettomuuksien alkutapahtumien hallintaan ja siten onnettomuusketjuja käynnistäviä alkutapahtumia pyritään rajoittamaan. Turvallisuusjärjestelmien toimintakunnon varmistamisella varaudutaan niiden alkutapahtuminen varalle, joiden estämisessä on syystä tai toisesta epäonnistuttu. Turvallisuusjärjestelmien suunnitteluperusteet johdetaan turvallisuusanalyseistä, joihin käytettäviä menetelmiä kehitetään ja kelpuutetaan tutkimushakkeissa. Turvallisuusjärjestelmät varmistavat tärkeiden turvallisuustoimintojen – reaktiivisuuden hallinta, jälkilämmönpoisto ja radioaktiivisuuden hallinta – toteutumisen. Vakavan reaktorionnettomuuden yhteydessä suojarakennuksen tiiveyden varmistaminen on keskeinen tehtävä.

Laaja-alaista, poikkitieteellistä ydinturvallisuustutkimusta tarvitaan paitsi ydinturvallisuuden kehittämiseen, myös tukemaan ja taustoittamaan päätöksentekoa sekä tarjoamaan näkökulmia yhteiskunnalliseen päätöksentekoon. Kansallinen keskustelu uusien ydinvoimalaitosten rakentamisesta kuin myös Fukushima onnettomuudesta tehdyt arviot ovat nostaneet esille tarpeen yhteiskunnallisesta tutkimuksesta.

SAFIR2018-tutkimusohjelma on jaettu syvyysuuntaisen puolustusperiaatteen mukaisesti kolmeen tutkimuslauseeseen: kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta, reaktoriturvallisuus sekä rakenteellinen turvallisuus ja materiaalit. Näiden tutkimusalueiden haasteita ja tutkimustarpeita on lähemmin kuvattu seuraavissa luvuissa. Tutkimusohjelman rakenteessa korostuvat ydinturvallisuuden kannalta

keskeiset alueet. Tutkimusalueet leikkaavat toisiaan niin, että yksittäiset hankkeet voivat kuulua yhtä useamman tutkimusalueen aihepiiriin. Kokonaisturvallisuus kattaa ydinvoimalaitoksen ja sen organisaation lisäksi turvajärjestelyjen rajapinnan sekä yhteiskunnalliset näkökulmat.

SAFIR₂₀₁₄-tutkimusohjelman runkosuunnitelma kuvaa pääasiassa uusia tutkimusteemoja. Ohjelmaan kuuluu myös olennaisena osana olemassa olevien valmiuksien ylläpitoa ja uusien henkilöiden kouluttamista menetelmien ja laitteistojen käyttöön. Tämä kouluttautuminen tapahtuu parhaiten aihepiiriin liittyvissä, haastavissa ja mielenkiintoisissa tutkimushankkeissa.

Kuva 3.2 Ydinturvallisuuden varmistaminen ja siihen liittyvät tehtävät.



3.2 Kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta

Kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta muodostavat laaja-alaisen, poikkiteollisen tutkimuskokonaisuuden, joka vaatii entistä parempaa yhteistyötä tutkimusorganisaatioilta ja ydinvoima-alan toimijoilta.

3.2.1 Tutkimusalueen kuvaus

Kokonaisturvallisuutta tutkitaan järjestelmän ("system" ISO 15288) ja sen toimintaympäristön näkökulmista sekä järjestelmäarkkitehtuurin ("system of systems") kannalta. Kokonaisturvallisuus rakentuu ydinvoimalaitosten arkkitehtuurista,

mutta yhtä lailla se käsittää toimintoprosesseja laitoksen elinkaaren eri vaiheissa. Varsinaisen laitoksen ja sen teknisten järjestelmien lisäksi on tärkeää ymmärtää organisaatioiden toimintaa ja niiden välisiä vuorovaikutuksia kokonaisturvallisuuteen vaikuttavina tekijöinä ("organization of organizations"). Tällainen kokonaisvaltainen turvallisuuden ymmärtäminen vaatii tutkimuksen laaja-alaisuutta ja poikkitieteellisyyttä. Usean aihealueen yhdistäminen antaa välineitä hallita ydinenergian turvallisuuteen liittyvää monimutkaisuutta (kompleksisuutta) ja näin ollen parantaa turvallisuustasoa.

Kuvan 3.3 taulukko kuvaa tutkimuksen kokonaisuutta ja tutkimukseen vaikuttavia rajapintoja.

Kuva 3.3 Tutkimusalueen kokonaisuus ja rajapinnat.

Tutkimuksen aihepiirit	Pääasiallinen tutkimuskohde	Rajapinnat huomioon otettavaksi ja yhteistyökohteiksi	
	Puolustuslinjat (DID, Defence In Depth) laajasti ymmärrettyinä	Yhteiskunta (viestintä, yhteiskunnan odotukset)	Muut turvallisuuskriittiset / kompleksiset alat (tiedon ja osaamisen vaihto)
Kokonaisturvallisuuskäsitys	Mitkä ovat puolustuslinjat laitossuunnittelussa ja miten ne kannattaa muodostaa? Miten puolustuslinjat näkyvät organisaatioiden verkoston toiminnassa? (Organisaation organisaatio)	Poliittiset päättäjät Kansalaiset Intressiryhmät Kansainväliset organisaatiot Ydinenergian vastustajat	Merenkulku Raideteollisuus
Toimintaprosessit (Systems Engineering)	Miten puolustuslinjat rakentuvat suunnittelutoimintoihin? Näkyvätkö puolustuslinjat toiminnan suunnittelussa?	Toimijoiden yhteiskuntasuhteet Kansalaisvuorovaikutus YVA- ja lupaprosesseissa	Ohjelmistoteollisuus Ilmailu- ja avaruusteollisuus Autoteollisuus Lääke- ja elintarviketeollisuus Puolustusteollisuus
Tekniikka/laitos ja turvallisuusratkaisuihin vaikuttavat tekijät	Rakenteelliset puolustuslinjat Toiminnalliset puolustuslinjat Miten ihmisen ja yksittäisen organisaation osaaminen ja toiminta näkyvät laitoksen puolustuslinjoissa?	Laitos toimittaa yhteiskunnalle sähköä ja verotuloja sekä työllistää lähialueella. Ympäristövaikutukset.	Ilmailu- ja avaruusteollisuus Prosessteollisuus Autoteollisuus Lääke ja elintarviketeollisuus

3.2.2 Tavoitteet

Ydinvoimalaitoksen kokonaisturvallisuuden kannalta keskeisiä tutkimusaiheita ovat asiat, jotka sijaitsevat rajapinnoilla toimintojen tai tekniikanalojen välillä tai jotka ovat kokonaisuuden hallitsemisen kannalta merkittävässä roolissa, kuten laitoksen suunnitteluperusteet sekä ihmisten ja organisaatioiden toiminta. Muuttuva tekninen ympäristö tuo mukanaan uusia haasteita ydinturvallisuuden kannalta. Uudet tekniset ratkaisut vaativat uudenlaisia menetelmiä järjestelmien käyttäytymisen ja turvallisuuden arvioimiseksi.

Laitosten pitkäaikaisen turvallisen käytön hallinta edellyttää organisaatioilta laitostuntemuksen ja osaamisen säilyttämistä ja kehittämistä jopa vuosikymmeniä. Tiedon systemaattinen siirtäminen uusille sukupolville on keskeisessä asemassa huolehdittaessa kokonaisturvallisuudesta. Ydinenergian käytön turvallisuuden varmistamiseen tarvitaan niin teknisiä ratkaisuja, joiden perusta luodaan ydinlaitoksen prosessien ja turvallisuusarkkitehtuurin suunnittelulla, kuin myös ihmisiä ja ihmisten muodostamia organisaatioita, jotka viime kädessä vastaavat kaikesta toiminnasta. Turvallisuuteen vaikuttavia toimintoja ovat mm. turvallisuudelle asetettavien vaatimusten määrittelemine, tarvittavien teknisten ratkaisujen suunnittelu, valmistus, asennus, hyväksyttävyyden arviointi, käyttö ja valvonta sekä riittävien toimintaedellytysten luominen. Mahdollisiin häiriö- ja onnettomuustilanteisiin varautuminen usealla eri tasolla on turvallisuusajattelun keskeinen lähtökohta, kuten kohdassa 3.2.4.4 tarkemmin kuvataan. Koska ydinlaitosten käyttöikä on tyypillisesti hyvin pitkä, turvallisuuden varmistaminen on jatkuva prosessi, jossa on huomiotava muutokset toimintaympäristössä. Turvallisuuden varmistaminen pitää sisällään myös varautumisen erittäin harvinaisiin tapahtumaketjuihin, joihin luontaisesti liittyy huomattavia epävarmuuksia. Epävarmuuksia voidaan hallita osana kokonaisvaltaista turvallisuussuunnittelua sekä riskiperusteisesti että turvallisuusmarginaalien avulla.

SAFIR2018-tutkimusohjelman Kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta -tutkimusalueella tehtävän työn tavoitteena on lisätä kokonaisturvallisuuden kannalta merkittävien asioiden ymmärtämistä ja hallintaa ydinvoimalaitosten elinkaaren eri vaiheissa sekä kokonaisturvallisuuden huomioonottamista yksittäisissä tutkimushankkeissa. Eri tekijöiden merkityksen ja keskinäisten vuorovaikutusten ymmärtäminen sekä alan toimijoiden osaamisen ja toimintatapojen vaikutusten arviointi ja kehittäminen tukevat tätä tavoitetta. Turvallisuusasioihin liittyvän viestinnän ja tiedonvaihdon kehittäminen ydinvoima-alan sisällä, ydinvoima-alan ja muiden turvallisuuskriittisten toimialojen välillä on keskeisessä roolissa välitettäessä tietoa turvallisuusratkaisuista ja niiden hyväksyttävyydestä. Taulukossa 3 on konkretisoitu kokonaisturvallisuuden eri aihealueita, ja niihin liittyviä vuorovaikutussuhteita sekä yhteistyörajapintoja. Tutkimushankkeiden tulee tuottaa paitsi uutta tietoa, myös tukea tiedon soveltamista ydinvoima-alan organisaatioissa osana kokonaisturvallisuuden kehittämistä.

3.2.3 Tutkimuksen nykytila

Kokonaisturvallisuuteen liittyvää tutkimusta tehdään tällä hetkellä VTT:llä ja joissakin maamme yliopistoissa sekä ydinenergia-alan yrityksissä ja valvontaorganisaatioissa. Aiemmassa SAFIR2014-tutkimusohjelmassa kokonaisturvallisuuden osatekijöitä tutkittiin ihminen, organisaatio ja yhteiskunta, valvomo ja automaatio sekä todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi tukiryhmien alueilla. SAFIR2014-ohjelmassa on myös tutkittu, miten käyttöhenkilöstön toimintavalmius kehittyy

automaation digitalisoitumisen ja sen yhteydessä tapahtuvien valvomomuutosten yhteydessä.

Isojen investointien sujuva lisensointi edellyttää osapuolten hyvää kommunikointia ja tiedonhallintaa. SAFIR₂₀₁₄-tutkimusohjelmassa on määritelty ydinvoimalaitoksen ja sen elinkaaren tietomallia erityisesti vaatimusten määrittelyn ja hallinnan näkökulmasta. Tavoitteena on ollut täsmentää alan terminologiaa ja pohjustaa uusien, mallipohjaisten suunnittelu- ja analyysityökalujen käyttöönottoa.

PRA-tutkimuksen osa-alueella on tutkittu mm. vakaviin onnettomuuksiin liittyvien ilmiöiden kuvaamista deterministiset ja todennäköisyyspohjaiset lähestymistavat yhdistävällä tavalla, sekä parannettu ohjelmistotyökaluja vakavien onnettomuuksien seurausten analysointiin todennäköisyyspohjaisilla menetelmillä..

Ydinvoiman käyttöön ja rakentamiseen osallistuvilta organisaatioilta edellytetään korkeaa turvallisuuskulttuuria. Aikaisemmissa tutkimusohjelmissa on tarkasteltu, miten organisaation vaikutusta turvallisuuteen voidaan arvioida: miten määritellä kriteerit hyvälle toiminnalle, minkälaisia ilmiöitä tarkastella organisaatiossa, miten kerätä aineistoa, miten vetää johtopäätöksiä havaintojen merkityksestä kokonaisturvallisuudelle. Ohjelmissa on kehitetty turvallisuuskulttuurin arviointimetodologia DISC (Design for Integrated Safety Culture), jota on hyödynnetty monissa ydin-alan organisaatioissa.

Ohjelmoitavaa tekniikkaa sisältävien ohjausjärjestelmien turvallisuuden, luotettavuuden ja halutunlaisen toiminnan arviointi ja osoittaminen on haasteellista niiden monimutkaisuuden vuoksi. Aiemmissa tutkimusohjelmissa on kehitetty perinteisten analyysimenetelmien tueksi formaaleihin malleihin perustuvia menetelmiä laitoksenseptin ja sen automaattioratkaisujen turvallisuuden arvioimiseen ja osoittamiseen.

Tähän asti turvallisuuden eri puolet – eri tekniikanalat ydinturvallisuuden sisällä, luonteeltaan erityyppisiin alkutapahtumiin varautuminen, turvajärjestelyt lainvastaiselta toiminnalta suojautumiseksi, ydinmateriaaliturvallisuuden vaatimukset – on tutkittu toisistaan melko erillään. Eri lähtökohdista nousevat, itsessään järkevät yksittäiset turvallisuustavoitteet voivat olla keskenään ristiriitaisia. Tämä aiheuttaa ongelmia sekä turvallisuussuunnittelussa että suunnittelun todentamisessa; lisäksi on vaarana että suunnittelusta tulee epätasapainoista, mikäli käytössä ei ole yhtenäistä tapaa arvottaa turvallisuuden eri osa-alueita.

3.2.4 Tutkimustarpeet

Tutkimuksellinen haaste on muodostaa kokonaisturvallisuuden arvioimiseen yhtenäinen viitekehys, jossa selvennetään perinteistä syvyyspuolustuskäsitystä integroimalla samaan malliin turvallisuutta ylläpitävät rakenteet, prosessijärjestelmät, automaatiojärjestelmät, näiden tukijärjestelmät sekä organisaatioiden ja ihmisten toiminta. Tämän viitekehyksen muodostaminen on yksi tutkimustarve SAFIR₂₀₁₈-tutkimusohjelmassa.

Tarvitaan tutkimusta siitä, miten parhaiten liitetään samaan viitekehykseen

- sisäiset ja ulkoiset ja ulkoiset tapahtumat (hasardit) ← laitospaikan tekijät
- ihmisen ja organisaatioiden vaikutus turvallisuustoimintoihin - myös alkutapahtuman aiheuttajana tai myötävaikuttajana
- turvajärjestelyjen ja ydinmateriaaliturvallisuuden vaatimukset → 3S (Safety, Security, Safeguards)
- alalla toimivien organisaatioiden roolit, vaikutus ja tehtävät syvyyspuolustuksen ylläpitämisessä.

Tuloksena saadaan kattava syvyyspuolustusmalli, jota voidaan käyttää turvallisuusarvioinnin ja päätöksenteon objektiivisena pohjana haastavissa arviointitilanteissa. Tämä on tärkeää aina, kun ilmenee ongelma, joka on monialainen, eikä siksi "kuulu kenellekään", tai kun ydinturvallisuuteen kohdistuu ulkopuolinen vaade tai odotus, joka merkittävästi poikkeaa aiemmin totutusta.

3.2.4.1 KOKONAISTURVALLISUUSKÄSITYS

Turvallisuuden arvioiminen eli turvallisuusvaatimusten täyttymisen tarkasteleminen olisi tehtävä objektiivisin kriteerein, ts. ilman subjektiivista arviointia suunnittelijan, luvanhaltijan tai viranomaisen taholta. Vaikka täydelliseen objektiiviseen arviointiin on käytännössä vaikea päästä, kannattaa siihen pyrkiä, jotta päätöksenteon ennakoitavuus parane. Turvallisuuden arvioinnissa on otettava huomioon laaja kirjo erilaisia turvallisuutta vaarantavia tai turvallisuuskäsitykseen vaikuttavia tekijöitä. Kokonaisturvallisuuden uhkakuviin täytyykin sisällyttää ainakin

- laitoksen sisäiset viat: eri perustein oletetut alkutapahtumat, jotka sisältävät sekä vikoja että aiheettomasti käynnistyviä toimintoja
- laitokseen ulkopuolelta kohdistuvat uhat, niin luonnonilmiöt kuin inhimilliseen toimintaan liittyvät tapahtumat
- ihmisen ja organisaation virheellinen toiminta.

Syvyyspuolustusperiaatteen mukaisesti erilaisia uhkia vastaan pitää olla useampia toisistaan riippumattomia puolustautumisen tasoja (toimintojen valvontaa, tapahtumien syntymistä ehkäiseviä toimintoja, perättäisiä rakenteita, rakenteita varmentavia toimintoja). Suurissa reaktoreissa turvallisuus rakentuu pitkälti toimintoja toteuttavien järjestelmien varaan. Siksi on erityisen tärkeää ymmärtää järjestelmien keskinäisiä vuorovaikutuksia ja niiden tuloksena muodostuvia kokonaisuuden ominaisuuksia, siis laitosta "järjestelmien järjestelmänä", mikä sisältää myös sosiotekniset järjestelmät. Koska ihmisen toiminnot ovat tärkeä osa turvallisuustoimintojen ylläpitämistä, erityisesti pitkällä aikavälillä, on kyettävä huomioimaan myös ihmisen ja organisaation toimintaan liittyvät riskit ja hallittava ne järjestelmien elinkaaren kaikissa vaiheissa.

Laitoksen kokonaisturvallisuuskäsityksen muodostamiseksi erityyppisiä riskejä ja vastatoimia olisi hyvä pystyä käsittelemään jossain määrin yhteismitallisesti.

Laitoksen ja järjestelmien mitoittamisessa erilaisia uhkia vastaan hyödynnetään perinteisesti erilaisia marginaaleja, mutta eri tekniikanaloilla marginaalien käsittely ei ole kovin yhdenmukaista. Myös deterministisissä analyyseissä käytettävät hyväksymiskriteerit sisältävät usein marginaaleja siten, että hyväksymiskriteerin lievä ylittäminen ei suoraan johda seurausten merkittävään pahenemiseen. Todennäköisyyspohjainen analyysi pyrkii käsittelemään eri asioita yhteismitallisesti, mutta sen näkökulmana ovat sydänvaurioon tai ympäristöpäästöön johtavat tapahtumaketjut. Turvallisuusmarginaalin käsitettä ja soveltamista eri osa-alueilla olisi tarpeen kartoittaa sekä pyrkiä luomaan menetelmä eri tavoilla hyödynnettyjen marginaalien keskinäiseksi vertailuksi. Selkeä turvallisuusmarginaalikäsitys helpottaisi myös riskiin suhteutetun lähestymistavan (Graded approach) soveltamista käytännössä.

Kuva 3.4 Koulutusta Fortumin Loviisan laitoksen koulutussimulaattorilla.



3.2.4.2 ORGANISAATIO, IHMINEN JA SIDOSRYHMÄT

Useat organisaatiot vaikuttavat ydinvoimalaitosten turvallisuuteen laitosten suunnittelun, käyttöönoton ja käytön eri vaiheissa. Vuonna 2011 tapahtuneen Fukushima Daiichin ydinvoimalaitosonnettomuuden jälkeen Japanissa on arvioitu eri toimijoiden rooleja ja toimintamallien merkitystä turvallisuusvaatimusten asettamisen sekä onnettomuuden- ja valmiustilanteen hallinnan kannalta. Japanissa keskeiset toimijat ja toimintatavat on uudelleenorganisoinut onnettomuuden johdosta. Ihmisten ja organisaatioiden sekä sidosryhmien tehtävien, roolien ja toimintakäytäntöjen tutkimus kokonaisturvallisuuden edellytyksenä on yksi tutkimustarpeista.

Muutostöitä ja rakentamisprojekteja toteutetaan lisääntyvissä määrin siten, että niiden laajempia kokonaisuuksia pilkotaan pitkiksi työ- ja toimitusketjuiksi, joihin voi osallistua edustajia hyvin monista kansallisuuksista ja organisaatioista. Tästä syntyy tarve tutkia näiden toimintaverkostojen toimintaa turvallisen toiminnan edellytyksenä.

Myös viranomaisten tehtävien ja roolien merkitystä toimintaketjujen ja -verkostojen yhteydessä on syytä tutkia. Tutkimuksessa on mahdollista selvittää, minkälaisilla organisaatioilla, asiantuntijuudella, kompetensseilla, henkilöstökäytännöillä, prosesseilla ja toimenpiteillä viranomaistoiminta vastaa turvallisten toimintatapojen haasteisiin siten, että kokonaisturvallisuus hallitaan ja sitä kehitetään?

Lähipuosisikymmeninä Suomessa on ydinlaitoksia useissa erilaisissa elinkaaren vaiheissa. Tästä syntyy tutkimustarpeita ymmärtää osaamisen ja asiantuntijuuden kehittyminen jo uuden voimalaitoksen suunnittelussa ja käyttöönotossa sekä aiemmin toiminnassa olevissa laitoksissa toimivien asiantuntijoiden osaamisen hyödyntäminen. Turvallisuusjohtaminen vaikuttaa toimintaan paitsi laitosten sisällä myös työ- ja toimintaketjujen ohjaamisessa ja eri tahojen yhteistyön järjestämisessä. On syytä tunnistaa kokonaisturvallisuuden johtamisen kannalta keskeiset tekijät ja merkittävät erot johtamisessa laitosten eri elinkaaren vaiheissa. Elinkaaren vaiheesta riippuen esim. jotkut prosessit, osaamiset tai johtamismallit voivat korostua toisia enemmän. Ydinvoimalaitosten käyttöhenkilöstöltä edellytetään erittäin syvälistä laitosjärjestelmien ja niiden toiminnan tuntemusta. Työn käytäntöjen ja osaamisen kehittäminen pitkälle ohjeistetussa ja automatisoidussa työssä on erityinen haaste. Tarvitaan tutkimusta, jossa kehitetään systeemisiiä malleja erilaisten sosiaalisten, psykologisten, organisatoristen, taloudellisten ja teknologisten tekijöiden vuorovaikutusten arvioimiseksi ydinvoima-alalla.

SAFIRissa on pitkään tutkittu turvallisuuskulttuurin käsitettä. On tuotettu turvallisuuskulttuuria tarkastelevia työkaluja ja turvallisuuskulttuuria on arvioitu selvityksin. Turvallisuusjohtamisen käsitteet ja työkalut on luotu yksittäisen organisaation tarpeisiin. Seuraavaksi tarvitaan tutkimusta siitä, onko olemassa kulttuurin vahvistamiseen ja kehittämiseen liittyviä tehokkaita keinoja verkostossa, johon kuuluu useita erilaiset roolit omaavia toimijoita, kuten luvanhaltijat, laitos- ja laite-toimittajat, viranomaiset jne. Olisi hyvä tutkia, millä tavalla ydinturvallisuuden ja muunlaisten riskien hallinta kohtaavat ydinalalla.

3.2.4.3 TOIMINTAPROSESSIT KOKONAISTURVALLISUUDEN TUKENA JA SUUNNITTELUN HALLINNASSA (SYSTEMS ENGINEERING)

Ydinvoimalaitoksen, sen suunnitteluun sekä sen rakentamiseen ja käyttöön liittyvät toimintaprosessit voidaan mieltää yhdeksi kompleksiseksi systeemiksi, jonka kaikki yksittäiset osatekijät vaikuttavat laitoksen kokonaisturvallisuuteen. Turvallisuuden vaikuttavat niin laitoksen järjestelmät, rakenteet, komponentit, niitä kuvaava informaatio, kuin myös johtamiseen, suunnitteluun, laadunhallintaan, hankintoihin ym. liittyvät toimintaprosessit.

Kokonaisturvallisuuden hallitsemiseksi alalla tarvitaan laadukkaiden komponenttien lisäksi selkeitä, yhteisesti hyväksyttyjä ja hyvin kuvattuja toimintaprosesseja, toimintakäytäntöjä sekä informaatiomalleja. Suomen ydinvoima-alalla ovat edelleen vallalla dokumenttipohjaiset toimintatavat laitoksen, sen järjestelmien ja toimintaprosessien turvallisuuden ja oikeellisuuden esittämisessä. Perinteiset

toimintatavat pohjautuvat ainakin osittain viranomaisohjeisiin, mutta mahdollisuudet siirtyä dokumenttipohjaisesta turvallisuuden osoittamisesta muihin mahdollisiin osoittamistapoihin tulisi selvittää. Turvallisuusperustelujen rakennetta – informaatiomallia ja informaation tuottamiseen tarvittavia toimintaprosesseja – tulisi tutkia ja kehittää.

Toimintaprosessit

Ydinvoima-alan vaatimukset edellyttävät selkeitä ja hyvin määriteltyjä toimintatapoja viranomaiselta, luvanhaltijoilta ja toimittajilta, mutta eri toimijoiden laatimat toimintatapojen kuvaukset, toimintaprosessien nimeämiset jne. eivät ole yhteneviä. Kattavampi alan yhteinen ymmärrys vaadittavista prosesseista (laadunhallinta, laadunvarmistus, validointi & verifiointi (V&V), konfiguraationhallinta, vaatimustenhallinta, riskienhallinta, human factors engineering, scope management, kelpoistus, lisensointi, projektinhallinta, esisuunnittelu...) ja niiden välisistä riippuvuuksista sekä prosesseilta edellytettävistä tuloksista tulee kartoittaa. Tämän kartoituksen kautta voidaan kehittää prosesseihin kohdistuvien vaatimusten esittämistä, prosessien kyvykkyyden ja vaatimusten täyttymisen arviointia ja kehittää itse toimintaprosesseja. Tutkimusta tulee suunnata myös prosessijohtamiseen siirtymisen haasteisiin ja riskien kartoittamiseen johtamisen näkökulmasta, jotta riskeihin pystytään varautumaan oikealla tavalla. Ydinalalle vaadittavat toimintatavat pitäisi yksilöidä ja kuvata selkeämmin esimerkiksi standardin ISO/IEC 15288 tai vastaavan soveltuvan standardin mukaisesti

Informaatiomalli

Turvallisuuden parantamiseksi nykyisten laitoksen proosamaiset kuvaukset tulisi tulevaisuudessa korvata tai ainakin täydentää tietokantapohjaisella eksaktilla datalla. Osana tämän lähestymistavan etuja on tiedon täsmällinen säilyttäminen myös tuleville sukupolville iäkkäämpien asiantuntijoiden eläkkeelle siirtymisen yhteydessä sekä mahdollisuus pakottaa dokumentoimaan myös implisiittiset oletukset, joita vaatimuksia asetettaessa on tehty. Tällainen järjestely ei ratkaise osaimien siirtymistä, mutta tukee sitä. Laitoksen, järjestelmien, rakenteiden ja komponenttien kuvausten ja turvallisuusperusteiden tulisi koostua

1. vaatimuksista, jotka voidaan yksiselitteisesti osoittaa oikeiksi hyvin havaituilla menetelmillä
2. argumenteista, jotka kytkevät vaatimukset evidenssiin ja
3. evidenssistä, joka voidaan tuottaa useilla erityyppisillä toisiaan täydentävillä analyyseillä ja menetelmillä.

Ilmaisujen täsmällinen rakenne mahdollistaa myös jäljelle jäävän riskin ja ilmaisun kattavuuden arvioinnin kehittämisen. Eksplisiittisiä kuvauksia kehitettäessä tulee huomioida myös eri suunnitteluvaiheessa täydentyvien kuvausten ketjutettavuus ja kuvausten tarkistamisen automatisointi.

Kattavan informaatiomallin kuvaustapaan siirtyminen vaatii tutkimusta. Osa tutkimuksesta voi kohdentua myös muiden toimialojen sekä muiden maiden ydinvoima-alan käytäntöjen kartoittamiseen ja soveltamiseen Suomessa.

Turvallisuuden osoittamisen ja turvallisuusperustelujen dokumentointi
Tietokantapohjaisen rakenteellisen turvallisuusperustelun ja uuden toimintatavan hyödyttämisen mahdolliset sen vaatimien uusien toimintatapojen tuomat edut ja haasteet tulisi kartoittaa sekä selvittää millaisia vaikutuksia tällä olisi viranomaisen ja luvanhaltijan näkökulmasta laitoksen koko elinkaaren aikana. Aihe kytkeytyy vahvasti Systems Engineering -prosessiin ja erityisesti vaatimuksiin sekä tiedonhallintaan ja kommunikaatioon viranomaisen, voimayhtiön ja toimittajaverkostovälillä. Osa tutkimuksesta voi kohdentua myös muiden toimialojen sekä muiden maiden ydinvoima-alan käytäntöjen kartoittamiseen ja soveltamiseen Suomessa.

3.2.4.4 TEKNISIIN TURVALLISUUSRATKAISUIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Laitostyypit ovat kehityksessä kokonaisturvallisuuden osalta kahteen eri suuntaan: hyvin yksinkertaistettuun passiiviseen laitossuunnitteluun ja monimutkaisempaan aktiiviseen laitosyyppiin. Pienet modulaariset reaktorit ovat hyvä esimerkki yksinkertaistetusta suunnasta, suuret (> 1000 MWe) laitoskonseptit taas monimutkaisuudesta suunnasta. Yksinkertaiseen passiivisuuteen tähtäävää lähestymistapaa on syytä ottaa mukaan tutkimukseen sekä kokonaisturvallisuuden (erityisesti turvallisuustoimintojen toteutuksen ja siihen liittyvien mitoitus- ja varmuusvaatimusten) että turvallisuusmarginaalikäsitteen määrittelyn osalta.

Ydinlaitoksen suunnittelussa on varauduttava erilaisiin sisäisiin ja ulkoisiin tapahtumiin, joista laitoksen pitää selvittää myös silloin, kun siinä on vikoja. Tämän osoittamiseksi tehdään lukuisia vika- ja vaikutusanalyyskejä sekä analyysejä laitoksen käyttäytymisestä tarkasteltavan tapahtuman seurauksena, ja lisäksi suunnittelun hyvyttä tarkastellaan PRA:n avulla. Näissä tarkastellaan usein vain laitoksen yhtä osaa, järjestelmää, tai tekniikan alaa kerrallaan ja PRA pidetään erillisenä päästöriskin kartoittajana. Lopputuloksena on irrallisten analyysien joukko. Syvyyspuolustuksen eri tasojen integrointi vaatii kuitenkin kokonaisuustarkastelun (mahdollisesti deterministisen ja riskiperusteisen yhdistelmän), jossa laitteiden, rakenteiden, järjestelmien ja toimintojen suunnitellut ja suunnittelemattomat riippuvuudet (vikoja rajoittavat ja levittävät mekanismit) ovat edustettuina. On tarpeen kehittää menetelmiä, joilla kokonaisturvallisuutta voidaan paremmin ymmärtää ja kehittää.

Syvyyspuolustukseen osallistuville järjestelmille asetettavat vaatimukset määräytyvät syvyyspuolustusperiaatteen mukaisesti alkutapahtumien todennäköisyyden perusteella. Tapahtuneet vakavat onnettomuudet ovat johtuneet siitä, että jotakin uhkaa ei ollut pidetty uskottavana, joten tapahtumaan ei ollut varauduttu asianmukaisesti. Tutkimustarpeena on tarkastella todennäköisyyden (uhkan uskottavuuden) robustisuutta syvyyspuolustuksen lähtökohtana. Tavoitteena on tunnistaa

mahdolliset aukkopaidat ja tutkia vaihtoehtoisia lähestymistapoja ja keinoja asettaa syvyyspuolustuksen eri osille vaatimuksia. On myös tarpeen tutkia ihmisiä ja organisaatioita osana syvyyspuolustusta, kuten toimintaprosessien kautta aiemmin luvussa 3.2.4.3 esitetään.

Ohjelmoitavaa automaatiota sisältävät integroidut automaatiojärjestelmät luovat syvyyspuolustukselle uuden ulottuvuuden – tarpeen tarkastella informaatiota osana syvyyspuolustuksen puolustuslinjoja. Perinteiset vaatimukset koskevat etupäässä rakenteita ja sähkösuunnittelua ja pyrkivät rajoittamaan laitteita fyysisesti uhkaavien seurausvikojen leviämistä. Integroiduissa järjestelmissä on rajoitettava virheellisen informaation leviämistä, olipa järjestelmä itse kunnossa tai vialla. Tutkimuksen kohteena on selvittää, kuinka informaatioerottelu ja automaatioarkkitehtuuri integroidaan syvyyspuolustukseen.

Kuva 3.5 Esimerkkejä eri aihealueiden tutkimuskohteista ja rajapinnoista.

Tutkimuksen aihepiirit	Pääasiallinen tutkimuskohde	Rajapinnat huomioon otettavaksi ja yhteistyökohteiksi	
	Puolustuslinjat (DID, Defence in Depth) laajasti ymmärrettynä	Yhteiskunta (vies- tintä, yhteiskunnan odotukset)	Muut turvallisuuskriitti- set / kompleksiset alat (tiedon ja osaamisen vaihto)
Kokonaisturvalli- suuskäsitys	DID Suunnittelussa • suunnittelijat • tarkastajat • viranomaiset [useita] • poliittinen valvonta Turvallisuuteen osallistuvien organisaatioiden kokonaisuudesta rakentuvat puolustuslinjat (Organisaation organisaatio)	Voimayhtiöt Tutkimuslaitokset Viranomaiset Poliittiset päättäjät [useita tasoja] Kansalaiset Intressiryhmät Kansainväliset organisaatiot Ydinenergian vastustajat	Merenkulku (valvonta edelleen kansallista) Raideteollisuus (osaksi kansallinen, osaksi kansainvälinen valvonta)
Toimintapro- sessit (Systems Engineering)	DID suunnittelutoiminnoissa • suunnitteluprosessi • suunnittelun tarkastusprosessit • riippumaton tarkastus • viranomaisen tarkastus Puolustuslinjat toiminnassa: ihminen - organisaatio - verkosto - koko toimijakenttä	Toimijoiden yhteiskuntasuhteet Viestintä Kansalaisvuoro- vaikutus YVA- ja lupaprosesseissa	Ohjelmistoteollisuus Ilmailu- ja avaruusteollisuus Raideteollisuus Autoteollisuus Lääke- ja elintarviketeollisuus Puolustusteollisuus
Tekniikka/laitos ja turvallisuusratkai- suihin vaikuttavat tekijät	Rakenteellinen DID: • Polttoaine • Reaktoriipiiri • Suojarakennus Toiminnallinen DID: • ennaltaehkäisy • häiriöiden rajoittaminen • suojaustoiminnot onnettomuuksissa • vakavan onnettomuuden hallinta Ihmissen/organisaation osaaminen ja toiminta osana laitoksen puolustuslinjoja	Laitos toimittaa yhteiskunnalle sähköä ja verotuloja sekä työllistää lähialueella. Normaalisti käyvältä laitokselta ympäristöön pääsee hukka lämpöä ja muita käyttöön liittyviä päästöjä. Onnettomuustilanteessa lähialueella saatetaan tarvita väestönsuojelutoimia. Liikkuminen laitoksen välittömässä läheisyydessä on rajoitettua.	Ilmailu- ja avaruusteollisuus Prosessiteollisuus [puolustusten syvyys ja turvallisuusmarginaalien koko] Autoteollisuus Lääke ja elintarviketeollisuus

Syvyyspuolustuksen osana on varautuminen toimintojen menettämiseen. Automaation osalta sen on sisällettävä myös aiheettomat toiminnot. Ongelmaksi saattaa muodostua se, että sekä pää- että varajärjestelmät ohjaavat samoja laitteita, jolloin niiden priorisointi esimerkiksi käynnistys- ja pysäytyskäskyjen suhteen on haastavaa. Tähän tilanteeseen päädytään, kun erillisesti suunniteltuun kokonaisuuteen lisätään uusi ”ylimääräinen” automaatiojärjestelmä. Tavoitteena tulisi kuitenkin olla turvallisuusarkkitehtuuri, joka ottaisi huomioon myös informaation rajaamisen eri prosessilaitteisiin niin, että pää- ja varajärjestelmien informaatoristiriitoja ei syntyisi. Tällöin syntyisi myös syvyyspuolustusta tahallisesti virheellistä informaatiota vastaan. Ohjelmoitavaa automaatiota

sisältävät ohjausjärjestelmien ja turvallisuusarkkitehtuurin suunnittelussa tulisi huomioida ja selvittää myös ihmisen ja organisaation vaikutukset järjestelmän kokonaisturvallisuustoimintaan.

Syvyyspuolustuksen hyvyyttä mitataan tällä hetkellä usein PRA:lla ja sillä, kuinka laitos täyttää joukon vikasietoisuuden erilliskriteereitä. Tutkimustarpeena on kehittää syvyyspuolustuksen hyvyyden mittausta muustakin kuin vakavan onnettomuuden ja suuren päästön näkökulmasta.

Laitospaikan ympäristöolosuhteiden ymmärtäminen ja niiden muuttumisen ennustaminen ovat keskeisiä laitoksen suunnitteluperusteisiin vaikuttavia seikkoja. Luonnonilmiöiden paremman ymmärtämisen tai uuden tiedon perusteella voidaan havaita tarpeita parantaa suojautumista mm. seismisiä tapahtumia ja sään ääri-ilmiöitä vastaan, joten näiden alueiden tutkimus osana kokonaisturvallisuutta on tärkeää. Syvyyspuolustuksen näkökulmasta on tarpeen tutkia laitoksen toimintaa ja organisaatioiden yhteistoimintaa, jos laitosta joudutaan palauttamaan turvalliseen tilaan ääritilanteissa myrskyn tai maanjäristyksen aikana tai jälkeen. Ydinvoimalaitoksen turvallisuussuunnittelussa tulee ottaa huomioon myös tulipalot.

Turvallisuuden ja toimintavalmiuden ylläpitäminen ja kehittäminen edellyttävät laitosjärjestelmien toiminnan ja turvamarginaalien käytönaikaista monitorointia. Ydinvoimaproessin valvonta ja ohjaus tapahtuu valvomoiden käyttöliittymien avulla. Valvomoiden ja käyttöliittymien suunnittelussa on pyrittävä kehittämään ratkaisuja, jotka auttavat henkilöstöä ennakoimaan tulevia tilanteita ja suunnittelemaan, miten ei-toivotuista seurauksista selvittää. Käyttöhenkilökunnan toiminnan kannalta on sen vuoksi tärkeää tutkia mm. sitä, minkälaisia muutoksia uusi teknologia (esim. digitaaliset ohjeet, etävalvonta ja mobiilit ratkaisut) aiheuttaa työkäytäntöihin. Valvomoiden ja käyttöliittymien tutkimuksen tulee liittyä tiiviisti syvyyspuolustukseen ja kokonaisturvallisuuden kehittämiseen.

3.3 Reaktoriturvallisuus

3.3.1 Tutkimusalueen kuvaus

Reaktoriturvallisuuden alueella kehitetään kokeellisia ja laskennallisia menetelmiä, joilla varmennetaan, että laitos ja sen järjestelmät kykenevät toteuttamaan niille asetetut turvallisuustavoitteet:

- odotettavissa oleville käyttöhäiriöille, oletetuille onnettomuuksille ja vakaville onnettomuuksille lainsäädännössä asetetut annos- ja päästörajat alittuvat
- polttoaineelle, primääripiirille ja suojarakennukselle asetetut hyväksymiskriteerit täyttyvät normaalikäytössä, odotettavissa olevissa käyttöhäiriöissä ja oletetuissa onnettomuuksissa
- suojarakennus säilyttää tiiviytensä suurella varmuudella vakavissa onnettomuuksissa
- kriittisyysonnettomuuden mahdollisuus on erittäin pieni

- laitos täyttää reaktorisydämen vaurioitumisen ja päästön taajuudelle asetetut rajat.

Menetelmiä sovelletaan käytäntöön reaktoriturvallisuusalueen lisäksi myös muilla SAFIR₂₀₁₈-ohjelman tutkimusalueilla.

3.3.2 Tavoitteet

Ydinenergiain luvussa 7a tutkimusohjelmalle esitetty tavoite edellyttää vahvoja reaktoriturvallisuus-alueen valmiuksia. Suomessa on oltava koelaitteistoja ja kelpuutettuja laskentamenetelmiä sekä niiden käyttöön perehtynyttä henkilöstöä. Menetelmien on muodostettava kokonaisuus, jolla viranomainen voi riippumattomasti arvioida laitostoimittajan ja luvanhaltijan esityksiä. Työkalujen (laitteistot ja ohjelmistot) ja osaamisen ylläpito vaatii jatkuvuutta.

Suunnitteluryhmä katsoo, että tutkimuslaitteistovalmiuksia on välttämätöntä ylläpitää seuraavilla alueilla:

- paineenalennusperiaatteella toimivan suojarakennuksen ilmiöt
- jäähdytyspiirin, mukaan lukien sekundääripiiri, ilmiöt
- jotkin vakavien onnettomuuksien ilmiöt.

Tämä ei tarkoita sitoutumista mihinkään tiettyyn laboratorioon tai tutkimuslaitteistoon vaan siihen, että näillä aloilla on suomalaisia tutkimuslaitteistoja. Vain tällöin Suomessa säilyy peruskyky tutkimuslaitteistojen rakentamiseen, kehittämiseen ja ylläpitoon. Mikäli ilmenee yllättävä tutkimustarve, olemassa olevilla laitteistoilla voidaan varsin nopeasti tuottaa kokeellisia mittaustuloksia laskentaohjelmistojen kelpoistukseen ja tottuneet kokeelliset tutkimusryhmät voivat kehittää uusia koelaitteistoja suhteellisen lyhyessä ajassa.

Suunnitteluryhmän mielestä laskennallisia valmiuksia on tarpeen pitää seuraavilla alueilla:

- reaktorifysiikka
- kriittisyysturvallisuus
- reaktoridynamiikka
- polttoaineen käyttäytyminen
- termohydrauliikka
- suojarakennuksen käyttäytyminen
- luotettavuustekniikka
- vakavien onnettomuuksien ilmiöt
- todennäköisyysperusteinen riskianalyysi
- paloturvallisuus
- ympäristövaikutusten mallinnus.

Nämä alat muodostavat ydinturvallisuustutkimuksen peruskentän. Jotta suomalainen reaktoriturvallisuuden tutkimus olisi ylipäänsä mahdollista, on Suomessa oltava käytettävissä näiden alojen kelpoitetut laskentaohjelmistot sekä näiden käytön hallitsevia asiantuntijoita. On kiinnitettävä huomiota siihen, että ohjelmistojen lisensseihin liittyvä riski olisi mahdollisimman pieni. Laskentaohjelmiston lähdekoodia on oltava mahdollista muokata, kun käyttötarve sitä vaatii. Tämä tilanne vallitsee, kun laskentaohjelmisto on joko SAFIR-ohjelmaan osallistuvan organisaation omistama tai avoimen lähdekoodin periaatteella laadittu. Lisäksi on jatkettava olemassa olevaa kansainvälistä yhteistyötä, jolla saadaan käyttöön kansallinen lisenssi eräille kansainvälisesti tunnetuille ohjelmille.

Fukushima Dai-ichi laitoksen onnettomuus loi tarpeen selvittää ydinvoimalaitosten kestävyyttä ulkoisissa tapahtumissa ja pitkäaikaisissa sähkön- ja lopullisen lämpönielun menetystilanteissa. Onnettomuuden seurauksena on muutettu säännöstöä ja käyville sekä rakenteilla olevilta laitoksilta on edellytetty laitosmuutoksia. Onnettomuuden jälkeen maailmalla on käynnistetty tutkimuksia polttoainealtaaseen sijoitetun polttoaineen käyttäytymisestä altaan pitkäaikaisessa jälkilämmön menetyksessä. Suomessa tähän luotiin hyvät laskentavalmiudet jo SAFIR₂₀₁₄-ohjelmassa. Onnettomuus ei kuitenkaan ole tuonut esiin muita sellaisia reaktoriturvallisuuden tutkimusalueen ilmiöitä, joita aikaisemmin ei olisi tunnistettu. Fukushima onnettomuuden analysoimiseksi on käynnistetty kansainvälisiä tutkimushankkeita. Näistä ja vaurioituneiden yksiköiden purkutöissä saaduista havainnoista on mahdollista saada laskentamenetelmien varmentamiseen soveltuvaa tietoa.

3.3.3 Tutkimuksen nykytila

3.3.3.1 KOKEELLINEN TUTKIMUS

Suojarakennuksen ja jäähdytyspiirin termohydraulisten ilmiöiden kokeellinen toiminta on tällä hetkellä keskittynyt Lappeenrannan teknilliseen yliopistoon. Koe-laitteistoilla on mallinnettu PWR- ja VVER-laitosten reaktoriin, BWR-laitosten suojarakennuksen sekä uudentyypisten passiivisten järjestelmien toimintaa onnettomuus- ja häiriötilanteissa. Laitteistot ovat muunneltavissa eri tarkoituksiin. Termohydrauliikan kokeellista tietoa saadaan myös OECD/NEA:n organisoimista tutkimusprojekteista.

Vakavien onnettomuuksien kokeellinen tutkimus suuressa mittakaavassa ja aidoilla reaktorimateriaaleilla tehdään yleensä kansainvälisenä yhteistyönä, esimerkiksi OECD/NEA:n organisoimissa tutkimusprojekteissa. SAFIR-tutkimusohjelmassa on kuitenkin menestyksellisesti tutkittu pienemmän mittakaavan kokein joitakin vakavien onnettomuuksien ilmiöitä. Tällä on luotu valmius tehdä jatkossakin erillisilmiöihin keskittyviä kokeita tärkeäksi katsotuista aiheista.

Uusi tieto polttoaineen käyttäytymisestä hankitaan osallistumalla kansainvälisiin tutkimushankkeisiin. Näistä keskeisiä ovat olleet Halden-reaktorissa tehtävät

kokeet. Jatkossa erityisesti SAFIR2018-ohjelman jälkeen keskeisin tutkimuskokonaisuus Euroopassa tulee olemaan JHR.

3.3.3.2 LASKENTAOHJELMISTOT

Reaktorifysiikassa ja dynamiikassa on käytössä osin SAFIR-ohjelmissa kehitetty riipumaton laskentaketju, joka alkaa lähtötietojen kehittamisestä perusydinvakiokirjastoista ja päättyy turvallisuuden arvioinnissa tarvittaviin kriittisyysturvallisuustarkasteluihin sekä koko sydämen stationääri- ja transienttilaskuihin.

Suurin osa ydinvoimalaitoksiin liittyvästä termohydraulisesta laskentatyöstä tehdään edelleen prosessisimulointiohjelmilla. Suomessa on kehitetty tähän soveltuva Apros-ohjelma, jota on käytetty suomalaisten laitosten lupakäsittelyssä tarvittaviin turvallisuusanalyysihin. SAFIR2014-tutkimusohjelmassa on kehitetty ja otettu enenevässä määrin käyttöön CFD-laskentamenetelmiä (Computational Fluid Dynamics). Ohjelmia on sovellettu mm. termohydraulisiin, paloteknisiin ja vakavien onnettomuuksien kohteisiin. CFD-laskennan soveltaminen ydinvoimalaitosten turvallisuusanalyysihin vaatii kuitenkin mallien edelleen kehittämistä ja kelpoistusta erityisesti kaksifaasivirtausten alueella.

Vakavien onnettomuuksien laskentamenetelmiä on kahta perustyyppiä: ns. integraaliset laskentamenetelmät ja erillisilmiöitä mallintavat menetelmät. SAFIR-tutkimusohjelmassa on tutkittu integraaliohjelmien soveltuvuutta uusiin laitosratkaisuihin. Erillisilmiöistä SAFIR-ohjelmassa on luotu valmius mallintaa reaktorimateriaalin jäähdytettävyyttä ja vedyn sekoittumista ja palamista.

PRA-laskennassa taso 1 sisältää sydänvaurion todennäköisyyden laskennan ja taso 2 ympäristöpäästön todennäköisyyden sekä päästön suuruuden ja eri nuklidiryhmien kulkeutumisen laskennan. STUK on kehittänyt laskentaohjelmia tasoille 1 ja 2 1990-luvulta lähtien. SAFIR2014-ohjelmassa aloitettiin ohjelmien kehitystyön siirto VTT:lle. FinPSA:n tason 1 laskenta on tällä hetkellä yksi maailman tehokkaimpia. Tason 2 laskenta on yksi maailman harvoista dynaamiseen mallintamiseen kykenevistä PRA-ohjelmista.

VTT:llä ja STUKilla on käytössä ohjelmia ympäristöpäästöstä aiheutuvien väestön säteilyannosten ja muiden ympäristövaikutusten arviointia varten. VTT:llä on itse kehitetty ARANO-laskentaohjelma. Ohjelma soveltuu käytettäväksi ydinvoimalaitosten determinististen turvallisuusanalyysien annoslaskentaan ja tason 3 PRA-analyysiin. VTT:llä on käytössään myös muita laskentaohjelmia päästön ympäristövaikutusten arviointiin. STUKin vastaavat ohjelmat on tarkoitettu todellisen onnettomuustilanteen reaaliaikaiseen annoslaskentaan vallitsevassa säätilanteessa.

3.3.4 Tutkimustarpeet

Tähän lukuun on kerätty tutkimuskohteita, joiden toteuttamista SAFIR2018-ohjelmassa reaktoriturvallisuusalueen suunnitteluryhmä pitää tärkeänä. Luettelo ei kata kaikkea alueen välttämättömäksi katsottua toimintaa. Laitteistojen, ohjelmistojen

ja osaamisen ylläpito vaatii jatkuvuutta ja merkittävää työpanosta joka on rahoitettava tutkimusohjelmasta. Tutkimuskohteet olisi mahdollisuuksien mukaan valittava riskiavusteisesti; tutkittavien aiheiden pitäisi liittyä ilmiöihin, jotka ovat joko seurausiltaan vakavia tai suomalaisilla laitoksilla riskin kannalta merkittäviä.

3.3.4.1 YLEINEN MENETELMÄKEHITYS

Eri ilmiöitä kuvaavien entistä tarkempien laskentamallien välisten kytkentöjen jatkokehitys on yksi päätutkimuskohteista monilla aihealueilla. Näitä ovat mm. reaktorifysiikan, -dynamiikan ja polttoainemallien; reaktoridynamiikan ja 3D-termohydrauliikan; termohydrauliikan ja rakennemallien sekä 1D- ja 3D-termohydrauliikkamallien väliset kytkennät. Näiden rajapintojen ilmiöiden tutkimus auttaa ymmärtämään reaktoriturvallisuutta kokonaisuutena ja nostaa lisäksi ohjelman kansainvälistä kiinnostavuutta.

Deterministiset turvallisuusanalyysit on mahdollista tehdä konservatiivisella lähestymistavalla tai käyttäen parhaan arvion menetelmää yhdistettynä epävarmuustarkasteluun. Epävarmuusanalyysin menetelmiä on SAFIR2014-tutkimusohjelmassa kehitetty neutroniikan, termohydrauliikan ja polttoaineen käyttäytymisen tarpeisiin. Jatkossa on tarvetta yhdistää eri laskentaohjelmien tuloksia tai kytkeä ohjelmia suoraan toisiinsa. Tämä vaatii yhtenäistä tapaa tehdä herkkyys- ja epävarmuusanalyysijä. Osana turvallisuusarvioinnin epävarmuuden rajoittamista ja riittävien turvallisuusmarginaalien määrittämisestä on tarpeen tunnistaa myös muita tuloksia vääristäviä tekijöitä.

Validointimatriisit on laadittu helpottamaan turvallisuusanalyysissä käytettävien tietokoneohjelmien kelpoistusta tarjoamalla laadukasta mittausdataa koelaitteistoista tai voimalaitoksista. Laskentaohjelmistojen validointia on kehitettävä järjestelmällisemmäksi ja laajemmaksi. Kriittisyysturvallisuuskennassa validointipaketin järjestelmällinen kehittäminen aloitettiin SAFIR2014-ohjelmassa ja tätä työtä on syytä jatkaa. OECD:n termohydraulisten integraali- ja erilliskokeiden validointimatriisien sisältöä on viimeksi päivitetty vuonna 2010. VVER-laitoksiin liittyvä validointimatriisi on julkaistu 2001. Validoinnissa käytetään myös muita kokeellisen datan lähteitä, esimerkiksi kansallisissa reaktoriturvallisuustudkimusohjelmissa tuotettuja koetuloksia.

Validointimatriisien data on useimmiten tuotettu prosessisimulointiohjelmia silmälläpitäen eikä siten ole täysin soveltuva 3D-ohjelmien toiminnan testaamiseen. Tämän vuoksi tulisi uudelleen arvioida tiettyjen validointimatriisin ja validoinnissa käytettyjen kokeiden uudelleensuorittamista osana SAFIR-tutkimusohjelmaa. Ajankukaisilla mittausjärjestelmillä voidaan tuottaa resoluutioltaan parempaa mittaus-tietoa pitäen muutoin reunaehdot entisellään.

3.3.4.2 KANSAINVÄLISET HANKKEET

Huomattava osa alueen kansainvälisestä kokeellisesta tutkimustoiminnasta on OECD/NEA:n puitteissa tapahtuvaa toimintaa, jossa useat osallistujamaat rahoittavat

suuria pitkäkestoisia jopa useiden kymmenien miljoonien eurojen laajuisia koeohjelmia. Suomi on tällä hetkellä mukana kahdeksassa reaktoriturvallisuusalueen projektissa. Kansainvälisistä koeohjelmista saatava hyöty moninkertaistuu, jos hankkeeseen voidaan osallistua Suomessa tehtävin kokein tai Suomessa osallistutaan muualla tehtävien kokeiden suunnitteluun ja laskentaohjelmin tehtävään kokeiden tulkintaan.

Termohydrauliikkaa tutkivia kansainvälisiä OECD/NEA/CSNI:n koordinoimia tutkimushankkeita, jotka ovat käynnissä runkosuunnitelmakauden alussa, ovat muuten muassa PKL-3 ja ATLAS, jotka keskittyvät painevesireaktorilaitoksen primääripiirin käyttäytymiseen sekä HYMERES, jossa tutkitaan suojarakennuksen käyttäytymistä. Vakavien onnettomuuksien projekteista SAFIR2018:n runkosuunnitelmakaudelle jatkuu STEM, joka tutkii fissiotuotteiden käyttäytymistä. Useat vuoden 2014 aikana päättyvät projektit suunnittelevat jatkohankkeita.

Kansainvälisten hankkeiden runsaudesta johtuen tutkimusohjelmalla on tärkeä rooli päätettäessä, missä hankkeissa voidaan olla mukana siten, että ne hyödyttävät kotimaista ydinturvallisuustutkimusta mahdollisimman tehokkaasti. Suomelle kokeellisten tutkimusohjelmien tyypilliset osallistumismaksut ovat olleet 10 000–30 000 € vuodessa.

Polttoainetutkimuksen keskeisiä laitteistoja ovat tutkimusreaktorit, joissa polttoaineen käyttäytymistä ja rakennemateriaalien säteilynkestävyyttä sekä vikaantumismekanismeja voidaan tutkia reaktorikäyttöä vastaavissa olosuhteissa. HBWR- ja JHR-tutkimusreaktoreita on kuvattu runkosuunnitelman luvussa 2. OECD:n Halden-projektin HBWR on tällä hetkellä ainoa reaktori Euroopassa, josta on mahdollista saada polttoainemallien vaatimaa mittaustietoa. Vuosikymmenen loppupuolella tilanne muuttuu, kun JHR otetaan käyttöön ja mahdollistaa monipuoliset polttoaine- ja materiaalikokeet.

3.3.4.3 TERMOHYDRAULIIKKA JA VIRTAUSLASKENTA

Termohydrauliikka on ydinvoima-alan perusfysiikkaa, jonka hallitseminen ja ymmärtäminen on tärkeää monentyyppisissä alan työtehtävissä, esimerkiksi laitosten suunnittelun ja laitosmuutosten arvioinnissa, käyttötoiminnassa, polttoainesuunnittelussa sekä deterministisissä ja todennäköisyyspohjaisissa turvallisuusanalyysissä. Viranomaisen käytettävissä on oltava laskentajärjestelmät, joilla voidaan suorittaa ydinvoimalaitosten lisensiointiin kuuluvia, luvanhaltijan analyysistä riippumattomia, häiriö- ja onnettomuustilanteiden analyysjä. Riippumattomien laskentaohjelmien kelpoistaminen ja varsinkin uudentyyppisten turvallisuusjärjestelmien mallinnus on alue, joka vaatii edelleen resursseja.

Uuden sukupolven laitoksissa käytetään yhä enemmän passiivisia turvallisuusjärjestelmiä. Passiiviset järjestelmät perustuvat usein pieniin paine-, lämpötila- ja tiheyseroihin. Järjestelmien toimintaan liittyvissä tilanteissa on usein samanaikaisesti läsnä vettä, höyryä ja lauhtumattomia kaasuja. Useassa uudessa laityyppissä käytetään lämmönsiirtimiä, jotka johtavat onnettomuustilanteessa jälkilämmön

suojarakennuksen ulkopuolella oleviin vesialtaisiin. Lauhtumattomien kaasujen kertyminen järjestelmään ja vakavassa onnettomuudessa syntyvien aerosolien kiinnittyminen lämmönsiirtopinnoille voi heikentää järjestelmän toimintaa. Muun muassa näiden seikkojen vuoksi passiivisten järjestelmien toiminta on varmistettava kokeellisesti ja analyyseissä käytettävät laskentamallit on kelpoistettava soveltuvaa koedataa käyttäen.

Ydinvoimalaitoksen käyttäytymistä simuloivien kokeiden suunnittelun tukena on tehtävä analyysejä koko laitoksen laskentamallilla. Suurin hyöty näistä analyyseistä saadaan kun niitä tekevät organisaatiot, jotka myös suunnittelevat ja toteuttavat kokeet. Tehtyjen kokeiden tuloksien tulkinnassa simulointiohjelmien käyttö on lähes välttämätöntä. Aiemmissa SAFIR-tutkimusohjelmissa on kehitetty työkaluja neste-rakennevuorovaikutuksen simulointiin. SAFIR2018-ohjelmassa on luotava aineistoa näiden työkalujen kelpoistamiseen.

Turvallisuusanalyysejä tehdään yhä enemmän CFD-ohjelmilla. Eräs CFD:n käyttöön liittyvä ongelma on ollut kaksifaasitilanteiden puutteellinen mallinnuskyky. Laskentatehon lisääntyminen on luonut edellytykset voimakkaammalle faasimuutosmallien kehitystyölle. CFD-työkalujen kehittäminen kaksifaasivirtaustilanteiden ja kiehumisen ja lauhtumisen osalta on vaativa pitkän aikavälin tavoite. Koska kehitystyö vaatii paljon resursseja, kansainvälisellä yhteistyöllä on mahdollista päästä parempiin tuloksiin kuin vain kansallisen tutkimusohjelman resursseilla. CFD-työkalujen kelpoistamiseksi on luotava menettelyt, jotta näillä ohjelmilla tehtyjä analyysejä voidaan käyttää ydinvoimalaitoksen lisensioinnissa. SAFIR2018-ohjelmassa on tehtävä tästä Suomeen sopiva malli. Avoimen lähdekoodin OpenFOAM CFD-ohjelman käyttöä, kehittämistä ja kelpoistamista on syytä jatkaa kansainvälisenä yhteistyönä.

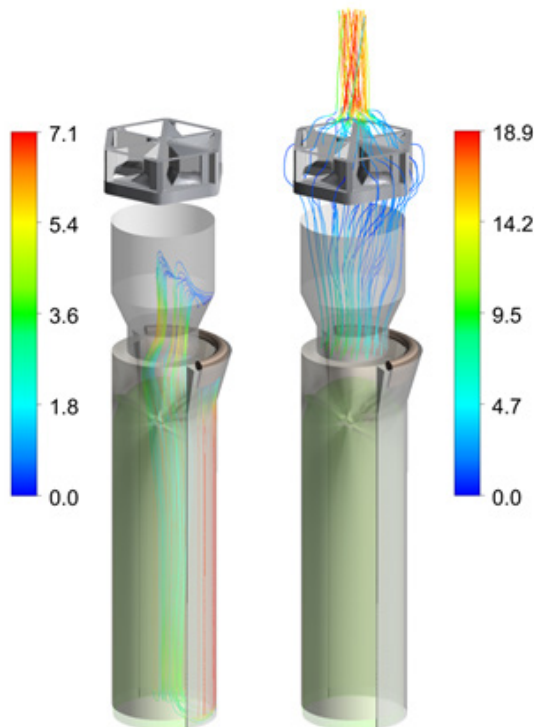
CFD-ohjelmien kelpoistamiseen soveltuvalla mittausdatalle asetetaan toisenlaiset vaatimukset kuin perinteisten systeemiohjelmien kohdalla. Mittausmenetelmien tulee tuottaa tarkkaa ajan ja paikan suhteen riittävän laaja-alaista dataa aiemmin vaaditun muutaman mittauspisteen sijaan. Nykyiset kehittyneet mittausmenetelmät (PIV, tomografiamenetelmät, 3D-suurnopeuskamerat, lanka-anturit jne.) pystyvät tuottamaan virtaus-, lämpötila- ja nopeuskenttiä sekä vangitsemaan nopeita ilmiöitä, kunhan ne saadaan liitettyä sopiviin koeympäristöihin.

CFD-ohjelmille ei ole kattavaa validointimatriisia systeemiohjelmien tapaan, joskin kelpoistusta on ohjeistettu OECD:n työryhmissä. Osa systeemiohjelmien validointimatriisin kokeista soveltuisi myös CFD-ohjelmille, mutta kokeiden instrumentointia ei ole suunniteltu CFD:tä silmällä pitäen. Validointimatriiseissa olisi hyödyllistä päivittää sekä käytettävissä olevat CFD-tasoista dataa sisältävät kokeet että listata puuttuvia kansallisesti tärkeiksi katsottavia koetilanteita. Puuttuvia kokeita tulisi toteuttaa sekä kansainvälisissä että kansallisissa hankkeissa.

Paloturvallisuusanalyyseissä ollaan enenevässä määrin siirtymässä virtauslaskentaan mm. laitteiden vikaantumisen ja palon leviämisen arvioinnissa. Suomessa tähän tarkoitukseen on käytössä avoimen lähdekoodin periaatteella kehitetty Fire

Dynamics Simulator (FDS) -ohjelma. Sen kehittämistä tulee jatkaa, koska ydinvoimaloiden paloanalyysivaatimukset ovat tavallisessa paloturvallisuusteknisessä suunnittelussa kohdattavia haasteita vaikeampia, eikä niiden ratkomiseen ole kiinnostusta muilla teollisuuden aloilla.

Kuva 3.6 CFD- malli EPR-laitoksen högrystimelle. Virtaviivat vesivirtaukselle (vasemmalla) ja högryllä (oikealla) on värjätty nopeuden suuruuden mukaisesti.



3.3.4.4 REAKTORIFYSIIKKA JA DYNAMIIKKA

Avoimen lähdekoodin reaktorifysiikkaohjelman (SERPENT) kehittäminen on osoittautunut kansainväliseksi menestykseksi. Tätä kehitystyötä on syytä jatkaa ja laajentaa ohjelman sovelluskohteiden kirjoa. Kyse on myös suuremmasta kokonaisuudesta, jossa tavoitteena on täysin riippumaton reaktorilaskentajärjestelmä ja perusteellinen, lähdekooditason ymmärrys käytetyistä menetelmistä

Suomessa vaaditaan, että ydinpolttoaine täyttää kriittisyysturvallisuusvaatimukset kaikissa sen suunnitellun käsittelyn, varastoinnin ja loppusijoituksen vaiheissa. Käytetyn ydinpolttoaineen varastoinnin kriittisyysturvallisuusarvioinnissa on kasvava tarve varautua mahdolliseen palamahyvityksen käyttöönottoon. Tälle menetelylle on kehitettävä menetelmät ja kriteerit. Palamahyvityksen käyttöä varten on

kehitettävä ja ylläpidettävä palamalakentaohjelmistoon kytkeytyvää laskentajärjestelmää, jolla voidaan laskea käytetyn polttoaineen nuklidikoostumuksia ja niiden epävarmuuksia kriittisyyslaskuja varten. Epävarmuudet on voitava ottaa huomioon niin, että lopputulosten konservatiivisuus voidaan varmistaa.

Uusien laitosten luvitukseen, käyvien laitoksen laitosmuutoksiin ja polttoaineen jatkuvan kehitykseen liittyvissä varmentavissa analyyseissä tarvitaan ajan tasalla olevia reaktoridynamiikkaohjelmia ja kykyä soveltaa niitä myös uusiin tilanteisiin. Reaktoridynamiikan kuvauksen tarkentamiselle on tarve erityisesti reaktorin ja polttoainepun sisäisen 3D-virtausmallinnuksen, sauvakohtaisen tehojakauman laskennan sekä polttoaineen fysikaalisemman mallinnuksen aiheissa.

3.3.4.5 POLTTOAINE

Ydinpolttoaineen jatkuva kehittyminen vaatii analysointityökalujen kehittämistä ja ylläpitoa sekä mallien tarkentamista. Tietokonemallien kehitys on kytkettävä jatkossakin kansainväliseen koetoimintaan.

Polttoainelaskentamallien kehitystä on tarve jatkaa perusilmiöistä lähtevän mallinnuksen suuntaan sekä tuottamaan tietoa myös vakavien onnettomuuksien ja lopputilanteiden analyysiin. Uudet polttoainemateriaalit sekä ehdotetut onnettomuuskestävyyden kannalta edulliset suoja- ja kuormitusmateriaalit aiheuttavat tarpeen mallien kehitykselle. SAFIR2014-tutkimusohjelmassa aloitetun, muihin ohjelmiin kytkettävissä olevan polttoainemoduulin kehitystä on syytä jatkaa.

Ydinvoimalla tuotetun sähkön osuuden lisääntyessä sähköverkossa joudutaan myös ydinvoimalaitoksia mahdollisesti käyttämään sähköverkon kuormitusta seuraten. Reaktoritehon vaihtelu lisää reaktoripolttoaineeseen kohdistuvaa kuormitusta. Kuorman seurantaan pohjautuvalle käytettävälle on kyettävä määrittämään polttoaineen eheyden kannalta turvalliset rajat.

3.3.4.6 VAKAVAT ONNETTOMUUDET

Suomessa on jatkossakin oltava käytössä vähintään yksi vakavien onnettomuuksien varmentaviin analyyseihin soveltuva integraaliohjelma. Lisäksi tulee olla valmius arvioida riippumattomasti uusien laitostyyppien vakavien onnettomuuksien erityispiirteitä. Esimerkiksi sydänsulan jäähdytettävyyden arviointi voi vaatia sekä laskentatyökaluja että kokeellista tutkimusta. Mahdollisuuksia suojarakennuksessa tapahtuvan höyryräjähdysten analysointiin on kehitettävä tulevassa ohjelmassa.

Useassa uudessa laitostyyppissä jälkilämpö poistetaan vakavassa onnettomuudessa suojarakennuksesta käyttämällä passiivisia jälkilämmönpoistojärjestelmiä. Järjestelmässä on tyypillisesti lämmönsiirtimet, jotka johtavat jälkilämmön suojarakennuksen ulkopuolella oleviin vesialtaisiin. Ratkaisun toimivuus vakavien onnettomuuksien olosuhteissa on voitava varmentaa. Toimintaa mahdollisesti haittaavia tekijöitä ovat lauhtumattomien kaasujen kertyminen järjestelmään ja aerosolien kiinnittyminen lämmönsiirtimen pinnalle. Suojarakennuksen passiivisten

jälkilämmönpoistojärjestelmien tutkimus on kytkettävä kiinteästi termohydrauliikan – laskennallisiin (CFD) ja kokeellisiin menetelmiin.

Päästöjen ja säteilyannosten analyyseissä on kyettävä perustelemaan radioaktiivisten aineiden jakautuminen kaasu- ja nestefaasiin. Kaasumaisen ja aerosolim muodossa olevan jodin osuudet sekä jodin sitoutuminen epäorgaanisiin ja orgaanisiin yhdisteisiin on myös perusteltava. Tutkimuksella on kehitettävä menetelmiä, joiden avulla analyyseissä käytettyjen oletusten oikeellisuus voidaan varmentaa.

Uusien laitosten lupakäsittelyn yhteydessä asetetaan instrumentoinnille ja automaatiolle onnettomuusolosuhteita koskevia toimintakykyvaatimuksia. Vakavissa onnettomuuksissa toimintaan vaikuttaa paineen ja lämpötilan lisäksi säteily suojarakennuksessa ja onnettomuuden hallintaan tarvittavien järjestelmien huonetiloissa. Suomessa tulisi olla käytettävissä menetelmä, jolla voidaan tehdä tämän tyyppisiä annosarvioita. Suojarakennuksen tiiviys on osaltaan riippuva suojarakennuksen läpivientien tiivistemateriaalien kestävydestä vakavissa onnettomuuksissa. Suomessa on oltava mahdollisuus tutkia tiivisteinä käytettäviä materiaaleja olosuhteissa jotka vastaavat vakavien onnettomuuksien olosuhteita.

3.3.4.7 TODENNÄKÖISYYSPERUSTEINEN RISKIANALYYSI (PRA)

PRA:n tason 1 laskentakyvyn ylläpito Suomessa on tällä hetkellä kohtalaisen riittävää. Tason 1 puolella tarpeet ovat pikemminkin laajapohjaisemmassa koulutuksessa, esim. mallintamisen opettaminen korkeakouluissa tai yliopistoissa. Tätä varten oppilaitoksilla tulisi olla kunnolliset PRA-työkalut, sillä täysimittakaavainen PRA on sekä informaationhallintajärjestelmä että laskentatyökalu. PRA tulisi sekä opeutuksessa että tutkimuskohteiden valinnassa oppia näkemään osana riskitietoista turvallisuuden hallintaa, joka antaa uusia mahdollisuuksia asioiden priorisointiin, ja joka toimii yhdessä fysikaalisten onnettomuusanalyysien kanssa.

Tason 2 osalta laskenta vaatii vielä osaamisen siirtoa, kehitystä ja tutkimusta. Tarvittavan dynaamisen laskennan (IDPSA – integrated deterministic-probabilistic safety analysis) työkalu SPSA vanhenee ja uuden laajan ohjelmiston toteuttaminen vaatii työtä. SAFIR2014-ohjelmassa tutkittiin uusia mahdollisuuksia dynaamiseen laskentaan ja päädyttiin siihen, että käytössä olevaa tapaa on syytä jatkaa. Tämä vaatii kuitenkin uuden ohjelman kehittämisen. Samalla on tarpeen toteuttaa rajapinnat mahdollista tason 3 PRA:ta varten.

Palo-PRA:n työkaluja on kehitettävä parantamaan niiden käytettävyyttä ja rajapintoja muihin PRA:n osa-alueisiin.

3.3.4.8 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN MALLINNUS

Laitosten lupakäsittelyn yhteydessä on kyettävä tekemään riippumattomia arvioita radioaktiivisten päästöjen leviämisestä sekä ilmakehässä että vesiympäristössä. Laskentamenetelmiä tarvitaan myös valmiustoiminnan tueksi.

Valtioneuvoston asetuksessa VNa 717/2013 vaaditaan, että ydinvoimalaitoksen vakavasta onnettomuudesta aiheutuvasta radioaktiivisten aineiden päästöstä ei saa

seurata tarvetta väestön laajoille suojautumistoimenpiteille eikä pitkäaikaisille laajojen maa- ja vesialueiden käyttörajoituksille ja että väestön aikaisia suojautumistoimenpiteitä edellyttävän päästön mahdollisuuden on oltava erittäin pieni. Tavoitteiden toteutuminen on kyettävä arvioimaan riippumattomin laskentamenetelmin.

IAEA:ssa on laadittu luonnos uusiksi onnettomuusvalmiutta koskeviksi vaatimuksiksi. Aiemmin vaadittujen suunnitteluvyöhykkeiden (suojavaiohyke ja varautumisalue) lisäksi pitäisi määritellä kaksi pitempää etäisyyttä, jonne saakka olisi varauduttava tekemään tiettyjä suojelutoimenpiteitä. Näiden etäisyyksien määrittely edellyttää ympäristöpäästön vaikutusten arviointia 20 km:n etäisyydeltä aina useiden satojen kilometrien etäisyydelle asti. Tätä koskeva työ on jo käynnistetty SAFIR2014-ohjelmassa, mutta työtä on tarpeen jatkaa tämänkin jälkeen.

3.3.4.9 IMUSIHDIIT

Onnettomuustilanteissa rikkoutuneista putkista irtoavia eristemateriaaleja päätyy kaikissa reaktoriityypeissä suojarakennuksessa sijaitseviin altaisiin. Näistä altaista vettä ottavat järjestelmät on varustettava imusihdeillä, jotka estävät eristemateriaalien pääsyn reaktoriin tai muihin prosessin osiin. Tähän ns. sumppiongelmaan toteutetut ratkaisut perustuvat lähes yksinomaan kokeelliseen dataan. Luotettavaa tietoa on vieläkin melko vähän. Ratkaisujen varmistamiseksi tarvitaan valmius tarkastella kokeellisesti ilmiön vaikutusta hätäjäähdytysjärjestelmiin ja reaktorin sydämeen. Nykyisiä puhtaasti empiirisiä tai semiempiirisiä malleja voidaan korvata kehittämällä ilmiöiden fysiikkaa paremmin kuvaavia malleja. Myös CFD-laskentaa kiintoaineen kulkeutumisesta ja suodoskakun muodostumisesta on mahdollista kokeilla.

3.3.4.10 SÄHKÖJÄRJESTELMIEN ANALYYSI

Ydinvoimalaitosten sähkönjakelujärjestelmien käyttökokemukset osoittavat, että sähkönjakelujärjestelmissä voi esiintyä laajalle leviäviä häiriöitä, jotka pysäyttävät turvallisuudelle tärkeitä laitteita tai estävät niitä toimimasta tarkoitetulla tavalla. Perinteinen sähkönjakelujärjestelmien suunnittelu on pitkälti keskittynyt ylivirtasuojauksen varmistamiseen. Turvallisuuteen liittyvissä sähköjärjestelmissä on noudatettu sähkötehoa tarvitsevien prosessijärjestelmien erotteluperiaatteita; normaalitilassaan ydinvoimalaitoksen sähkönjakeluverkko muodostaa kuitenkin yhden lähes yhtenäisen kokonaisuuden, ja siten sähköisillä häiriöillä on rajoittamaton etenemisreitti häiriölähteeltä loppukuluttajille. Sähköjärjestelmien toiminnan ja häiriövasteen ymmärtämiseksi on tarpeen kyetä analysoimaan kolmivaiheisten sähkötehonjakelujärjestelmien dynaamista käyttäytymistä kaikissa fysikaalisesti mielekkäissä sähköisissä häiriötilanteissa.

On myös tarpeen kartoittaa ydinvoimalaitoksille tyypillisten vahvavirtalaitteiden suojausmekanismeja ja vikaantumisalttiuksia. Sähkönsyöttö loppukuluttajille on useiden laitteiden ja kaapeleiden muodostama ketju, missä yhdenkin laitteen pysäyttäminen – myös silloin kun se on tarkoituksellista ja tapahtuu ao. laitteen

kannalta oikein – voi katkaista ketjun. Selkein esimerkki tästä on Forsmarkin häiriö vuodelta 2006, missä yksittäisten UPS-laitteiden kannalta aiheellisesti lauennut suojaus katkaisi sähkönsyötön kahdelle varavoimadieselille. Tietoisuus laitteiden herkkyydestä eri häiriötyypeille on tarpeen, jotta dynaamisessa analyysissä osataan keskittyä tilanteisiin, joissa järjestelmävika voi syntyä.

Ydinvoimalaitosten sisäisen sähkönjakelun luotettavuutta on perinteisesti parannettu lisäämällä sähkötehon lähteitä ja lisäämällä teholähteiden diversiteettiä. Fukushima onnettomuuden jälkeen on tullut tarve siirtyä nykyistä enemmän itse jakeluteiden luotettavuuden kehittämiseen. Yhteisvikojen esiintymisen todennäköisyyttä ja seurauksien vakavuutta on vähennettävä koko laitostason turvallisuuden näkökulmasta.

3.4 Rakenteellinen turvallisuus ja materiaalit

3.4.1 Tutkimusalueen kuvaus

Ydinvoimalaitosten turvallisen käytön edellytyksenä on rakenteiden kestävyys ja rakennemateriaalien luotettavuuden varmistaminen kaikissa laitosten käyttöön liittyvissä olosuhteissa. Uusien laitosten sekä laitteita ja rakenteita koskevien uusintojen osalta on tunnettava myös rakenteiden ja komponenttien valmistettavuuteen, valmistustekniikoihin ja tarkastettavuuteen liittyvät keskeiset asiat. Näihin tekijöihin on kiinnitetty huomiota jo aiemmissa ydinturvallisuuteen keskittyvissä tutkimusohjelmissa, joiden avulla on hankittu syvällistä osaamista. Jatkuvuutta tarjonneiden tutkimushankkeiden avulla on osaltaan varmistettu jo 1970-luvun lopusta lähtien luotettavasti toimineiden ydinvoimalaitostemme turvallisuutta. Uudessa SAFIR2018-ohjelmassa on tarve syventää tämän alan osaamista edelleen ja tuottaa tätä kautta tarvittavaa lisätietoa laitosten ja niiden komponenttien eliniän hallinnan parantamiseksi. Yhteisenä tavoitteena kaikissa tutkimuksissa on ikääntymisen hallinnan luotettavuuden varmistaminen läpi koko laitoksen elinkaaren. Lisäksi on tarve luoda uusia yhteistyömalleja ja erityisesti kehittää kansainvälistä yhteistyötä ja sen hyödynnettävyyttä ohjelman lähtökohdista.

Tutkimusalue on laitosten ja niiden komponenttien ikääntyessä, niitä modernisoitaessa ja uusia laitoksia rakennettaessa hyvin keskeinen. Aihealue on myös erittäin laaja ja tästä syystä tässä tutkimussuunnitelmassa esitetään painotuksia keskeisistä tutkimusaiheista seuraavalle ohjelmakaudelle.

Tutkimusalue kytkee rakenteellisen turvallisuuden ja materiaalit tutkimuskokonaisuudeksi, jossa tavoitteena on hyötyä asiantuntijayhteistyöstä myös laajemman laitosten eliniänhallinnan näkökulman muodostamiseksi. Erityisenä tavoitteena on varmistaa tarvittava tieto ja osaaminen nykyisten käyvien GenII-laitosten eliniänhallinnan tueksi ja menetelmien kelpuuttamiseksi. Nykyisten laitosten käyttöikä on pidennetty tai ollaan Suomessa pidentämässä 10-20 vuodella alkuperäisestä 30 vuoden tai voimassa olevista 40 vuoden käyttöluvista.

Rakenteilla ja suunnitteilla olevien uusien laitosten suunnittelukäyttöikä on 60 vuotta. Uusien laitosten käytön osalta merkittävä tavoite on toteuttaa eliniänhallinnan ohjelmia siten, että niiden suunnittelu tehdään jo ennen laitosten käyttöönottoa. Tämä on havaittu käynnissä olevien laitosten kokemusten perusteella tärkeäksi, koska mm. ikääntymisilmiöt ja niiden hallintamahdollisuudet on tunnistettava jo suunnitteluvaiheessa. Tällaisia tekijöitä ovat mm. materiaalien valinta, valmistustekniikat, vesikemia sekä rakenteiden ja laitteiden tarkastettavuus laitoksen kokonaisturvallisuuden kannalta sopivissa vaiheissa.

Myös käyttövaiheen tekijöillä kuten laitoksen käyttötavoilla ja laitostransienteilla on tärkeä merkitys rakenteiden ja laitteiden pitkäaikaiskestävyyteen. Käytön aikaista seurantatietoa saadaan ikääntymisen hallintaohjelman palautetiedoista sekä kunnonvalvonnan, tarkastusten ja monitoroinnin kautta. Oman kokonaisuutensa eliniänhallinnassa muodostavat laitosmuutokset ja modernisoinnit, joita Suomessa on systemaattisesti toteutettu laitosten nykyaikaiset vaatimukset täyttävän toiminnan ja käyttökunnon varmistamiseksi. Modernisointihankkeissa ikääntymisen hallintamenettelyt sekä laitoksen käyttö- ja ikääntymistiedot on huomioitava laitteiden ja rakenteiden suunnitteluvaiheessa suunnitteluperusteiden ohella.

Käytöstä poistuvien laitosten (purettavan suojarakennuksen painekoe ja monitorointi ruotsalaisessa Barsebäckin laitoksessa) ja poistettavien laitososien (höyrystinvaihdot, putkistousunnat, vauriotutkimus) sekä tutkimusyhteistyön kautta voidaan saada arvokasta tietoa ikääntymisilmiöistä, mikä tukee ikääntymisen hallintaa ja siihen liittyvää kehitystyötä. Alkuperäisten laitososien hankintavaatimuksia ja käyttökestävyyttä koskeva tietämys on tärkeää lähtötietoa uusittavan rakenteen ja laitteen suunnittelun kannalta.

VTT:n tutkimusvalmiuksien merkittävin kehityshanke, Ydinturvallisuustalo, etenee rakentamisvaiheeseen ja käyttöönottoon tämän ohjelman aikana. Tutkimusympäristön uudistuminen ei vielä ehdi merkittävästi muuttaa ohjelmalle asetettavia tavoitteita, mutta valmiudet luovat uusia mahdollisuuksia tutkimuksille.

3.4.2 Tavoitteet

Tutkimus tulee kohdistaa sekä käynnissä ja rakenteilla olevien laitosten että uusien laitospäätösten materiaali- ja rakenneratkaisuihin, näitä vastaaviin suunnittelu- ja kuormitustietoihin sekä tähän mennessä hankittujen tutkimusvalmiuksien ja osaamisen hyödyntämiseen. Tutkimuksella kehitetään laitosten kokonaisturvallisuuden arvioinnin perusteita kaikissa elinkaarivaiheissa.

Tutkimuksen tavoitteena on ydinvoimalaitostemme luotettavaa pitkäaikaiskäyttöä tukevan tutkimustiedon lisääminen erityisesti leviämisseiden eheyteen liittyvissä asioissa sekä turvallisuustoimintojen luotettavuuteen vaikuttavissa materiaalikysymyksissä. Tutkimus kohdistetaan käytössä olevien laitteiden ja rakenteiden ikääntymisilmiöihin ja niiden etenemisen oikea-aikaiseen hallintaan. Samalla on

kiinnitettävä huomiota rakenne- ja laitekohtaisten ikääntymistietojen hyödyntämiseen korvattavien laitososien uusintahankintoihin liittyvä suunnittelu ja valmistus huomioon ottaen. Tutkimusta kohdistetaan myös uusien ja rakenteilla olevien ydinvoimalaitosten materiaali-, valmistus- ja rakenneteknisiin kysymyksiin, joilla varmistetaan näiden laitosten asianmukainen toteutus ja tuleva käytönaikainen luotettavuus. Myös laitteiden ja rakenteiden toimintakyky poikkeusolosuhteissa tulee ottaa huomioon.

Tutkimuksen tavoitteet kattavat siis ydinvoimalaitosten komponenttien ja rakenteiden käyttöönottoon ja käyttöön sekä eliniänhallintaan liittyvän aihepiirin koko laajuudessaan:

- Uudet suunnittelukriteerit rakenteiden ja laitteiden kannalta ml.:
 - Laitoksen kokonaisturvallisuuden arvioinnissa tunnistetut uudet suunnittelukriteerit
 - Olemassa olevat rakenteet ja laitteet
- Vikaantumismekanismit ja rakenteellisen eheyden varmistaminen, ml.:
 - Kuormitusten määrittäminen, mitoitusvaatimukset ja poikkeavat kuormitusolosuhteet
 - Materiaalien suorituskyky ja vanheneminen voimalaitosolosuhteissa
 - Materiaalien ja rakenteiden suorituskyky poikkeavissa kuormitusolosuhteissa
 - Ulkoisten uhkien vaikutukset toimintaan ja turvallisuuteen
- Eliniänhallinnan menetelmät ja niiden soveltaminen, ml.:
 - Vanhenemisen monitorointi, estäminen ja huomioonottaminen turvallisessa käytössä
 - Laitteistojen ja rakenteiden hyväksyttävyys sekä laadunvarmistus
 - Uudet materiaalityratkaisut, komponentit ja rakenteet.

Tutkimusaiheet soveltuvat hyvin erityyppisille rakenteille ja komponenteille betonirakenteista, metallisiin reaktoripiiriin komponentteihin ja edelleen orgaanisiin suoja- tai pintamateriaaleihin.

Kuva 3.7 Vanhenemismekanismien ja eliniänhallinnan hankkeiden kohdistuminen laitoksen elinkaareen.



Vanhenemismekanismien ja eliniänhallinnan tutkimuksessa keskeistä on hahmottaa kunkin hankkeen kohdistuminen laitoksen elinkaareen (kuva 3.7). Lisäksi erityyppisten materiaalien käytettävyyteen voidaan vaikuttaa eri tavoin: betonirakenteissa korostuu rakennusvaihe ja pitkäaikaiset ja hitaat ikääntymismekanismit sekä vaikeus korjata tai korvata rakenteita (perustukset, suojakuori). Metallisia materiaaleja voidaan tietyin rajoituksin korjata ja vaihtaa, vaikka pääkomponenttien osalta eliniän tulisi saavuttaa koko laitoksen elinikä (paineastiat ja höyrystin). Orgaanisten materiaalien ikääntymistä on tutkittu vähiten, erityisesti säteilyn alaisena. Vaikka niiden vaihdettavuus on kuitenkin paras verrattuna edellisiin materiaaliiryhmiin, on niiden rooli luotettavuuden ja turvallisuuden parantamisessa otettava huomioon myös tutkimuksellisesti.

Tutkimuksen kytkeminen kansainväliseen yhteistyöhön on perusteltua useista eri lähtökohdista, mm.: yhteistyöllä lisätään tietämystä ja resurssipohjaa, saavutetaan uusia kokeellisia valmiuksia, voidaan tehdä vertailevaa tutkimusta mallien käytössä ja voidaan toteuttaa kaiken kaikkiaan suurempia tutkimustavoitteita. Aihealueella on osallistuttu kansanvälisiin ohjelmiin ja työryhmiin sekä on hankittu kokemusta eurooppalaisesta Euratom-yhteistyöstä jo pitkään, lisäksi NUGENIA-yhteisön kanssa on tehty tutkimus-yhteistyötä edellisen ohjelman ajan.

3.4.3 Tutkimuksen nykytila

SAFIR-tutkimusohjelmissa on tehty jo usean ohjelmakauden ajan tutkimusta, joka toisaalta keskittyy reaktoripiirin materiaalien ja rakenteiden vikaantumisolmiöihin ja toisaalta niiden vaikutusten arviointiin. Merkittäviä tutkimusaiheita ovat olleet murtumismekaaniset reaktorimateriaalien tutkimukset ja ympäristöavusteisen korroosion ja säröjen kasvun tutkimus. Lisäksi rakenteellisen turvallisuuden tutkimuksessa on kehitetty kansainvälisesti merkittävä tutkimusvalmius iskumaisten kuormitusten tutkimukseen, lentokonetörmäykset, ja otettu laitteisto käyttöön erilaisten rakenteiden ja kuormitustapojen tutkimuksessa. Myös rakenteellisen eliniänhallinnan kehitystyötä on tehty pitkään. Säteilyn vaikutuksia materiaaleihin on tutkittu VTT:n hot cell -laboratoriossa sen valmiuksien asettamin rajoituksin, tarkoittaen pääasiassa reaktoripaineastiatierästen säteilyhaurastumistutkimusta.

Reaktoripiirin ja rakennusteknisten rakenteiden ja materiaalien osalta on toteutettu useita hankkeita SAFIR2014-ohjelmassa, joista osa on ollut pieniä. Suurin osa hankkeista on liittynyt samanaikaisesti kansainväliseen yhteistyöhön, joko suoraan projektin tulosten kautta tai osallistumalla erilaisiin työryhmiin ja esimerkiksi EU- ja OECD-hankkeisiin SAFIR2014-ohjelman hankkeen rinnalla. Tiedonsiirto kansainvälisestä yhteistyöstä ei kuitenkaan ole näkynyt merkittävästi ohjelman tuloksissa tai lisännyt ohjelmassa tehtävien kansainvälisten julkaisujen määrää. Keväällä 2014 suoritettua kansainvälisen SAFIR2014-ohjelman arvioinnin mukaan aihepiirissä on tehty erittäin hyvää tutkimustyötä, käytetty sekä analyyttisiä että kokeellisia menetelmiä ja tehty kansainvälistä yhteistyötä. Kuitenkin esimerkiksi laitteiden ja putkistojen ei-metallisten materiaalien tutkimuksen puuttuminen nostettiin tulevaisuuden haasteeksi. Samoin jatkuva osajien kouluttaminen voitaisiin rakentaa tutkimushankkeisiin entistä selkeämmin mukaan.

SAFIR2014-ohjelman aikana on NUGENIA-projektityhteistyötä käynnistetty kuudessa hankkeessa keskittyen jännityskorroosioon ja murtumismekaniikkaan sekä sen mallintamiseen, surveillance-tekniikoiden kehittämiseen ja säteilyhaurastumiseen sekä ympäristön ja termisten vaihteluiden aiheuttamaan väsymiseen. Kansainvälinen tutkimusyhteistyösuunnittelu etenee tällä hetkellä pääosin H2020-projektivalmistelun kautta. Tavoitteena on hankkeiden kytkeminen SAFIR2018-ohjelmaan mahdollisuuksien mukaan.

Tutkimusyhteistyön kannalta seurattavia laajempia kansainvälisiä projekteja ja ohjelmia ovat:

- OECD Halden -reaktoriprojekti, jonka pääkohde on polttoainetutkimus, reaktorin sisäosien materiaalitutkimuksen ohella.
- OECD NEA:n NDC - Committee for technical studies on nuclear energy development and the fuel cycle (NDC) työryhmä. "Expert Group on Nuclear Power Plant Life Management".
- Suunnitteilla oleva US NRC:n PARENT (The Program to Assess Reliability of Emerging Nondestructive Techniques).

- “ICG-EAC, International Co-operative Group on Environmentally Assisted Cracking” ja “IGRDM International Group on Irradiation Damage Mechanisms in Pressure Vessel Steels”.
- Lisäksi suunnitteilla olevat IAEA “Development of a methodology for risk-informed in-service inspections based on PSA”, IFRAM (International Forum on Reactor Ageing Management) ja IAEA Coordinated Research Project “International Generic Ageing Lessons Learned Programme, focussing on the influence of irradiation on materials (RPV, internals, cables...)”.

3.4.4 Tutkimustarpeet

Tutkimusohjelman tarpeet on jaettu seitsemään eri aihealueeseen, joista laajin on vikaantumisen ja vaurioitumismekanismien arviointi: ydinvoimalaitosten komponenttien vanhenemisen ja vikaantumisen mekanismien (sekä fysikaaliset että kemialliset) tuntemus ja mallinnus mukaan lukien materiaalien säteilynkestävyyden arviointimenetelmät ja säteilyn vaikutukset pitkäaikaisominaisuuksiin. Lisäksi tärkeä aihealueen tutkimuskohde on eri vanhenemismekanismien yhteisvaikutusten määrittäminen ja arviointi eliniänhallinnan kannalta.

Uutena tutkimuskokonaisuutena on aktiivisten materiaalien kokeellisten tutkimusvalmiuksien kehittäminen: VTT:n ydinturvallisuustalo otetaan käyttöön ohjelman aikana ja sen toiminta käynnistetään ja verifioidaan. Rikkomattomat tarkastus- ja arviointimenetelmät on tutkimusaihe, jossa menetelmien kehitystä jatketaan laitteiden ja rakenteiden ikääntymisen arviointiin.

Keskeinen tutkimusaihe on rakenteellisen turvallisuuden kehittyneet arviointimenetelmät; kokeellisten ja laskennallisten menetelmien kehityksessä tulee huomioida myös laitoksen kokonaisturvallisuus komponenttien ja rakenteiden turvallisuuden lisäksi.

Eri tutkimusaiheita yhdistävä aihealue on eliniänhallinnan menetelmät ja eliniänpidentäminen: laitosten modernisointien ja muutosten sekä käyttöiän pidentämisen seurausvaikutusten ymmärtäminen pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmasta sekä menetelmien kehitys.

Lisäksi ohjelmassa on tavoitteena toteuttaa hankkeita, joissa keskitytään uusien materiaaliratkaisujen aiheisiin, uusien laitosten komponenttien ja rakenteiden sekä uusittavien laitososien materiaalivaatimuksiin sekä valmistus- ja rakennustekniikoihin. Seitsemäs aihealue on PRA-perusteisen ja deterministisen suunnittelun rajapinta: deterministisen suunnittelun ja PRA:n välisen kytkennän kehitys ja arviointimenetelmien kehitys menetelmien rajapinnalla, sisältäen tarkastusohjelmien riskitietoisten suunnittelumenetelmien kehittämisen.

Laajan aihekokonaisuuden tavoitteena on tuottaa tutkimustuloksia sekä kokeellisen työn että laskennallisen ja mallinnustyön kautta. Tästä syystä on tutkimusta tarkoituksenmukaista toteuttaa erilaisissa hanketyypeissä tai näitä yhdistellen: benchmark-tutkimukset, ilmiöpohjainen kokeellinen tutkimus ja mallinnus, uusien

tutkimusmenetelmien kehitys ja käyttöönotto sekä edustavien koerakenteiden että todellisten rakenteiden tutkimus.

3.4.4.1 VIKAANTUMIS- JA VAURIOITUMISMEKANISMIIEN ARVIOINTI

Ympäristövaikutusten ja kuormitusten ymmärtäminen materiaalin käyttäytymisen ja ominaisuuksien kannalta on keskeinen kysymys ydinvoimalaitosten turvallisuuden kannalta. Aihepiiri kattaa ikääntyvien laitosten materiaalien ominaisuuksien muuttumisen käyttöiän myötä, muuttuneiden ominaisuuksien määrittämisen sekä uusien laitosten materiaalien ominaisuuksien tutkimuksen ja erilaisten käyttöympäristöjen ja kuormitusten tuntemuksen.

Ydinvoimalaitosten komponenttien vikaantumisenarvioinnissa ajankohtaisia tutkimusaiheita ovat mm. reaktoripaineastiatäräsket käyttöiän pidentyessä sekä ruostumattomat teräsket putkistomateriaaleina mukaan luettuna niiden hitsit ja eripariliitokset. Ympäristövaikutteista vaurioitumista on tutkittu kansallisissa ydinturvallisuusohjelmissa jo pitkään. Koska säröjen kasvua ei vielä pystytä kuvaamaan riittävän tarkoin ja kattavin mallein eikä siten mallintamaan luotettavasti, on ohjelmassa jatkettava ympäristövaikutteisten säröjen ydintymisen ja kasvun tutkimusta. Näillä tekijöillä on keskeinen merkitys komponenttien eliniän ennustamisessa ja turvallisen käytön mahdollistamisessa.

Ikääntyminen muuttaa myös monien orgaanisten materiaalien käyttäytymistä sekä mekaanisesti että kemiallisesti. Esimerkiksi kaapelien paloriski voi muuttua laitoksen käyttöiän aikana. Uudentyyppisten, palosuojattujen kaapelien vanhenemista ei ole tutkittu käytännössä lainkaan. Myös rakenteellisen paloturvallisuuden komponenteissa, kuten palokatkoissa, voi esiintyä vanhenemista, mutta ilmiöitä ja niiden merkittävyyttä ei tällä hetkellä tunneta riittävän hyvin.

Murtumismekanismien tutkimusta ja mallinnuksen kehittämistä on syytä jatkaa ikääntyvien laitosten kestävyiden ja rakenteellisen eheyden varmistamiseksi tarkemmilla ja monipuolisemmilla laskennallisilla analyyseilla. Ohjelman aikana on tärkeää kehittää mallinnusvalmiudet, jotka soveltuvat uusien laitosten kestävyiden ja rakenteellisen eheyden analysointiin. Mallit tulisi myös kelpuuttaa (validoida) ennen käyttöönottoa. Tieteellisenä tavoitteena on todellisen muotoisten säröjen tutkimus ja tulosten siirrettävyys todellisiin rakenteisiin (constraint, jäykkyys).

Materiaalien säteilynvaikutuksen arvioinnissa keskeiset tutkittavat materiaalit ovat reaktorin paineastiateräs, sisäosien materiaalit sekä polttoaineen suoja-kuori. Tavoitteena on murtumismekanismien ja virumis- ja mikrorakenneominaisuuksien määrittäminen sekä mekanistisen ymmärryksen lisääminen Paineastiateräksessä kysymykseen tulevat paitsi konventionaaliset teräslaadut myös mm. uuden venäläisen teräksen ominaisuuksien kartoittaminen sekä uusien ja vanhojen valmistusmenetelmien vaikutukset materiaalien käytettävyyteen. Uusia tutkimustarpeita ja haasteita on myös ei-metallisten materiaalien säteilyn kestävyiden tutkimusalueella, esimerkiksi betonirakenteet ja kaapelimateriaalit. Tällä

alueella olisi hyödyllistä tehdä kansainvälistä yhteistyötä uuden tiedon ja osaamisen kasvattamiseksi.

Polttoaineen suojakuorimateriaalit ovat oma materiaaliryhmänsä, joiden tutkimusta ei voida irrottaa polttoainetutkimuksesta. Suojakuorimateriaalit ja polttoaineet ovat kehittyneet merkittävästi toimittajien kehitystyön ja käyttökokemusten hyödyntämisen ansiosta. Tämä on mahdollistanut myös Suomessa viime vuosina toteutetut palamarajojen nostot käyvien voimalaitosten osalta. Ajankohtainen tutkimustavoite on suojakuorimateriaalien käyttäytymisen kokeellinen tutkimus koereaktoriolosuhteissa.

Tärkeänä tutkimushaasteena aihealueella ovat vikaantumisolmiöiden yhteisvaikutukset. Todellisissa laitosympäristöissä vikaantumisolmiöt ovat harvoin puhtaasti yhden ilmiön seurauksia. Yksittäisten vikaantumismekanismien kautta ei voida arvioida eri vikaantumismekanismien, kuten virumisen ja väsymisen tai korroosion ja väsymisen, yhteisvaikutusta vaan on tunnettava näiden keskinäisiä vuorovaikutuksia. Vanhenemisen yhteisvaikutustutkimukset ovat hyvä esimerkki kansainvälisestä tutkimusyhteistyöstä.

3.4.4.2 AKTIIVISTEN MATERIAALIEN KOKEELLISTEN TUTKIMUSVALMIUKSIEN KEHITTÄMINEN

SAFIR2018 -tutkimusohjelman aikana merkittävin uusi tutkimusvalmius tulee olemaan VTT:lle rakennettava Ydinturvallisuustalo. Ydinturvallisuustaloon tulevien kuumakammioiden osalta suurin muutos nykyiseen on korkea-aktiivisten neutronisäteilytettyjen austeniittisten ruostumattomien terästen tutkimusmahdollisuuksien oleellinen parannus. Ohjelmakauden tavoitteena tulee olemaan tutkimusvalmiuksien toimivuuden osoittaminen ja tämän myötä kokonaisvaltaisen ymmärryksen lisääminen säteilyn vaikutuksista rakenne- ja rakennusmateriaaleihin.

Pääasialliset tutkimuskohteet liittyvät eliniän pidentämiseen, reaktoripaineestiteräksiin, austeniittisiin ruostumattomiin teräksiin (sisäosat), polttoaine-elementtien rakenneosiin sekä polttoaineiden suojakuorimateriaaleihin (GEN III - IV).

Koereaktoritutkimusta tehdään valmiuksien saatavuuden ja jakamisen takia kansainvälisenä yhteistyönä, ensisijaisesti OECD NEA Halden -projektin osana sekä polttoaineille, suojakuorimateriaaleille että rakennusmateriaaleille. Tutkimuksen tuloksia tullaan raportoimaan SAFIR2018-ohjelmassa aiempien ohjelmien tavoin. Aktiivisten materiaalien sekä polttoaineiden tutkimusvalmiudet paranevat tulevaisuudessa merkittävästi JHR-reaktorin valmistumisen myötä. Reaktoriin tulee mm. mekaaninen aineenkoestuslaite säteilyn alaisiin mittauksiin reaktorin sydämessä sekä lukuisia muita valmiuksia. JHR -reaktorin koeohjelmien suunnittelu käynnistyy samanaikaisesti SAFIR2018-ohjelman kanssa.

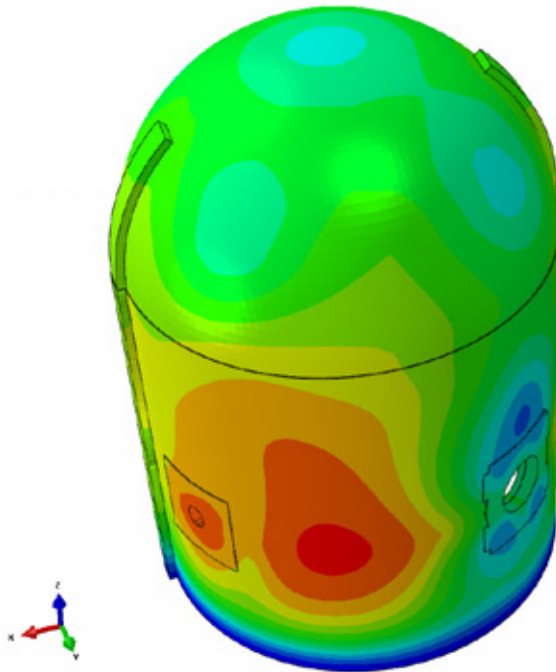
3.4.4.3 RIKKOMATTOMAT TARKASTUS- JA ARVIOINTIMENETELMÄT

Ainetta rikkomattomien menetelmien (NDE) kehittämisen tärkeyttä nostettiin esille SAFIR2014 tutkimusohjelman arvioinnissa. Metallisten rakenteiden tutkimusaiheita

ovat mm. väsymissäröjen tarkastettavuuden tutkiminen NDT-menetelmillä ja erityisesti siihen liittyen havaintojen luotettavuuden ja havaitsemistodennäköisyyden todentaminen sekä Probability of Detection (POD) -käyrien mallintaminen. Uutena aiheena, jossa NUGENIA-yhteistyö on mahdollista, olisi höyrystimen magnetiittiker-tymien tutkimus, mikä liittyy aiheena läheisesti vesikemian vaikutusten tutkimiseen höyrystimissä. Myös POD mallinnusta monimutkaisille kappaleille kuten reaktori-paineastiyhteille ja eriparihitseille tulisi kehittää.

Ohjelman tavoitteena on soveltaa NDE-tekniikoita myös betonirakenteisiin metal-lirakenteita vastaavalla luotettavuudella. Vaikka teräsbetoni huokoisena materiaa-lina ja toteutettuna teräsbetoneina yhdistelmämaterialina on tutkimuskohteena monimuotoinen, sille sovellettavat NDE-menetelmät ovat periaatteiltaan samoja kuin metallirakenteilla. Tutkimustarpeita ovat esimerkiksi betonirakenteiden NDT-menetelmillä saatavien tulosten luotettavuus ja eri menetelmien soveltuvuus ydin-voimalaitosrakenteiden käyttöänsä hallintaan. Betonitutkimuksessa on yhtymäkohta myös kansalliseen ydinjätetutkimusohjelmaan (KYT), jossa tutkitaan kokeellisesti betonin pitkäaikaisominaisuuksia loppusijoitusolosuhteissa.

Kuva 3.8 Suojarakennuksen tiiveyden ja kestävyys arviointia jälkijännitys-järjestelmän kestävyys ääriarjoilla.



3.4.4.4 RAKENTEELLISEN TURVALLISUUDEN KEHITTYNEET ARVIOINTIMENETELMÄT

Rakenteellisen eheyden tutkimuksen aihepiirit ovat SAFIR2014-ohjelmassa kattaneet lentokonetörmäysten vaikutusten selvittämisen lisäksi eliniänhallintaan liittyvää tutkimusta. Uutena aiheena on ollut myös maanjäristysten ulkoiseen uhkaan ja vaikutusten arviointiin liittyvä hanke. Vuonna 2014 tehdyn ohjelman arvioinnin mukaan on työ ollut osittain erittäin korkeatasoista ja kansainvälisesti uraa uurtavaa. Kansainvälinen yhteistyö on keskittynyt iskukuormitusten tutkimukseen, mistä aiheen tutkimus on laajentunut OECD:n WGIAGE ohjelmaan ja myös ASME on aktivoitumassa aiheen julkisessa tutkimuksessa.

SAFIR-ohjelmalla Rakenteellisen eheyden laskennallisessa arvioinnissa painopisteinä ovat edellisen ohjelman tavoin erilaiset laitostransienttitilanteet sekä rakenneanalyysimenetelmien kehitys ja erilaisten prosessitilanteiden aiheuttamien kuormitusten määrittäminen nykyistä realistisemmin. Esimerkkeinä voidaan mainita mm. lämpökuormat ja -jännitykset neste-rakennevuorovaikutusanalyyseissä, hitsausjäännösjännitysten suuruuden realistinen arviointi myös kuormitusten ja käyttöajan vaikutukset huomioon ottaen. Toisaalta esim. maanjäristyskuormat ja niiden vaikutusten arviointi laskennallisesti on uusien laitosten kannalta erittäin keskeistä. Jatkossa tulee myös antaa ohjeita näiden monimutkaisten ohjelmistojen yleisesti hyväksyttävillä käyttötavoilla ja laskentamenettelyillä yleisemminkin. Laskentaa varten tulisi lisäksi kehittää ja ylläpitää tapahtumatietokantoja (esim. CODAP, FIRE), jotka mahdollistavat ilmiöiden tilastollisen käsittelyn laitoksen eliniänhallinnassa.

Säteilytetyn materiaalin murtumismekaanisten parametrien selvittäminen kokeisiin perustuen on jatkuvaa kehitystyötä laskentapuolella. Vakiintuneet Master-käyrään perustuvat tarkastelut ja niiden kehitys pysyvät keskeisessä roolissa myös jatkossa. Numeeristen analyysimenetelmien kehitys vaatii myös täsmällisempiä materiaalien karakterisointimenetelmiä, mikä merkitsee kokeellisen tutkimuksen jatkamista.

LBB-tutkimuksella pyritään saamaan riittävä varmuus, ettei primääriputki voi katketa. Aihe on edelleen tärkeä erityisesti uusien laitosten kannalta. Tutkimuksen avulla pitäisi pyrkiä selvittämään ja perustelemaan myös sen mahdollista käyttöä suunnitteluperusteena.

Nykyisin ydinvoimalaitosten betonirakenteet, erityisesti suojarakennus suunnitellaan kantamaan huomattavia yllättäviä kuormituksia. Kuormituskyvystä varmistuminen vaatii rakenteen eheyden luotettavaa määritystä. Suojarakennusten osalta tärkeimmät menetelmät ovat jännitysten, muodonmuutosten, lämpötilan ja kosteuden mittaukset sekä kiinteillä että väliaikaisilla mittalaitteilla. Tältä osin on tärkeää seurata alan kansainvälisten normien kehitystä.

Laskennallisia menetelmiä suoran seinän taipumisen ja lävistymisen arviointiin on kehitetty, todennettu laskentaympäristöön analyttisten mallien rinnalla, kelpuutettu koetuloksiin sekä otettu käyttöön aikaisempien SAFIR-ohjelmien puitteissa.

Kuitenkaan, kuten OECD:n kansainväliset IRIS_2010- ja IRIS_2012 -benchmark-laskennat osoittivat, vielä ei ole olemassa yleispätevää laskennallista menetelmää ja riittävän laajaa osaamista iskukuormitetun teräsbetoniseinän vakavan vaurioitumisen arviointiin.

Aikaisempien tutkimusohjelmien puitteissa tehty laaja kansainvälinen yhteistyö on mahdollistanut rajattujen ongelmien selvittämiseen tarvittavien koeohjelmien läpiviennin. Jotta laskennalliset tulokset olisivat luotettavia, tulee käytetyt menetelmät ja mallit todentaa (verifioida) ja kelpuuttaa kokeellisten tulosten avulla. Siten kaikkia koetuloksia kannattaa luonnollisesti hyödyntää numeeristen menetelmien ja mallien kehittämisessä.

Rakenteellisen paloturvallisuuden mitoitus perustuu oletuksiin palon kehittymistavasta, standardoiduissa olosuhteissa mitattuun suorituskykyyn ja laitosratkaisujen asettamiin suorituskykyvaatimuksiin. Laskennallisia menetelmiä rakenteellisen paloturvallisuuden toiminnalliseen mitoitukseen on olemassa, mutta siitä huolimatta mitoitus noudattaa kymmenien vuosien takaista perinnettä. Mallinnus ja simulointimenetelmiä tulisi kehittää siten, että todellisten rakenteiden ja niiden komponenttien käyttäytymistä palotilanteessa voitaisiin arvioida laskennallisesti. Menetelmien tulisi olla sellaisia, että ne voidaan yhdistää todennäköisyyspohjaisiin palosimulointeihin suunnittelu-PRA-yhteyden luomiseksi.

Rakenteiden eheyden aihepiiriin on tarvetta tuoda enemmän poikittaisuutta muiden SAFIR2018-ohjelman tutkimusalueiden kanssa, kuten ilmiöiden ja rakenteiden turvallisuusmerkitysten arviointi kokonaisturvallisuuden kannalta. Myös kansainvälisten tutkimusohjelmien (esim. OECD/NEA CASH-projekti (capacity of reinforced concrete shear walls)) hyödyntämistä tulee tehostaa. Tärkeitä näkökohtia CASH-tutkimusohjelmassa ovat: kaksoissuojakuorirakenteet, modulaarinen rakentaminen, eri säädösten ja ohjeistojen arviointi ydinvoimalaitosrakenteissa, 4D mallinnuksen käyttöönotto ja integrointi rakennettavuuden ja suunnittelun tarpeisiin sekä laajempi kokeellisten laitteistojen hyödyntäminen.

3.4.4.5 ELINIÄNHALLINNAN MENETELMÄT JA ELINIÄNPIDENTÄMINEN

Reaktoripiirin aihealueen tutkimustiedon saattamiseksi hallituksi kokonaisuudeksi ja tukemaan käytännön laitosten eliniänhallintaa sekä tietojen integroimiseksi laskentajärjestelmiin on kehitettävä systemaattisia menetelmiä. Eliniänhallinnan vaiheita ja osia kuvaa IAEA:n eliniänhallinnan prosessi, joka on perustana nykyisille eliniänhallinnan menettelyille. Uusien laitosten kannalta tämä menetelmäkehitys on hyvin ajankohtaista, sillä systemaattinen eliniänhallinta voitaisiin aloittaa jo rakentamisvaiheessa, mikäli järjestelmät ovat riittävän kehittyneitä. Menetelmien kehittämisen lisäksi on oleellista saattaa käytettävissä oleva tutkimustieto sellaiseen muotoon, että sen soveltuu myös laskentaan ja mallinnukseen. Keskeisenä tavoitteena on tietojen hyödyntäminen erilaisissa reaktoriturvallisuuden kannalta tärkeissä laskentaohjelmissa. Tutkimuskohteita eliniänhallinnan alueella ovat:

- eliniän hallinnan menetelmät, käytössä olevien menettelyjen kartoitus sekä kehitystarpeiden identifiointi ja toteutus
- tutkimustiedon kokoaminen ja käytettävyyden parantaminen
- tutkimus- ja käyttötietojen integrointi erilaisiin laskentaohjelmiin.

Tutkimuskokonaisuuden tavoitteena on tukea myös modernisoitavien tai muutettavien laitossien (laitteiden ja rakenteiden) ikääntymisen hallintaa erityisesti pitkän käyttöajan kuluessa sekä ymmärtää laitosmuutosten ja modernisointien seurausvaikutuksia laitoksen pitkäaikaisturvallisuuteen.

Laitosten käyttöiän aikana ja erityisesti laitosten käyttöiän pidentyessä tehdään laitosmuutoksia ja laitosmodernisointeja laitosten turvallisuuden ja käytettävyyden parantamiseksi ja laitossien fysikaalisen tai teknologisen ikääntymisen johdosta. Modernisointien ja muutosten aiheuttamien vaikutusten ymmärtäminen laitoksen turvallisuuteen sekä olemassa olevien että uusien laitossien tulevaan ikääntymiseen on oleellista. Siten rakenteellista turvallisuutta ja materiaalien luotettavuutta koskevan tutkimuksen tulee kattaa myös käynnissä olevien laitosten modernisointien tai muutostöissä uusittavien laitossien koko elinkaari. Tällöin tulee huomioida mm. uusittavien laitossien materiaalien valinta, valmistustekniikat, määräaikaistarkastettavuus ja käyttöolosuhteet. Lisäksi uusittavien rakenteiden ja laitossien tutkimuksessa tulee huomioida näiden suunnitteluperusteiden täytyminen.

Ikääntymisilmiöitä tutkittaessa voidaan saada arvokasta tietoa näiden modernisoitavien ja käytöstä poistettavien laitossien (esim. höyrystinvaihdot, putkistouusinnat, vauriotutkimus) ikääntymiseen ja sen syyhyn liittyneistä tutkimuksista. Laitosmuutosten ja laitossien uusintoihin sekä niiden seurausvaikutusten ymmärtämiseen liittyvässä tutkimuksessa voisi korostua näkökanta, miten erilaisia ikääntymisilmiöitä esitetään.

Uusittavien laitossien osalta tutkimuksen kohteena voivat olla mahdolliset uudet materiaalit ja valmistustekniikat kyseeseen tulevissa käyttöolosuhteissa tai sellaiset materiaalit ja valmistustekniikat, joista on saatavilla esimerkiksi vain hyvin lyhytaikaista käyttökokemustietoa. Mahdollisten ikääntymisilmiöiden ymmärtämisen lisäksi on tarpeellista selvittää myös uusien valmistustekniikoiden ja rakenneratkaisujen vaikutusta ikääntymiseen sekä niiden merkitystä laitossien tai materiaalien tarkastettavuuteen.

Laitosmuutokset tai laitossien uusinnat voivat aiheuttaa myös käyttöolosuhteiden muutoksia, joiden vaikutuksia materiaalien ikääntymiseen on tutkittava. Uusittavien laitossien materiaaleja valittaessa joudutaan mahdollisesti arvioimaan myös niiden hyväksyttävyys onnettomuusolosuhteissa ja lisäksi vakavissa reaktorionnettomuusolosuhteissa. Siten turvallisuudelle tärkeiden laitossien materiaalien valinta edellyttää usein myös tietoa materiaalien ominaisuuksista ääriolosuhteissa, esimerkiksi käyttöolosuhteita huomattavasti korkeammissa lämpötiloissa ja samanaikaisesta säteilystä ja kosteuden yhteisvaikutuksesta.

3.4.4.6 UUDET MATERIAALIRATKAISUT

Tulevien laitosprojektien toteutusta ja lisensioitavuuden arviointia varten on tarpeellista tuntea uusia laitos-vaihtoehtoja, niissä käytettyjä materiaali- ja rakennerratkaisuja sekä niissä käytettäviä uusia valmistustekniikoita. Eliniänhallinnan kannalta tutkittavia materiaaleja ovat esimerkiksi nikkeli-pohjainen putkimateriaali (OL3), joka on myös rakennemateriaali muualla primääri- ja sekundaari-piirissä. Lisäksi uusi paineastiateräs (FH1) saattaa tulla ajankohtaiseksi tutkittavaksi materiaali-ohjelman aikana.

Kolmannen sukupolven laitosten rakentamisessa otetaan käyttöön uusia valmistustekniikoita ja uudenlaisia rakennerratkaisuja. Esimerkiksi kapearailohitsauksen käyttö lisääntyy merkittävästi uusissa laitoksissa, jolloin sen tutkiminen ja karakterisointi, erityisesti vanhenemisen osalta, on tärkeää. OL3:n reaktoripaineastian ja putkiston välinen hitsisauma on toteutettu uudella tavalla, minkä vaikutukset vanhenemiseen tulevat arvioitaviksi. Suomeen rakennettavat uudet laitostyyppit sisältävät myös muita uusia rakennerratkaisuja, kuten esim. niukkaseosteisesta teräksestä valmistettu primääripiirin putkisto. Lisäksi pyrkimykset vähentää hitsisaumojen määrää johtavat suurempiin komponentteihin, joiden valmistus on haastavaa.

Valmistus- ja rakennetekniset muutokset ovat haasteita myös komponenttien eliniänhallinnalle. Toisaalta eliniänhallintaa päästään uusien laitosten osalta suunnittelemaan ensimmäistä kertaa systemaattisesti jo ennen laitoksen käyttöönottoa, mikä antaa uusia mahdollisuuksia eliniänhallintamenetelmien osalta.

Uudet laitoskonseptit voivat myös sisältää uusia polttoaineiden suojakuurirakenteita ja -materiaaleja, joiden ominaisuudet reaktoriolosuhteissa pitää tuntea sekä turvallisuuden että eliniänhallinnan kannalta. Tulevissa laitoksissa myös elinikäodote on merkittävästi nykyisiä käyviä laitoksia suurempi, suunniteltu käyttöikä on nyt 60 vuotta, mutta USA:ssa keskustellaan jo 80 vuoden pituisesta käyttöiästä.

Myös kaapelimateriaalit kehittyvät jatkuvasti, ja turvallisuuden kannalta tärkeä kehityskohde koskee uusia palosuoja-aineita, joten kokeellinen ja numeerinen tarkastelu on tarpeen myös uusien palosuojattujen kaapelien osalta. Aihe on todettu tärkeäksi kehityskohteeksi myös kansainvälisissä hankkeissa.

Euroopassa on alkamassa nelivuotinen ydinvoimalaitoksen suunnitteluun sovellettujen rakennusteknisten ja painelaitteiden eurooppalaisten standardien valmistelu. Uusien standardien tulisi perustua tutkittuun tietoon.

3.4.4.7 PRA-PERUSTAISEN JA DETERMINISTISEN SUUNNITTELUN RAJAPINTA

Vaurioitumis-potentiaalin laskennallinen arvioiminen edellyttää poikkitieteellistä osaamista, jossa tarvitaan ainakin todennäköisyysmatematiikkaa, lujuusoppia, murtumismekaniikkaa ja materiaalitiedettä. Tarvittavien alkusäröestimaattien arvioimisen tukena voidaan käyttää kansainvälisiä vauriotietokantoja, kuten OPDE ja CODAP. Vaurioitumis-potentiaalien laskemisessa on mukana myös tarkastusten vaikutus. Koska ne yleensä tarvitaan POD-funktioiden muodossa, on tässä ilmeinen

yhteistyöaihe NDE-tutkimuksen kanssa. Laskentaa varten on tarve kehittää sekä lisää että tarkempia POD-funktioita.

PRA:n lisäksi toinen ydinvoimaloille tärkeä riskinäkökulmaan liittyvä lähestymistapa on putkistojärjestelmien tarkastusohjelmien riskitietoiset suunnittelumenetelmät, eli RI-ISI. PRA-analyysit koskevat lähinnä aktiivisia komponentteja, kun taas RI-ISI analyysit passiivisia putkistokomponentteja. Näin eri analyysityypit myös täydentävät toisiaan. Kotimaiset YVL-ohjeet edellyttävät sekä uusilta että käyviltä laitoksilta RI-ISI-analyysit niiden kaikille putkistojärjestelmille. Jotta RI-ISI-menettelyllä saataisiin tarkemmin arvioitua tarkastusten kohdentamisen vaikutus riskin kvantitatiiviseen muutokseen, olisi erilaisten vauriomekanismien vaikutukset eli vaurioitumispotentiaali kyettävä mallintamaan nykyistä kattavammin ja tarkemmilla menetelmillä.

Aiheen tutkimus on tarpeellista myös kehitettäessä palontorjunnallisen syvyyspuolustuksen varmentamisen metodiikkaa, kun pyritään torjumaan kaikkia palon syttymis- ja leviämismekanismeja sekä laitoksen turvallisuuden asteittaista vaarantumista. Tutkimus edellyttää deterministisen suunnittelun ja PRA:n välisen rajapinnan hallintaa.

4 Yhteenveto

Turvallinen ydinvoiman käyttö edellyttää korkeatasoista tieteelliseen tutkimukseen perustuvaa kansallista osaamista. Vuonna 2004 voimaan tulleen ydinenergialain luvussa 7a asetetaan kansallisen ydinturvallisuuden tutkimuksen tavoitteeksi varmistaa, että jos ilmenee ydinlaitosten turvallisen käytön kannalta uusia seikkoja, joita ei ole ollut mahdollista ottaa ennalta huomioon, viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita käyttäen voidaan tarvittaessa viivytyksettä selvittää tällaisten seikkojen merkitys. Työnimellä SAFIR2018 vuosille 2015–2018 suunnitellun ydinturvallisuusohjelman tavoitteena on varmistaa asiantuntemus etenkin aihepiireissä, joissa Suomessa ei muuten tehtäisi tutkimusta. SAFIR2018-ydinturvallisuusohjelman tutkimushankkeiden vaaditaan olevan tieteellisesti korkeatasoisia ja niiden tulosten on oltava julkaistavissa. Tulosten tulee olla myös laajasti hyödynnettävissä, joten ne eivät voi rajoittua vain yhden luvanhaltijan ydinvoimalaitosten luvitukseen.

Ohjelmaa rahoittavat Valtion ydinjätehuoltorahaston (VYR) lisäksi muut ydinenergia-alalla toimivat organisaatiot, jotka päättävät rahoituksestaan itsenäisesti. SAFIR2014-ohjelman rahoitus on ollut noin 10 miljoonaa euroa vuodessa. Uudessa ohjelmassa on tavoitteena säilyttää kotimainen rahoitus vähintään entisellä tasolla ja kasvattaa kansainvälistä rahoitusta.

SAFIR2018:n ohjelmakaudelle tai heti sen jälkeiseen aikaan on suunniteltu useita lupa- ja valvontahankkeita: Olkiluoto 3:n käyttölupa, Fennovoiman Hanhikivi 1:n rakentamislupa, Olkiluoto 4:n rakentamislupa, Loviisan laitossykliköiden 1 ja 2 turvallisuuden väliarviointi sekä Olkiluodon laitossykliköiden 1 ja 2 käyttöluvan uudistaminen. Lisäksi sekä Loviisassa että Olkiluodossa on suunniteltu toteutettavaksi modernisointi- ja parannushankkeita, joihin sisältyvät myös merkittävät automaation uudistushankkeet.

Uusien laitoshankkeiden eteneminen lisää alan asiantuntijoiden tarvetta. SAFIR2018-ohjelma toimii ympäristönä, joka antaa ydinturvallisuuden tutkijoille mahdollisuuden aihepiirin vaatimaan syvälliseen kouluttautumiseen ja sitoutumiseen. Myös uusien nuorien osajien kouluttaminen alalle on ohjelman tärkeä tavoite.

Kansallisen tutkimuksen korkean tieteellisen tason merkitys korostuu toiminnan kansainvälistyessä. SAFIR2018-ohjelma on tärkeä kanava tiedonvälitykseen kansainvälisistä aktiviteeteista, mutta vain kansallisen tutkimuksen korkea taso mahdollistaa kasvavan osallistumiseen kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön. Etenkin kokeelliset ympäristöt ovat kalliita ja huolimatta merkittävästä kotimaisesta lähi-vuosien panostuksesta osallistuminen kansainvälisiin kehityshankkeisiin ja kansainvälisen infrastruktuurin hyödyntäminen on välttämätöntä kotimaisen toiminnan korkean tason säilyttämiseksi.

SAFIR2018:n tutkimuksellisen sisällön ja hallinnon suunnittelussa on huomioitu TEMin tilaama kevään 2014 aikana toteutettu SAFIR2014-tutkimusohjelman kansainvälinen arviointi [3] sekä muita ohjelman sisällä tehtyjä selvityksiä ja arviointoja. Samoin ydinenergia-alan tutkimusstrategian [5] ja kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportin [4] suositukset on otettu huomioon.

SAFIR2018:n hallinnollinen rakenne poikkeaa merkittävästi SAFIR2014:n rakenteesta. Tavoitteena on ollut hallinnollisen työn tehostaminen ja vähentäminen projekteissa sekä projekteja ohjaavissa ryhmissä. Vastaavasti projektien poikkitieteellisyttä ja sisällöllistä ohjausta on haluttu vahvistaa. Ohjelman toimintamalli koostuu johtoryhmästä ja sen alla toimivasta kolmesta tutkimusalueen ohjausryhmästä. Kukin projekti liitetään sen sisällölliseen ja tieteelliseen ohjaukseen keskittyvään tukiryhmään, jonka aihepiiri voi liittyä yhteen tai useampaan tutkimusalueeseen. Uusi rakenne ja toimintamalli vähentävät sinänsä välttämättömien hallinnollisten kokousten lukumäärää ja myös projektien raportointijaksoja on pidennetty.

SAFIR2018-ohjelmaan suunniteltu tutkimus on ryhmitelty kolmeen tutkimusalueeseen: kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta, reaktoriturvallisuus sekä rakenteellinen turvallisuus ja materiaalit.

Kokonaisturvallisuus ja suunnittelun hallinta muodostaa laaja-alaisen ja poikkitieteellisen tutkimuskokonaisuuden, joka vaatii entistä parempaa yhteistyötä tutkimusorganisaatioilta ja muilta ydinvoima-alan toimijoilta. Keskeisiä tutkimusaiheita ovat toimintojen ja tekniikan alojen rajapinnat sekä laitoksen kokonaisuuden kannalta merkittävät aiheet, kuten suunnitteluperusteet sekä ihmisten ja organisaatioiden toiminta. Uudet tekniset ratkaisut vaativat myös uudenlaisia menetelmiä järjestelmien käyttäytymisen ja turvallisuuden arvioimiseksi.

Reaktoriturvallisuuden alueella keskeinen tavoite on varmistaa, että Suomessa on koelaitteistoja ja kelpuutettuja laskentamenetelmiä sekä niiden käytön hallitsevaa henkilöstöä. Menetelmien on muodostettava kokonaisuus, jolla viranomainen voi riippumattomasti arvioida laitostoimittajan ja luvanhaltijan esityksiä. Laitteistojen ja ohjelmistojen käytön osaamisen ylläpito ja kehittäminen vaatii myös jatkuvuutta.

Rakenteellisen turvallisuuden ja materiaalien tutkimuksen tavoitteena on Suomen ydinvoimalaitosten luotettavaa pitkäaikaista käyttöä tukevan tutkimustiedon lisääminen erityisesti leviämisseiden eheyteen liittyvissä asioissa sekä turvallisuustoimintojen luotettavuuteen vaikuttavissa materiaalikysymyksissä. Tutkimus kohdistuu käytössä olevien laitteiden ja rakenteiden ikääntymisilmiöihin ja niiden etenemisen oikea-aikaiseen hallintaan. Tietoa hyödynnetään korvattavien laitososien uusinnan suunnittelussa ja valmistuksessa. Tärkeitä ovat myös uusien ja rakenteilla olevien ydinvoimalaitosten materiaali-, valmistus- ja rakennetekniset kysymykset, joiden hallinnalla varmistetaan uusien laitosten asianmukainen toteutus ja tuleva käytönaikainen luotettavuus.

Tutkimusohjelman runkosuunnitelman tekemiseen ovat osallistuneet aktiivisesti TEMin nimeämä 19 hengen suunnitteluryhmä, SAFIR2014-ohjelman tukiryhmien puheenjohtajat ja lisäksi useita muita asiantuntijoita. Edustettuina ovat olleet työ- ja

elinkeinoministeriö (TEM), Säteilyturvakeskus (STUK), Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus (Tekes), Fennovoima Oy, Fortum, Teollisuuden Voima Oyj (TVO), Aalto-yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja VTT. Suunnitteluun osallistuneet organisaatiot edustavat tulosten loppukäyttäjiä ja tutkimusosapuolia.

Runkosuunnitelma esittelee hanke-esitysten tekijöille aihepiirit, joista toivotaan projekteja tutkimusohjelmaan sekä välittää suunnitteluryhmän näkemyksen aihepiirien keskeisistä ongelmista ja tutkimustarpeista. Uusi tutkimusohjelma muotoutuu sen mukaisesti, mistä aiheista ja kuinka hyviä hanke-esityksiä ohjelmaan tehdään. Uutena muotona ohjelmassa ovat johtoryhmän vuosittain tilaamat nopeat selvityshankkeet aihepiireistä, joista ei ole käynnistynyt projektia.

Runkosuunnitelman aihealueet ja tutkimustarpeet perustuvat suunnitteluryhmän tietämykseen kesäkuussa 2014. SAFIR2018-tutkimusohjelmassa otetaan huomioon toimintaympäristössä ohjelman aikana tapahtuvat muutokset ja ohjelman aikana voidaan käynnistää sen tavoitteita tukevia hankkeita myös uusista aihepiireistä.

Viitteet

Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimus 2011-2014. Uuden tutkimusohjelman SAFIR2014 runkosuunnitelma. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 49/2010.

K. Simola (ed.) SAFIR2014, The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2011-2014. Interim report. VTT Technology 80, 2013.

Evaluation of the Finnish Nuclear Safety Research Programme “SAFIR2014”. Publications of the Ministry of Employment and the Economy, Nuclear Waste Management Fund, TEM 2014.

Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 2/2012.

Ydinenergia-alan tutkimusstrategia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 16/2014.

SAFIR2018-ohjelman valmistautumishanke ADMIRE2018, päätös Dnro SAFIR 47/2014. Valtion ydinjätehuoltorahasto.

Suunnitteluryhmän perustaminen, sähköposti 25.3.2014 (Jorma Aurela).

Tekijät Författare Authors		Julkaisuaika Publiceringstid Date	
Planeringsgruppen för SAFIR2018		September 2014	
Ordförande Marja-Leena Järvinen Sekreterare Jari Hämäläinen		Toimeksiantaja(t) Uppdragsgivare Commissioned by Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy	
		Toimielimen asettamispäivä Organets tillsättningsdatum Date of appointment 18.2.2014	
Julkaisun nimi Titel Title			
Nationell forskning i kärnkraftverkens säkerhet 2015–2018. Stomplan för det nya forskningsprogrammet SAFIR2018 med tanke på projektansökan			
Tiivistelmä Referat Abstract			
Av ett land som använder kärnenergi krävs en tillräcklig infrastruktur, som täcker såväl anläggningarnas drifts- och myndighetstillsynsorganisationer som utbildningen och forskningen i branschen. Principen för de offentliga programmen för forskning i kärnsäkerhet är att de skapar förutsättningar för att bevara den kunskap som behövs för att en säker och ekonomisk användning av kärnkraften ska kunna fortgå, för att utveckla ny kunskap och för att delta i internationellt samarbete. De organisationer som bedriver forskning inom sektorn i Finland har varit en viktig resurs, som de olika ministerierna, Strålsäkerhetscentralen (STUK) och kraftbolagen har kunnat utnyttja också under programmet SAFIR2014 som avslutas år 2014. På uppdrag av arbets- och näringsministeriet utnämndes i februari 2014 en grupp, som fick till huvuduppgift att planera innehållet i ett nytt program. I denna rapport finns ett förslag till stomplan för detta program med arbetsnamnet SAFIR2018 (SAfety of nuclear power plants – Finnish national Research programme). Planen har gjorts för åren 2015–2018, men den grundar sig också på utmaningar för säkerheten som har identifierats för en längre tid. Vid planeringen har projektet för byggande av kärnkraftverksenheten Olkiluoto 3 och de principbeslut som riksdagen fastställde sommaren 2010 beaktats. De utmaningar som de gamla och de nya anläggningarna innebär för säkerheten och de forskningsbehov som följer av detta är emellertid till största delen samstämmiga. Stomplanen grundar sig på kapitel 7 a i kärnenergilagen, vilket trädde i kraft år 2004. Byggandet av nya anläggningar ökar behovet av sakkunniga inom denna sektor i Finland. Samtidigt går också allt flera av de nuvarande sakkunniga i pension. Tillsammans ökar dessa två faktorer behovet av utbildning, och där är en aktiv forskningsverksamhet av väsentlig betydelse. Situationen medför också en stor utmaning då det gäller att upprätthålla säkerhetsforskningen på lång sikt. I stomplanen har man försökt definiera de viktigaste forskningsbehoven på tre forskningsområden och åtta temaområden. Forskningsprojekten på dessa områden och områdenas gemensamma tvärvetenskapliga projekt utgör den tekniskvetenskapliga huvuduppgiften för programmet. Programmet måste upprätthålla kunskande också på de områden där inga stora ändringar sker, men där en alert forskning är en ovillkorlig förutsättning för att kärnkraften ska kunna användas tryggt. Också nya överraskande problem kan sätta igång forskning. Stomplanen skapar en grund för beredning av mera exakta årsplaner och de forskningsframställningar som behövs för dem. Snabba precisionsprojekt, projekt som pågår under hela forskningsprogrammet, samt ett mycket långsiktigt utvecklingsarbete lämpar sig att flexibelt tas med i programmet. För kärnsäkerhetsforskningen krävs att man kan samla de nationella resurserna och hantera helheten. Forskningsprogrammet ska fungera som en effektiv förmedlare av kunskap till alla organisationer inom branschen och som ett öppet diskussionsforum vid deltagandet i internationella projekt, allokeringen av resurser och planeringen av nya projekt.			
Kontaktperson vid ANM: Energiavdelningen/Jorma Aurela, tfn 050 5922109			
Asiasanat Nyckelord Key words			
kärnenergi, forskning, kärnsäkerhet			
Painettu julkaisu Inbunden publikation Printed publication		Verkkojulkaisu Nätpublikation Web publication	
ISSN	ISBN	ISSN 1797-3562	ISBN 978-952-227-877-7
Kokonaissivumäärä Sidoantal Pages		Kieli Språk Language	
78		Suomi, Finska, Finnish	
Julkaisija Utgivare Published by			
Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy		Vain sähköinen julkaisu Endast som elektronisk publikation Published in electronic format only	

Tekijät Författare Authors		Julkaisuaika Publiceringstid Date	
SAFIR2018 Working Group Chairperson Marja-Leena Järvinen Secretary Jari Hämäläinen		September 2014	
		Toimeksiantaja(t) Uppdragsgivare Commissioned by	
		Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy	
		Toimielimen asettamispäivä Organets tillsättningsdatum Date of appointment	
		18 February 2014	
Julkaisun nimi Titel Title			
National Nuclear Power Plant Safety Research 2015–2018. SAFIR2018 Framework Plan			
Tiivistelmä Referat Abstract			
A country utilising nuclear energy is presumed to possess a sufficient infrastructure to cover the education and research in this field, besides the operating organisations of the plants and a regulatory body. The starting point of public nuclear safety research programmes is that they provide the necessary conditions for retaining the knowledge needed for ensuring the continuance of safe and economic use of nuclear power, for development of new know-how and for participation in international cooperation. In fact, the Finnish organisations engaged in research in this sector have been an important resource which the various ministries, the Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) and the power companies have had at their disposal. Ministry of employment and the economy appointed a group to write the Framework Plan of the new programme. This report contains a proposal for the general outline of the programme, entitled as SAFIR2018 (SAfety of Nuclear Power Plants – FInnish National Research Programme). The plan has been made for the period 2015–2018, but it is based on safety challenges identified for a longer time span as well. Olkiluoto 3, the new nuclear power plant unit under construction and new decisions-in-principle has also been taken into account in the plan. The safety challenges set by the existing plants and the new projects, as well as the ensuing research needs do, however, converge to a great extent. The research programme is strongly based on the Chapter 7a of the Finnish Nuclear Energy Act. The construction of new power plants unit will increase the need for experts in the field in Finland. At the same time, the retirement of the existing experts is continuing. These factors together will call for more education and training, in which active research activities play a key role. This situation also makes long-term safety research face a great challenge. The Framework Plan aims to define the important research needs related to the safety challenges. The research into these needs is the programme’s main techno-scientific task. The programme is also to upkeep know-how in those areas where no significant changes occur but in which dynamic research activities are the absolute precondition for safe use of nuclear power.			
MEE contact: Energy Department/Jorma Aurela, tel +358 50 5922109			
Asiasanat Nyckelord Key words			
Nuclear energy, research, nuclear safety			
Painettu julkaisu Inbunden publikation Printed publication		Verkkojulkaisu Nätpublikation Web publication	
ISSN	ISBN	ISSN 1797-3562	ISBN 978-952-227-877-7
Kokonaissivumäärä Sidoantal Pages		Kieli Språk Language	
78		Suomi, Finska, Finnish	
Julkaisija Utgivare Published by			
Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy		Vain sähköinen julkaisu Endast som elektronisk publikation Published in electronic format only	

Kansallinen ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimus 2015–2018

Uuden tutkimusohjelman SAFIR2018 runkosuunnitelma hankehakua varten

Työ- ja elinkeinoministeriön toimeksianto nimesi helmikuussa 2014 ryhmän, jonka päätehtävänä oli suunnitella uuden tutkimusohjelman sisältö. Tässä raportissa on ehdotus tämän työnimellä SAFIR2018 (SAfety of Nuclear Power Plants – Finnish National Research Program) kulkevan ohjelman runkosuunnitelmaksi. Suunnitelma on tehty vuosille 2015–2018, mutta se perustuu myös pidemmälle aikajänteelle tunnistettuihin turvallisuushaasteisiin. Suunnittelussa on otettu huomioon Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikön rakentamisprojekti ja kesällä 2010 eduskunnassa vahvistetut periaatepäätökset. Vanhojen ja uusien laitoksien asettamat turvallisuushaasteet ja tästä seuraavat tutkimustarpeet ovat kuitenkin suurimmalta osin yhtenevät. Runkosuunnitelma perustuu vuonna 2004 voimaan tulleeseen ydinenergialain lukuun 7a.

Sähköinen julkaisu
ISSN 1797-3562
ISBN 978-952-227-877-7



TYÖ- JA ELINKEINOMINISTERIÖ
ARBETS- OCH NÄRINGSMINISTERIET
MINISTRY OF EMPLOYMENT AND THE ECONOMY