

Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportti

Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu
Energia ja ilmasto
2/2012



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

Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyoöryhmän raportti

Tekijät Författare Authors Osaamistyöryhmä (OTR) Puheenjohtaja Riku Huttunen Sihteerit: Jorma Aurela, Eriika Melkas 3/2011 asti ja 3/2011 lähtien Jaana Avolahti	Julkaisuaika Publiceringstid Date Maaliskuu 2012 Toimeksiantaja(t) Uppdragsgivare Commissioned by Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy Toimielimen asettamispäivä Organets tillsättningsdatum Date of appointment 27.10.2010
Julkaisun nimi Titel Title Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportti	
Tiivistelmä Referat Abstract Työ- ja elinkeinoministeriö asetti lokakuussa 2010 työryhmän kartoittamaan ydinenergia-alan pitkän aikavälin osaamistarpeita. Selvitystyö toteutettiin ydinenergia-alaa laajasti edustaneella asiantuntijajoukolla. Keskeinen johtopäätös oli korkeatasoisen ja kattavan kansallisen osaamisen tarve niin alan yhtiöissä, tutkimuslaitoksissa kuin viranomaistenkin osalta. Asiantuntijoiden koulutus ja alan tutkimustoiminta edellyttävät pitkäjänteistä panostusta ja yhteistyötä sekä kotimaisten toimijoiden kesken että kansainvälisesti. Ydinenergia-alan asiantuntemuksen tarve Suomessa on kasvava. Käytössä olevat ydinvoimalaitosyksiköt sekä rakenteilla oleva Olkiluoto 3 -yksikkö tarvitsevat jatkuvasti osaavaa työvoimaa. Posivalla tulee olla valmius käytetyn polttoaineen loppusijoituksen aloittamiseen vuonna 2020. Erityisesti asiantuntijoiden tarvetta lisäävät uudet ydinvoimahankkeet, TVO:n Olkiluoto 4 ja Fennovoiman ydinvoimalaitos, jotka saivat valtioneuvoston myönteisen periaatepäätöksen vuonna 2010. Vahvistaessaan periaatepäätökset 1.7.2010 eduskunta edellytti lausumassaan, että hallitus luo osaltaan edellytyksiä suomalaisen työvoiman, osaamisen ja yrityskentän mahdollisimman laajalle hyödyntämiselle ydinvoimahankkeissa. Asettamiskirjeessä 27.10.2010 Osaamistyöryhmälle annettiin seuraavat tehtävät: 1) selvittää ydinvoima-alan toimijoiden nykyiset henkilöresurssit, 2) kartoittaa laajasti suomalaisen perus-, jatko- ja täydennyskoulutuksen tarve, 3) selvittää suomalaisen osallistumisen mahdollisuudet tulevaisuudessa suurissa ydinlaitoshankkeissa, 4) kartoittaa ydinvoima-alan toimijoiden käytössä oleva tutkimusinfrastruktuuri, 5) kartoittaa Suomen osallistuminen kansainväliseen tutkimustyöhön ja 6) käydä läpi VTT:n tutkimusreaktorin tilanne. Työ toteutettiin kuudessa jaostossa, jotka myös vastasivat raportin tekstistä. Tausta-aineiston saamiseksi toteutettiin kysely, joka lähetettiin noin 300 alan organisaatioon. Kyselyn tulokset on esitelty laajasti tässä raportissa, joka julkaistaan sekä suomeksi että englanniksi. Työryhmässä olivat edustettuina TEM, YM, STM, OKM, STUK, VTT, Aalto-yliopisto, Jyväskylän, Oulun ja Helsingin yliopistot sekä Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Voimayhtiöistä edustettuina olivat Fennovoima, Fortum ja TVO sekä Posiva. Eri jaostojen työhön osallistuivat lisäksi useat muut organisaatiot ja raportin kirjoittamisprosessiin on osallistunut yli 150 henkeä. Raportissa on esitetty kattava joukko suosituksia ydinenergia-alan osaamisen kehittämiseksi pitkällä aikavälillä. Työ- ja elinkeinoministeriön yhdyshenkilö: Energiaosasto/Jorma Aurela, puh. 010 6064832	
Asiasanat Nyckelord Key words ydinenergia, osaaminen	
ISSN 1797-3562	ISBN 978-952-227-624-7
Kokonaissivumäärä Sidoantal Pages 273	Kieli Språk Language Suomi, Finska, Finnish Hinta Pris Price 38 €
Julkaisija Utgivare Published by Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy	Kustantaja Förläggare Sold by Edita Publishing Oy / Ab / Ltd

Esipuhe

Eduskunta vahvisti 1.7.2010 valtioneuvoston uusia ydinlaitoshankkeita koskevat myönteiset periaatepäätökset. Tässä yhteydessä antamassaan lausumassa eduskunta edellytti, että hallitus luo osaltaan edellytyksiä suomalaisen työvoiman, osaamisen ja yrityskentän mahdollisimman laajalle hyödyntämiselle ydinvoimahankkeissa.

Ydinlaitosten turvallinen ja luotettava käyttö edellyttää ylipäänsä vankan osaamispohjan ylläpitämistä ja kehittämistä. Ydinenergia-alan erityisluonteen vuoksi kattava kansallinen asiantuntemus on välttämätöntä. Japanin luonnononnettomuuksia maaliskuussa 2011 seurannut Fukushima Dai-ichin ydinvoimalaitosonnettomuus muistutti osaltaan alan asiantuntemuksen ja vahvan turvallisuuskulttuurin tarpeesta.

Työ- ja elinkeinoministeriö asetti 27.10.2010 työryhmän valmistelemaan ydinvoima-alan osaamista varmistavia toimenpiteitä. Työryhmän tehtävänä oli

- selvittää ydinvoima-alan toimijoiden nykyiset henkilöresurssit
- kartoittaa laajasti suomalaisen perus-, jatko- ja täydennyskoulutuksen tarve
- selvittää suomalaisen osallistumisen mahdollisuudet tulevaisuudessa suurissa ydinlaitoshankkeissa
- kartoittaa ydinvoima-alan toimijoiden käytössä oleva tutkimusinfrastruktuuri
- kartoittaa Suomen osallistuminen kansainväliseen tutkimustyöhön
- käydä läpi VTT:n tutkimusreaktorin tilanne.

Työryhmän tuli lisäksi antaa tehtyjen kartoitusten perusteella suosituksia toteutettaviksi toimenpiteiksi 2020-luvulle asti.

Työryhmään kutsuttiin jäseniksi ministeriöiden, Säteilyturvakeskuksen, yliopistojen ja tutkimuslaitosten sekä alan yhtiöiden edustajia. Työryhmän puheenjohtajaksi nimettiin teollisuusneuvos Riku Huttunen työ- ja elinkeinoministeriöstä (1.8.2011 alkaen Energiamarkkinaviraston ylijohtaja), sen pääsihteerinä toimi yli-insinööri Jorma Aurela ja pöytäkirjasihteereinä toimivat neuvotteleva virkamies Jaana Avolahti ja ylitarkastaja Eriika Melkas työ- ja elinkeinoministeriöstä. Työryhmän alla toimi kuusi työryhmän tehtävien mukaan muodostettua jaostoa. Työryhmän ja jaostojen työhön kutsuttiin mukaan laaja joukko muitakin asiantuntijoita. Jäsenet ja työhön osallistuneet asiantuntijat on lueteltu liitteessä 1. Työryhmä kuuli erikseen asiantuntijana Säteilyturvakeskuksen pääjohtaja Jukka Laaksosta.

Työryhmä toimi hyvässä talkoohengessä ja myös raportin kirjoitusvastuu jakaantui laajalle, mistä työstä kiitos koko asiantuntijajoukolle. Jaostoja ja raportin eri osien laatimista vetäneet Jarmo Ala-Heikkilä, Juhani Hyvärinen, Heikki Purhonen, Eija Karita Puska, Jorma Aurela ja Jaana Avolahti ansaitsevat erityiskiitoksen.

RIKU HUTTUNEN
Työryhmän puheenjohtaja

Sisältö

Esipuhe.....	5
1 Johdanto.....	11
1.1 Ydinenergia-alan yleinen tilanne.....	11
1.2 Työryhmän työn tavoitteet ja työn toteutustapa.....	14
1.3 Tehdyn kyselyn esittely ja tavoitteet	16
1.4 Kyselyn osien esittely.....	16
2 Ydinenergia-alan henkilöstöresurssit vuonna 2010	18
2.1 Energia-alan työllisyysrakenne ja työllisten määrä 2005–2025	18
2.2 Ydinenergia-alan nykyinen henkilöstö.....	19
2.3 Ydinenergia-alan nykyhenkilöstö kokemusvuosittain ja ikävuosittain	25
2.4 Ydinenergia-alan nykyhenkilöstö osaamisalueittain.....	27
2.5 Ydinenergia-alan tulevaisuuden henkilöstötarpeet	30
2.5.1 Ydinenergia-alan kokonaishenkilöstötarve	30
2.5.2 Henkilöstötarpeet alueittain ja peruskoulutustasoinnain	31
2.5.3 Voimayhtiöiden, viranomaisten ja tutkimuslaitosten sekä yliopistojen henkilöstötarpeet	35
2.6 Tiivistelmä ja johtopäätöksiä.....	38
3 Koulutus.....	41
3.1 Koulutusjärjestelmän rakenne Suomessa.....	41
3.1.1 Koulutuspoliittiset linjaukset vuoteen 2016.....	44
3.2 Viranomaisvaatimukset henkilöstölle.....	45
3.3 Korkea-asteen perustutkinnot yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa	46
3.3.1 Yleistä	46
3.3.2 Ydinenergiaan liittyvät erikoisalot yliopistoissa	50
3.3.3 Ydinenergia-alan koulutus sivuaineena.....	51
3.4 Tieteelliset jatko-opinnot.....	52
3.5 Korkeakoulujen tarjoama täydennyskoulutus	55
3.5.1 Säteilysuojelukoulutus	56
3.5.2 Turva-alan koulutus	58
3.6 Organisaatioiden henkilöstön koulutus.....	59
3.6.1 Kansallinen ydinturvallisuuskurssi (YK-kurssi).....	61
3.6.2 Kansallinen ydinjätehuollon kurssi (YJH-kurssi).....	62
3.7 Alan kouluttajaresurssit ja kouluttajatarpeet.....	62
3.8 Johtopäätökset ja suositukset.....	64

4	Tutkimus Suomessa.....	67
4.1	Kansalliset tutkimusohjelmat.....	67
4.1.1	Kansallinen reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelma (SAFIR-ohjelmat)	67
4.1.2	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT).....	72
4.1.3	Fuusiotutkimus Suomessa osana kansainvälistä kokonaisuutta.....	74
4.1.4	Uuden sukupolven reaktoreiden tutkimusohjelma.....	75
4.2	Tutkimus yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa	76
4.2.1	Lappeenrannan teknillinen yliopisto	76
4.2.2	Aalto-yliopisto.....	77
4.2.3	Helsingin yliopisto	78
4.2.4	Jyväskylän yliopisto.....	79
4.2.6	Säteilyturvakeskuksen tutkimustoiminta.....	80
4.2.7	VTT:n tutkimustoiminta kansallisten ohjelmien ulkopuolella	82
4.3	Tutkimus voimayhtiöissä ja Posivassa.....	85
4.3.1	Tutkimustoiminta Fennovoimassa	85
4.3.2	Ydinvoimatutkimus Fortumissa	85
4.3.3	Tutkimustoiminta Teollisuuden Voima Oyj:ssä.....	86
4.3.4	Tutkimustoiminta Posivassa.....	89
4.4	Tutkimusrahoitus	92
4.5	Fukushiman onnettomuuden vaikutukset tutkimukseen.....	95
4.6	Johtopäätöksiä ja suosituksia	96
5	Tutkimusinfrastruktuuri.....	99
5.1	Koelaitteet ja -laitteistot sekä ohjelmistot.....	99
5.1.1	Reaktorifysiikka ja -dynamiikka.....	100
5.1.2	Polttoainetutkimus.....	101
5.1.3	Termohydrauliikka	105
5.1.4	Reaktoripiirin rakenteiden ja materiaalien tutkimus.....	110
5.1.5	Radiokemia.....	113
5.1.6	Rakenteiden tutkimus.....	114
5.1.7	Fissiotuotteiden käyttäytyminen onnettomuustilanteissa.....	117
5.1.8	Todennäköisyyspohjaiset riskianalyysit (PRA).....	119
5.1.9	Ydinjätetutkimuksen infrastruktuuri.....	120
5.1.10	Ihminen ja organisaatio	128
5.1.11	Automaatioon ja tietotekniikkaan liittyvä tarkastustoiminta.....	129
5.2	Valmiustoiminta, säteilysuojelu	130
5.3	Testaus- ja tarkastuslaitokset	131
5.3.1	Säteilyturvakeskuksen dosimetrialaboratorio	131

5.4	Standardointityö, osaamisen kehittäminen.....	133
5.5	Suunnitteilla oleva kotimainen infrastruktuuri.....	134
5.5.1	Ydinturvallisuustalo	134
5.5.2	LUT.....	135
5.6	Käytettävissä oleva ulkomainen infrastruktuuri.....	137
5.7	Suosituksset	139
6	Suomen osallistuminen kansainväliseen tutkimustyöhön.....	140
6.1	Osallistumisen päämäärät ja laajuus	140
6.2	OECD/NEA-hankkeet.....	141
6.3	EU Euratom-hankkeet.....	144
6.4	Muut EU-hankkeet.....	147
6.5	NKS-hankkeet	147
6.6	IAEA-hankkeet	148
6.7	Muut kansainväliset hankkeet.....	149
6.8	Teknologia- ja tutkimusyhteisöt.....	150
6.8.1	Säteilysuojelu	150
6.8.2	Ydinjätehuolto.....	151
6.8.3	Ydinturvallisuus.....	152
6.9	Merkittävät organisaatioiden kahdenväliset sopimukset.....	153
6.10	Kansainvälisen tutkimusyhteistyön toimivuus ja kehitystarpeet.....	154
7	Suomalaisen teollisuuden osallistumismahdollisuudet tulevaisu- suurissa ydinvoimalaitoshankkeissa	156
7.1	Johdanto.....	156
7.2	Suurten ydinvoimalaitoshankkeiden luonne.....	156
7.3	Viranomaisen ja luvanhaltijoiden tarvitsemat asiantuntijapalvelut.....	158
7.4	Teollisuuden oma toiminta.....	159
7.4.1	FinNuclear ry	159
7.4.2	Teknologiateollisuus ry:n ydinenenergia-alan toimittajat -toimialaryhmä.....	162
7.4.3	Rakentaminen	163
7.5	Alueellisen elinkeinoelämän toiminta ydinvoimapaikkakunnilla	164
7.5.1	Pyhäjoki/Pohjois-Pohjanmaa/Pohjois-Suomi.....	164
7.5.2	Olkiluoto/Satakunta.....	164
7.5.3	Loviisa/Uusimaa	165
7.6	Johtopäätöksiä ja suosituksia	165
8	VTT:n tutkimusreaktorin (FIR 1) tilanne	167
8.1	Johdanto.....	167
8.2	Tutkimusreaktoriin nojautuva tutkimus ja tulevaisuuden näkymät.....	168
8.2.1	BNCT-tutkimus ja palvelu	168

8.2.2	Lääketieteellinen ja lääketieteellisen fysiikan opetus ja tutkimus.....	171
8.2.3	Tutkimusreaktorin rooli ydinenergia-alan osaamisen varmistamisessa ja koulutuskäytössä	172
8.4	Rahoituksen nykytilanne, kehittymisarviot ja monipuolistamistarpeet	173
8.5	Työryhmän suositukset.....	174
9	Keskeiset tulokset ja suositukset.....	176
Liite 1	Työryhmän kokoonpano.....	184
Liite 2	Kyselylomake.....	189
Liite 3	Oppilaitosten kuvaukset.....	199
Liite 4	Ydinenergia-alan henkilöstö.....	232
Liite 5	Ydinenergia-alan voimayhtiöt	240
Liite 6	Ydinenergia-alan viranomaiset.....	249
Liite 7	Ydinenergialan yliopistot ja tutkimuslaitokset	258
Liite 8	Lyhenneluettelo	266

1 Johdanto

1.1 Ydinenergia-alan yleinen tilanne

Suomessa on käynnissä tällä hetkellä neljä ydinvoimalaitosyksikköä ja yksi on rakenteilla. Lisäksi eduskunta vahvisti heinäkuussa 2010 valtioneuvoston periaatepäätökset koskien kahta uutta yksikköä. Fennovoima Oy:n laitospaikka Pyhäjoki on kokonaan uusi ydinvoimapaikkakunta. Posiva Oy:n käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen rakentamislupahakemus on määrä toimittaa työ- ja elinkeinoministeriölle 2012.

Suurin osa ydinvoima-alan tehtävistä on sellaisia, että sopivan teknisen tai luonnontieteellisen koulutuksen omaavat henkilöt voidaan täydennyskouluttaa ydinenergiaa käyttävien yhtiöiden ja muiden organisaatioiden toimesta tehtäviinsä. Tämä täydennyskoulutus ja pätevytyminen vievät kuitenkin tyypillisesti useita vuosia. Kaikkien ydinenergian ja ydinlaitosten parissa työskentelevien on myös saatava koulutusta turvallisuuskulttuurista ydinenergian käytössä oman asiantuntemusalueen ammattiosaamisen lisäksi. Tämä edellyttää tietynlaista huolellisuutta ja moraalista, jossa ydinturvallisuuden ymmärretään olevan tärkein asia myös normaalissa työskentelyssä. Työsuhteet ydinvoimalaitoksissa ovat käytännössä olleet pitkäaikaisia ja työviihtyvyys hyvä.

Ydinvoima-alan eräät alueet edellyttävät pitkää, jopa usean vuoden erityiskoulutusta korkeakoulututkinnonkin jälkeen. Tällaisia alueita ovat jotkin reaktorifysiikan ja termohydrauliikan alueet. Näissä osaaminen hankitaan usein osallistumalla tutkimustoimintaan ja myöhemmin siirtymällä muihin alan organisaatioihin. Erityisesti VTT:n, Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) ja Aalto-yliopiston panos on näillä alueilla merkittävä. On kuitenkin huomattava, että Suomessa on tänä päivänä vain kaksi ydintekniikkaspesifistä professuuria (Lappeenrannassa ja Espoon Otaniemessä) ja yksi radiokemian professuuri Helsingin yliopistossa.

Vuonna 2000 julkaisi kauppa- ja teollisuusministeriö raportin "Toimenpiteitä ydinenergia-alan tietämyksen säilyttämiseksi", jossa asiaa pohtinut työryhmä esitti toimenpiteitä alan osaamisen kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi. Ryhmä totesi, että yleisesti ottaen asiantuntemuksen taso sekä palveluiden saatavuus olivat vähintäänkin tyydyttävällä tasolla. Ryhmä kuitenkin huomautti, että monilla alueilla resurssipohja oli varsin kapea. Ryhmä piti tärkeänä kansallisen ydinturvallisuustutkimuksen jatkamista, koulutuksen kehittämistä ja erityisesti kansainväliseen koulutukseen ja tutkimukseen osallistumista. Tutkimuksessa laskettiin, että Suomessa olisi ollut vuonna 2000 noin 500 ydinturvallisuusalan asiantuntijaa.

Vuosien 2000–2001 käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitoksen periaatepäätös ja vuotta myöhemmin eduskunnassa hyväksytty viidennen ydinvoimalaitosyksikön rakentamisen periaatepäätös muuttivat voimakkaasti edellä kuvattua tilannetta.

Pätevän työvoiman tarve kasvoi voimakkaasti, mutta toisaalta alalla työskentelevien motivaatio ja alalle hakeutuminen kasvoivat myös. Vuonna 2005 KTM arvioi karkeasti, että alalla oli vuoden 2000 perusteellisempaa tutkimusta vastaavasti noin 700 asiantuntijaa.

Vuosien 2001–2002 ydinvoimapäätöksen jälkeen tiedostettiin alalla vahva täydennyskoulutuksen tarve erityisesti muutaman vuoden ydinvoimakokemuksen omaavien henkilöiden kohdalla. Vuonna 2004 STUK, TEM, LTKK (nykyinen LUT), TKK (nykyinen Aalto-yliopisto), VTT ja voimayhtiöt käynnistivät ns. YK-kurssin eli kansallisen ydinturvallisuuskurssin, johon haettiin malli kansainväliseltä atomienergiajärjestöltä IAEA:lta. Aluksi kuusiviikkoinen kurssi räätälöitiin suomalaisiin tarpeisiin ja sitä on kehitetty jatkuvasti vastaamaan alan viimeistä kehitystä.

Vuonna 2010 järjestettiin kahdeksas YK-kurssi ja nyt on kurssin läpikäynyt lähes 500 ydinvoima-alan osaajaa. Syksyllä 2011 alkoi yhdeksäs YK-kurssi. Kurssin järjestelyistä vastaa nykyisin Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Opetuksesta vastaa edelleen kaikista ydinalan organisaatiosta koottu lähes 100-henkinen parhaan asiantuntemuksen omaava opettajajoukko ilman erillistä korvausta. Myös ydinjätehuollon alueella on järjestetty vastaava kansallinen pilottikurssi.

Kuva 1.1. Kahdeksas YK-kurssi on alkamassa lokakuussa 2010. Eturivissä neljäs vasemmalta kurssin rehtori, professori Riitta Kyrki-Rajamäki. Muut kuvassa näkyvät ovat kurssin oppilaita tai opettajia. Vuoden 2012 Hevällä on jo yli 500 ihmistä käynyt YK-kurssin. (Kuva: Timo Mikkola)



Suomalaisen työvoiman laaja hyödyntäminen ydinvoimahankkeissa riippuu luvanhaltijan eli voimalaitoksen rakentavan yhtiön projektin rakenteesta ja järjestelyistä, osaavan työvoiman saatavuudesta sekä mahdollisten alihankintojen ja töiden houkuttelevuudesta teollisuudelle ja muille toimijoille. Suomalaisen yrityskentän aktivointi mahdollisimman aikaisessa vaiheessa edesauttaa sen mahdollisuuksia

osallistua hankkeisiin. Toisaalta on huomattava, että Euroopan unionin säännökset estävät valtiovallan toimesta tapahtuvan oman maan teollisuuden suosimisen sisämarkkinoilla. Lisäksi hankkeesta vastaava yhtiö tekee hankintoja koskevat päätökset. On luonnollisesti selvää, että suomalaisten lakien ja työmarkkinasääntöjen on toteuduttava kaikissa ydinvoimahankkeissa.

Suomalaisen teollisuuden aktivoinnista on vastannut FinNuclear-niminen useiden teollisuuden organisaatioiden yhdistys (rekisteröity yhdistys vuodesta 2010 lähtien), joka pyrkii kehittämään suomalaista ydinalan teollisuutta siten, että se pystyy osallistumaan uusiin ydinvoimahankkeisiin mahdollisimman tehokkaasti. FinNuclear-yhteenliittymän työn tekijöinä ovat Prizztech-kehitysyhtiön henkilöt.

Kaikki keskeiset ydinvoimateollisuuden toimijat ovat mukana FinNuclearin toiminnassa. Vuodesta 2010 on FinNuclear aloittanut suomalaiselle teollisuudelle räätälöidyt täydennyskoulutuskurssit, joilla valmistaudutaan mahdollisiin uusiin hankkeisiin. Edelleen ovat sekä nykyiset luvanhaltijat että FinNuclear järjestäneet useita tilaisuuksia mahdollisten ydinvoimalaitostoimittajien ja suomalaisen teollisuuden tapaamisiin.

Lisäksi on Teknologiateollisuus ry perustanut vuosina 2009–2010 ydinvoima-alan toimialaryhmän ”Ydinenergia-alan toimittajat”, jonka tehtävänä on edistää suomalaisen teollisuuden osaamista ydinvoimaprojekteissa. Yritysrhyhmässä on jo noin 70 osallistujaa.

Ydinenergiaa käyttävältä maalta edellytetään riittävää infrastruktuuria, joka kattaa laitosten käyttö- ja valvontaorganisaatioiden ja ydinjätehuollon lisäksi myös alan koulutuksen, tutkimuksen ja asiantuntijapalvelut. Olkiluoto 3:n ja mahdollisten uusien ydinvoimalaitosyksiköiden rakentaminen lisää Suomessa alan asiantuntijoiden tarvetta. Samaan aikaan myös nykyisten asiantuntijoiden eläkkeelle lähtö jatkuu, varsinkin neljän ensimmäisen suomalaisen ydinvoimalaitosyksikön suunnittelussa ja rakentamisessa mukana olleista. Kaikki tämä yhdessä lisää koulutus- ja tarvetta, missä aktiivisella ydinturvallisuuden tutkimustoiminnalla on oleellinen merkitys.

Ydinturvallisuuden soveltavan tyyppinen tutkimus edellyttää perustakseen alan perustutkimuksen jatkuvaa olemassa oloa ja kehittämistä. Sitä tehdään useissa yliopistoissa (LUT, Aalto, HY, JY) mm. Suomen Akatemian ja EU:n rahoituksilla sekä VTT:ssä ja Säteilyturvakeskuksessa.

Olennaista on myös osallistuminen kansainväliseen tutkimukseen alalla. Tärkeitä yhteistyötahoja ovat pohjoismainen ydinturvallisuusohjelma NKS, EU:n eli Euratomin fission tekniikan tutkimusohjelma, OECD:n ydinenergiajärjestön NEA:n ohjelmat sekä IAEA:n tutkimusohjelmat. Osin Olkiluoto 3 -hankkeenkin myötä on suomalaisilla ollut vahva asema ydinturvallisuusalan tutkimuksessa ja varsinkin eri maiden viranomaisten yhteistyössä.

Jo 1980-luvun lopussa käynnistettyjen koordinoitujen kansallisten ydinturvallisuustutkimusohjelmien lähtökohtana on, että ne luovat edellytyksiä ydinvoiman turvallisen käytön jatkumiselle ja ydinjätteiden käsittelyyn tarvittavan tietämyksen

säilymiselle, uuden tietämyksen kehittämiseksi ja kansainväliseen yhteistyöhön osallistumiselle. Kansallisia ohjelmia rahoittavat ydinenergia-alalla toimivat keskeiset organisaatiot. Valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) on toiminut vuoden 2004 alusta merkittävänä kansallisen ydinturvallisuustutkimuksen rahoittajatahona. Tuolloin voimaan tulleen ydinenergiain muutoksen mukaan rahastoon kerätään varoja kahteen rahaston muista varoista erillään pidettävään erillisvarallisuuteen. Varat kerätään voimayhtiöiltä ydinvoimatehon ja ydinjätehuoltovelvollisilta vastuumäärän mukaan. Kunakin vuonna jaettavissa olevin varoin rahoitetaan tutkimushankkeita, joiden muodostama hankekokonaisuus tukee varojen keräämisen tarkoitusta.

Ydinvoimayhtiöiden tai viranomaisten omat tutkimukset, jotka kuuluvat käyvien tai uusien laitosten ja ydinjätehuollon valvonnan tai luvituksen piiriin, on rajattu ydinenergiain perusteella tuettavien tutkimusohjelmien ulkopuolelle. Alan julkista tutkimusta harjoittavat organisaatiot ovat Suomessa muodostuneet tärkeäksi voimavaraksi, jota eri ministeriöt, Säteilyturvakeskus (STUK) ja voimayhtiöt ovat pystyneet hyödyntämään.

Vuonna 2011 käynnistyi SAFIR2014-nimellä (Safety of nuclear power plants – Finnish national Research programme) kulkeva ydinvoimalaitosten nelivuotinen tutkimusohjelma, joka seurasi aiempia vastaavia tutkimusohjelmia. SAFIR2014-ohjelman hankkeet voivat liittyä esimerkiksi ydinlaitosten ikääntymiseen, teknisiin uudistuksiin eri tekniikan alueilla sekä alueella tapahtuviin organisaatiomuutoksiin. Ohjelman on ylläpidettävä osaamista myös niillä alueilla, joilla ei suuria muutoksia ole, mutta joiden valpas tutkimustoiminta on ydinvoiman turvallisen käytön edellytys.

Vuonna 2011 käynnistyi myös uusi kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2014. Ohjelmassa rahoitetaan teknisluonnontieteellistä tutkimusta, jonka tarkoituksena on taata ja luoda niitä yleisiä perusvalmiuksia, joita maassamme tarvitaan ydinjätehuollon ratkaisuihin ja niiden toteutukseen. Keskeisenä osa-alueena ohjelmakokonaisuudessa ovat käytetyn polttoaineen geologisen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta edistävät tutkimukset ja nykyisen Posivan ohjelman vaihtoehtojen tutkimus.

Esimerkiksi SAFIR2014-ohjelman rahoitukseen vuonna 2011 rahastolla oli käytettävissään noin 5,2 miljoonaa euroa koko ohjelman rahoituksen ollessa noin 10 miljoonaa euroa ja KYT2014-ohjelman rahoitukseen vuonna 2011 rahastolla oli noin 1,7 miljoonaa euroa. KYT-ohjelman koko rahoituspohja oli vuonna 2011 noin 2,8 miljoonaa euroa. Hyväksytyillä ydinvoiman lisärakentamista koskevilla vuoden 2010 periaatepäätöksillä oli molemmilla noin miljoonan euron korottava vaikutus vuotuisen rahoitukseen.

1.2 Työryhmän työn tavoitteet ja työn toteutustapa

Ydinenergia-alan Osaamistyöryhmän taustalla on edellä kuvattu Suomessa voimakkaasti kymmenessä vuodessa lisääntynyt tarve ydinvoimaosaamiselle. Työn

taustana on myös eduskunnan vuoden 2010 ydinvoimalaitoshankkeille valtioneuvoston periaatepäätöksiä vahvistamisen yhteydessä esittämä lausuma, jossa edellytetään, että ”hallitus luo osaltaan edellytyksiä suomalaisen työvoiman, osaamisen ja yrityskehityksen mahdollisimman laajaksi hyödyntämiseksi ydinvoimahankkeissa”.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) asetti 27. lokakuuta 2010 työryhmän, jonka nimeksi vakiintui Ydinenergia-alan osaamistyöryhmä (lyhenne OTR). Sen tehtävänä oli arvioida Suomen tarvitsemia asiantuntijaresursseja tulevina vuosikymmeninä. Sen tuli luoda ydinvoima-alan osaamisen tilanne ja kartoittaa henkilöresurssien kehitystarpeet. Edelleen työryhmän tehtävänä on ollut arvioida suomalaisen ydinturvallisuustutkimuksen infrastruktuurin kehittämistarvetta sekä antaa suosituksia alueen toimijoille.

Työryhmä kuuluivat edustajat ydinenergia-alan työhön eniten osallistuvista ministeriöistä; työ- ja elinkeinoministeriö, ympäristöministeriö, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö ja opetus- ja kulttuuriministeriö. Työryhmän työhön osallistuivat keskeisesti Säteilyturvakeskuksen edustajat sekä tutkimuslaitoksista Teknologian tutkimuskeskus VTT ja yliopistoista Aalto-yliopisto, Jyväskylän, Oulun ja Helsingin yliopistot sekä Lappeenrantaan teknillinen yliopisto. Teollisuutta edustivat Fennovoima, Fortum, TVO, Posiva ja FinNuclear. Työryhmän puheenjohtajana toimi teollisuusneuvos Riku Huttunen TEM:stä (1.8.2011 alkaen Energiamarkkinaviraston ylijohtaja).

Työryhmä kokoontui yhdeksän kertaa. Työryhmän työ tehtiin kuitenkin pääasiassa työn alussa perustetuissa jaostoissa. Jaostojen tehtävät jakaantuivat seuraavasti. Mukana on myös raportin lukujen jyvitys eri jaostoille. Työryhmän puheenjohtaja vastasi luvusta 9. Suluissa jaostojen vetäjät:

- 1) tehtävä kysely ja saadun datan järjestäminen, luvut 1 ja 2 (Jorma Aurela)
- 2) kartoittaa laajasti suomalaisen perus-, jatko- ja täydennyskoulutuksen tarve, luku 3 (Jarmo Ala-Heikkilä)
- 3) selvittää suomalaisen osallistumisen mahdollisuudet tulevissa suurissa ydinlaitoshankkeissa, luku 7 (Juhani Hyvärinen)
- 4) kartoittaa ydinvoima-alan toimijoiden käytössä oleva tutkimusinfrastruktuuri, luku 5 (Heikki Purhonen)
- 5) kartoittaa Suomen osallistuminen kansainväliseen tutkimustyöhön ja kotimainen tutkimus, luvut 4 ja 6 (Eija Karita Puska)
- 6) käydä läpi VTT:n tutkimusreaktorin tilanne, luku 8 (Jaana Avolahti)

Työryhmän ja jaostojen kokoonpano on esitetty liitteessä 1. Siinä on myös esitetty jaostojen kokousten lukumäärät. Kokouksia oli 20. Kaiken kaikkiaan jaostojen työhön tai tämän raportin kirjoittamiseen osallistui noin 150 henkilöä. Raportin kirjoitus tapahtui pääosin jaostoissa, joskin tekstin harmonisointi suoritettiin koko työryhmän toimesta. Kussakin luvussa on esitetty jaostoissa tehtyjä suosituksia, mutta luvussa 9 on esitetty koko työryhmän tasolla tehdyt havainnot ja suositukset.

Työryhmän aikataulua jatkettiin alkuperäisestä (31.5.2011) ja työ jatkui koko syksyn 2011. Työn tuloksena syntynyt raportti käännetään myös englanniksi. Raportissa

olevista lyhenteistä on luettelo liitteenä 8, joskin jotkin lyhenteet on kirjoitettu auki niiden esiintymiskohdassa.

Kansainvälinen Atomiennergiajärjestö IAEA teki vuonna 2011 työohjelman Fukushiman onnettomuuden opetusten perusteella. Osaaminen on eräs tämän ohjelman pääkohteista nimellä Capacity Planning. Tämä raportti toimii Suomen itsearviointina kyseisessä ohjelmassa.

1.3 Tehdyn kyselyn esittely ja tavoitteet

Työryhmän työ edellytti ajan tasalla olevaa tietoa. Tämän vuoksi työryhmän työn eräs oleellinen osa oli toteuttaa kysely, jonka käytännön toteutuksesta vastasi Inno-link Research Oy.

Kyselyn kohderyhmiksi valittiin seuraavat organisaatiot:

- 1) keskeiset ydinvoima-alan toimijat eli Osaamistyöryhmän piiri täydennettyinä alla olevilla organisaatioilla (20 kpl)
- 2) yliopistot ja korkeakoulut (hieman yli 20 kpl)
- 3) voimayhtiöiden lähipiirin teollisuus (kymmeniä)
- 4) muu alan teollisuus (lopun, noin 200)

Kohderyhmään yksi siis kuuluvat varsinaisessa Osaamistyöryhmässä edustettuina olleet neljä ministeriötä, viisi yliopistoa, neljä voimayhtiötä sekä VTT ja STUK. Osaamistyöryhmän ulkopuolelta kohderyhmään yksi kuuluivat Tekes, Suomen Akatemia, FinNuclear ry sekä yrityksistä Platom, Pöyry ja ÅF-Consulting, kaikkiaan noin 20 organisaatiota.

Ryhmään 2 kuuluivat jaosto kahden valitsemat seitsemän yliopistoa ja 19 ammatikorkeakoulua. Ryhmään 3 kuuluivat lähinnä voimayhtiöiden toimittamat organisaatiot, joiden kanssa voimayhtiöillä on erilaista yhteistoimintaa tai liikesuhteita. Ryhmään 4 kuuluvat FinNuclearin postituslistalta poimitut osoitteet.

Ryhmäjoon mukaan konsultti kohdisti organisaatioihin erilaista ohjeistusta. Kaikista organisaatiosta määritettiin yhdyshenkilöt. Kaikkiaan kysely toimitettiin 299 eri osoitteeseen ja vastauksia saatiin 64, joten vastausprosentti oli 21,4 %. Pieni vastausprosentti selittyy sillä, että kysely oli hyvin laaja ja monet organisaatiot eivät tunnustaneet itseään siinä tai pitivät vastaamista liian vaikeana. Kohderyhmästä 1 saatiin vastaukset kaikilta organisaatioilta ja myös kohderyhmästä 2 tarkastettiin, oliko vastaus jätetty toimittamatta, koska asianomaisella oppilaitoksella ei ole toimintaa alalla. Myös kohderyhmälle 3 tehtiin jatkokysely. Kaikille kyselyn saaneille toimitetaan tämä raportti.

1.4 Kyselyn osien esittely

Kyselylomake on tämän raportin liitteenä 2. Kyselyn ensimmäisessä osassa kartoitettiin nykyiset henkilöresurssit siten, että asiantuntijoiden määrä määritettiin toisaalta koulutustaustan ja toisaalta ydinalan kokemusvuosien kautta. Asiantuntijuuden eri

alueet on kuvattu luvussa 2. Koulutustaustaksi määritettiin alalle sopiva ylempi korkeakoulututkinto, vastaava alempi korkeakoulututkinto tai toisen asteen ammatillinen tutkinto.

Toisessa osassa kartoitettiin vastaavalla asiantuntijataustalla organisaatioiden työvoiman tarve vuosina 2015, 2020 ja 2025. Tällöin organisaatioiden oli otettava huomioon myös henkilöstön poistuma eli esimerkiksi eläköityminen. Koko kyselyssä pyrittiin myös saamaan vapaita vastauksia ja kohdassa 3 kyseltiin myös, mitä muita kuin lomakkeessa esitettyjä asiantuntijoita organisaatiot voivat tulevaisuudessa tarvita.

Tutkimuksen neljäs osa kartoittaa suomalaisen tutkimusinfrastruktuurin ja tutkimuspanostukset. Sitä kysyttiin vain kohderyhmältä 1. Kysymykseen tulivat tutkimuslaitteistojen lisäksi erilaiset tietokannat ja ohjelmistot. Edelleen tässä osassa kartoitettiin eri organisaatioiden tutkimusrahoitus. Viides osa kartoittaa osallistumisen kansainväliseen tutkimukseen ja EU-hankkeisiin.

Tutkimuksen kuudennessa osassa selvitettiin koulutustarjontaa. Se jakaantui peruskoulutukseen, jatkokoulutukseen ja täydennyskoulutukseen ja kohdistui pääasiassa kohderyhmiin 1 ja 2, joskin organisaatioiden henkilöstön kehittämismenetelmiä kysyttiin myös kohderyhmiltä 3 ja 4. Tässä osassa selvitettiin paitsi meneillään oleva toiminta niin myös tulevat suunnitelmat. Lisäksi erillään saaduista tuloksista kysyttiin kyselyyn vastanneilta yliopistoilta ja AMK:eilta liitteen 3 mukaiset esitteilyt alalla toimivista yliopistoista ja oppilaitoksista.

2 Ydinenergia-alan henkilöstöresurssit vuonna 2010

Tässä luvussa esitetään yhteenveto osaamistyöryhmän teettämän kyselyn ydinenergia-alan henkilöstöä koskevista tuloksista. Liitteissä 4-6 esitetään vastaavat tulokset kolmelle ryhmälle: 1. Voimayhtiöt sekä Posiva 2. Viranomaiset 3. Yliopistot ja tutkimuslaitokset.

2.1 Energia-alan työllisyysrakenne ja työllisten määrä 2005–2025

Opetus- ja kulttuuriministeriön työryhmämuistio ja selvitys 2011:16 ”tasapainoiseen työllisyyskehitykseen 2025, ehdotus koulutustarjonnan tavoitteiksi 2016” raportti on selvittänyt ja arvioinut eri alojen työllisyysrakennetta ja työllisten määrää vuosien 2005–2025 välillä.

Ydinenergia-ala sisältyy raportin toimialoissa kohtaan ”energia, lämpö- ja vesihuolto”. Taulukko 2.1 osoittaa raportin arvion työllisyysrakenteesta eri aloilla Suomessa vuonna 2005.

Raportissa on arvioitu myös työllisten määrän kehittymistä toimialoittain vuosien 2005 ja 2025 välillä. Energia-, lämpö- ja vesihuoltoalojen työllisten määräksi on arvioitu vuonna 2005 15710 ja tarpeeksi vuonna 2025 12051 henkilöä. Raportin mukaan energia-alaa ei pidetä työvoimavaltaisena alana verrattuna esimerkiksi julkiseen hallintoon tai teollisuuteen.

Taulukko 2.1. Työllisten määrä toimialaryhmittäin vuonna 2005 ja eri skenarioissa vuonna 2025.

Toimialaryhmä	2005	2025 (PERUS)	2025 (TAVOITE)
Alkutuotanto	127183	108767	97154
Teollisuus	432985	305998	371783
Rakentaminen	164607	187319	189353
Rahoitus ja liike-elämän palvelut	289288	290564	353140
Julkinen hallinto ja maanpuolustus	175014	177909	145822
Koulutus	161306	170400	181009
Terveystieteiden palvelut	171312	241274	205152
Sosiaalipalvelut	181619	257332	232782
Muut yhteiskunnalliset ja henkilökohtaiset palvelut	126583	130522	136681
Kauppa, hotelli- ja ravintola-ala	382750	422279	437048
Liikenne ja tietoliikenne	170511	167960	182431
Energia, lämpö- ja vesihuolto	15710	11652	12051
Yhteensä	2398869	2471976	2544406

Lähde: OKM:n työryhmämuistio ja selvitys 2011:16

2.2 Ydinenergia-alan nykyinen henkilöstö

Osaamistyöryhmä kysyi Suomen ydinenergia-alan merkittävimmiltä toimijoilta heidän sellaisen henkilöstönsä, jolla on erityisosaamista ydinenergia-alalta, lukumäärää asiantuntija-aloittain. Kyselyn tulosten mukaan ydinenergia-alalla työskentelee tällä hetkellä noin 3300 henkilöä, joilla on alalta erityisosaamista. Tämä on noin viidesosa edellisessä kappaleessa mainitun OKM:n muistion energia-, lämpö- ja vesihuollon työllisten määrästä. Koska osaamistyöryhmän kysely ei ollut alihankkijoiden osalta täysin kattava, todellinen ydinenergia-alan henkilöstön määrä on korkeampi.

Ydinenergia-alalle on tunnusomaista jatkuva ydinturvallisuuden parantaminen ja siten valtaosa alan työtehtävistä on asiantuntijatyötä. Tästä johtuen korkeakoulututkinnon suorittaneiden osuus henkilöstöä on suuri. Taulukossa 2.2 on esitetty osaamistyöryhmän kyselyn tuloksiin perustuva Suomen koko ydinenergia-alan henkilöstön koulutusjakauma vuonna 2010. Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneita on noin puolet alan nykyisestä henkilöstöstä.

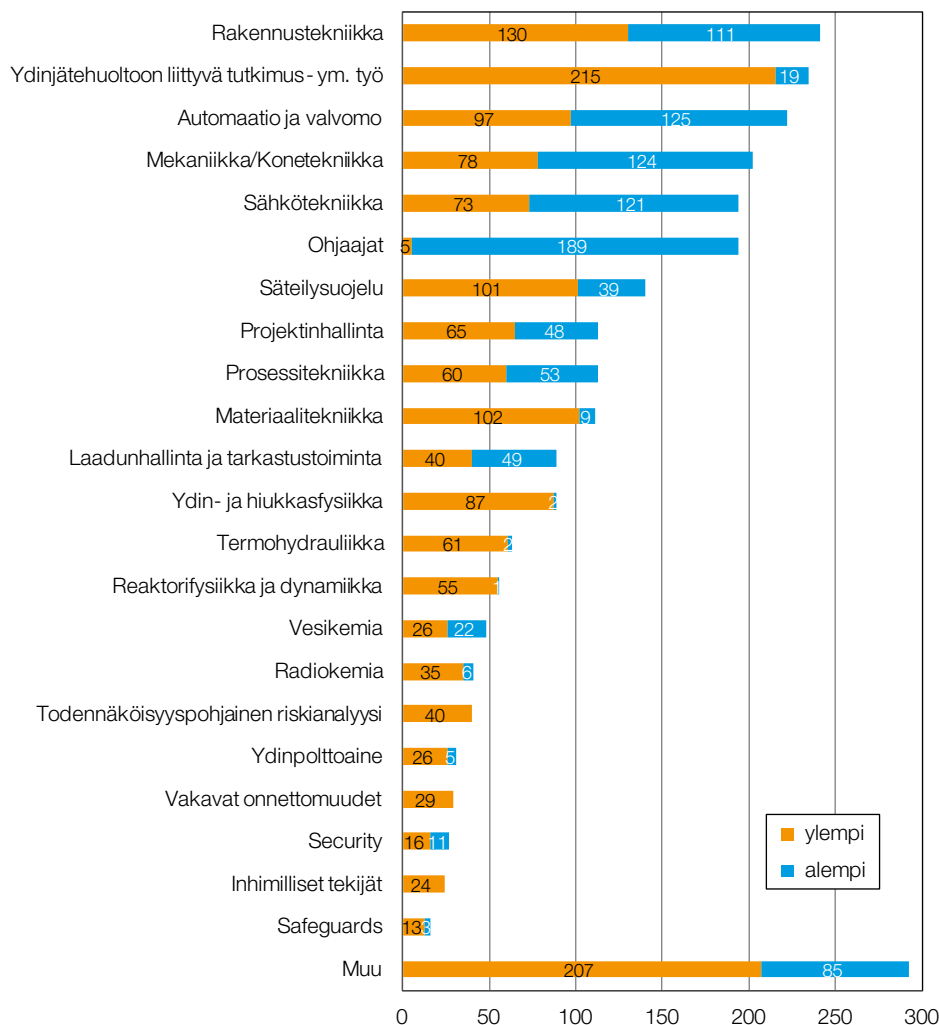
Taulukko 2.2. Ydinenergia-alan henkilöstön koulutustausta vuonna 2010. Lisensiaatit ja tohtorit eritelty ylemmistä korkeakoulututkinnoista.

Tutkinto	lukumäärä	
Ylempi korkeakoulu	1 585	
Lisensiaatti		55
Tohtori		232
Alempi korkeakoulu	1 024	
Toinen aste	676	
Yhteensä	3 285	

Tieteellisen jatkotutkinnon eli lisensiaatin tai tohtorin tutkinnon suorittaneita on ydinenergia-alalla 18% ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneista. Keskimäärin Suomessa valmistuu lisensiaatteja ja tohtoreita 14% ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneista (lähde OKM, KOTA-järjestelmä). Teknillistieteellisellä alalla luku on keskimäärin 15% ja luonnontieteellisellä 28%. Osaamistyöryhmän kyselyn perusteella ydinenergia-alan lisensiaateista ja tohtoreista noin viidesosa työskentelee viranomaistehtävissä, viidesosa voimayhtiöissä ja loput yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa.

Kuvassa 2.1 on esitetty korkeakoulututkinnon suorittaneiden sijoittuminen eri ydinenergia-alan asiantuntija-alueille. Kuten kuvasta nähdään, valtaosa tehtävistä vaatii teknillis- tai luonnontieteellisen peruskoulutuksen. Palkkiin muuta kuuluu tukitoimintoja, joita ovat esimerkiksi hankinnat, henkilöstöhallinto, koulutustehtävät ja dokumenttienhallinta.

Kuva 2.1. Ydinenergia-alan henkilöstön sijoittuminen eri asiantuntijatehtäviin. Kuvassa esitetty korkeakoulututkinnon suorittaneet.



Tässä selvityksessä ja kyselyssä tarkasteltiin resursseja alla kuvatulla 22:lla alueella. Alla selvennetään eri asiantuntija-alueiden tehtävien mahdollisia sisältöjä kyselyssä määriteltyjen alueiden tämän hetkisen henkilömäärän mukaisesti. Kuvaukset ovat esimerkinomaisia, sillä tehtävien sisältö vaihtelee toimijasta riippuen.

Rakennustekniikkaan kuuluvat rakennus- ja palotekniset suunnittelu-, rakennuttamis- sekä valvontatehtävät ja näihin liittyvät asiantuntijatehtävät. Tehtäviä on ydinlaitosten uudisrakentamisessa, korjausrakentamisessa ja kunnossapidossa sekä kiinteistönhallinnassa. Tärkeimpinä osaamisalueina voidaan pitää teräsbetoni- ja jänneteräsrakenteiden suunnittelun ja kunnossapidon osaamista, rakenteellista palosuojelua sekä infrarakentamista sisältäen kalliorakentamisen.

Ydinjätehuoltoon liittyvien tehtävien tavoitteena on varmistaa matala-, keski- ja korkea-aktiivisen ydinjätteen turvallinen ja taloudellinen käsittely voimalaitoksilla sekä vaatimusten mukainen ja pitkäaikaisturvallinen loppusijoitus. Työ edellyttää mm. jätteen syntyyn vaikuttavien tekijöiden, jätteen käsittely- ja varastointimenetelmien sekä loppusijoituspaikan soveltuvuuden arviointiin liittyvien tekijöiden ymmärtämistä rakentamisen, käytön ja pitkäaikaisturvallisuuden näkökulmista. Ydinjätteiden käsittelyn ja loppusijoituksen käytönaikainen osaaminen sisältää samankaltaista ydinturvallisuus- ja säteilysuojeluosaamista kuin ydinvoimalaitoksen käyttäjiltä edellytetään. Ydinjätehuollon tehtävät ovat poikkitieteellisiä ja alaan perehtyminen työtehtävien kautta on merkittävä osa asiantuntijuuden kehitystä.

Automaatio ja valvomo: Automaation tehtävänä on pitää voimalaitoksen prosessi hallinnassa automaattisilla toiminnoilla tai ohjaajien tekemin toimenpitein. Automaatiosuunnittelija saa prosessisuunnittelijoilta tehtäväksiantona toiminnot, joilla voimalaitosta halutaan hallita ja suunnittelee toimintojen toteutuksen automaatiojärjestelmissä. Automaatiosuunnittelijan tulee tietää voimalaitoksen toiminnasta monipuolisesti pystyäkseen varmistamaan järjestelmien oikean toiminnan.

Valvomosuunnittelijat suunnittelevat rajapinnan ihmisen ja koneen välille siten, että voimalaitoksen ohjaaja saa kaikissa tilanteissa riittävästi tietoa siitä, miten voimalaitoksen prosessi toimii ja ovatko laitoksen eri järjestelmät siinä tilassa, että ne kykenevät suorittamaan ohjaajan haluamia tehtäviä. Toiseen suuntaan valvomosuunnittelijat varmistavat, että ohjaajan tekemät ohjauskäskyt välittyvät koneelle tarvittaessa riittävän nopeasti. Valvomosuunnittelijan tulee tuntee sekä automaatiojärjestelmien että ihmisen käyttäytymistä eri olosuhteissa.

Mekaniikka /Konetekniikka, jolla tarkoitetaan mekaanisiin laitteisiin ja rakenteisiin liittyviä suunnittelutehtäviä. Pääosa voimalaitoksen konetekniikan suunnittelutehtävistä liittyy putkistojen, painesäiliöiden, laitteiden tukirakenteiden, kaapelihyllyjen ja huoltotasojen suunnitteluun. Tärkeimpiä osaamisalueita ovat koneensuunnittelu, konepiirustus, mekatroniikka, valmistus-, lujuus-, materiaali- ja tarkastustekniikka.

Sähkötekniikkaan kuuluvia tehtäviä on etenkin voimayhtiöissä laidasta laitaan. Kunnossapidossa, kunnonvalvonnassa ja sähkösuunnittelussa työskentelee asentajia ja työnjohtoa kaikilla jännitetasoilla aina 400 kV suurjännitteelle asti. Työskentelelyyn liittyy kiinteästi sähkötyöturvallisuus, josta koko henkilöstölinja on vastuussa. Sähköturvallisuuslain mukaan voimalaitoksilla on oltava myös sähkötöiden ja käytön johtajat. Heidän vastuullaan tehdään sähkötöitä ja johdetaan sähkölaitteiden käyttöä. Voimalaitoksilla on myös sähkö- ja automaatiotöille oma tarkastuslaitoksensa, joka tekee turvallisuusluokitelluille muutostöille luvanhaltijan käyttöönotto-tarkastukset. Lisäksi alalla työskentelee asiantuntijoita suunnittelutehtävissä, joissa laaditaan YVL-ohjeisiin perustuen mm. periaatesuunnitelmia, järjestelmämuutoksen nakkotarkastusaineistoja, soveltuvuusarvioita ja asennussuunnitelmia.

Ohjaajat, joilla tarkoitetaan ydinvoimalaitoksen päävalvomossa toimivan käytövuoron miehitystä, johon kuuluu normaalisti vähintään kolme YVL-ohjeiden mukaan pätevoityä ohjaajaa, joista yhdellä on hyväksyntä toimia vuoropäällikkönä

ja kahdella muulla hyväksyntä toimia muuna ohjaajana. Uudella ydinvoimalaitoksella tulee olla riittävä määrä viranomaishyväksyttyjä ohjaajia ennen kuin ydinpoltoaineen lataaminen reaktoriin voidaan aloittaa.

YVL 1.6 ohjeen mukaan ohjaajille tulee antaa perusteellinen laitoksen ja sen järjestelmien rakenteen, toiminnan ja käytön koulutus. Koulutuksessa painotetaan velvoitetta laitoksen käyttämiseksi turvallisuusteknisten käyttöehtojen ja käyttöohjeiden mukaisesti. Ohjaajien tulee omaksua eri käyttötilanteita varten sekä häiriö- ja onnettomuustilanteiden varalta riittävän laajat tiedot ja taidot laitoksen käyttäytymisestä, tilanteiden havainnoinnista ja ohjaustoimenpiteiden suorittamisesta. Ohjaajakoulutuksen tulee antaa hyvät valmiudet tehtävien edellyttämään ryhmätyöskentelyyn ja laitoksella tehtävien töiden hallinnolliseen ohjaamiseen ja valvontaan. Vuoropäälliköiden koulutuksessa huomioidaan johtamis- ja viestintätaitoja. Vuoropäälliköiden koulutus on laaja-alaisempaa kuin muiden ohjaajien.

Ohjaajien koulutus kestää ydinvoimalaitoksella useita vuosia ja heidän pätevyytään ja osaamista tarkkaillaan säännöllisesti tapahtuvilla arvioinneilla (kirjallinen koe, suullinen koe ja työtaidon osoitus).

Säteilyturvallisuus ja -suojelu, joihin kuuluvat radioaktiivisiin aineisiin ja niiden leviämiseen sekä säteilyltä suojaamiseen liittyvät tehtävät. Säteilyturvallisuuden ja -suojelun kannalta tärkeimmät tavoitteet ovat radioaktiivisten aineiden leviämisen estäminen, työntekijöiden säteilyaltistuksen pitäminen alhaisella tasolla sekä erilaisten laitteiden ja tilojen suojaaminen säteilyltä. Säteilyturvallisuuden painopiste on suunnittelussa ja erilaisten käyttöhäiriöiden sekä onnettomuustilanteiden mahdollisten vaikutusten selvittämisessä. Säteilysuojelun painopiste on puolestaan voimalaitoksen jokapäiväisessä toiminnassa ja työntekijöiden säteilyaltistuksen minimoimisessa sekä seurannassa.

Projektinhallinta, johon kuuluu projektien suunnittelu, toteutus ja seuranta sekä projektiin liittyvien riskien hallinta ja projektin laadunhallinta. Hallittavien projektien koko määrittää tarvittavien hallintamenettelyjen käytön. Laajoissa hankkeissa on usein osallistujia eri organisaatiosta. Ydinenergia-alalla projektinhallinta-tehtäviin kuuluu myös projektiin liittyvien ydin- ja säteilyturvallisuusriskien käsittely ja laadunhallinta. Projektinhallinta osaamisena on kykyä viedä läpi koordinoitusti aikataulussa ja budjetissa pysyen monimutkaisia tehtäväkokonaisuuksia.

Prosessitekniikka, johon kuuluvat prosessitekniset suunnittelutehtävät. Voimayhtiöissä tehtävien pääpaino on ydinvoimalaitoksen järjestelmämuutosten suunnittelussa. Tehtävät sisältävät mm. uusien järjestelmäkokonaisuuksien ja vanhojen järjestelmien muutosten suunnittelua, prosessilaitteiden mitoittamista sekä uusien tai muutettujen järjestelmien koekäyttöjen ja koestusten suunnittelua ja toteuttamista. Tärkeimpiä osaamisalueita ovat lämpö- ja virtaustekninen osaaminen, sekä prosessilaitteiden ja -järjestelmien tuntemus.

Materiaalitekniikka, johon kuuluvat materiaalien valmistus ja muokkausmenetelmientuntemus, materiaalien ominaisuuksien tunteminen, ikääntymis- ja korroosiomekanismien ymmärtäminen sekä erilaiset aineiden testaus ja

koestusmenetelmät. Valmistustekniikkaan taas kuuluvat konepajavalmistuksen menetelmät ja niihin liittyvien metallurgisten vaikutusten tunteminen. Tehtävät sisältävät mm. valmistus- ja muokkausmenetelmien valintaa, kehittämistä ja arviointia, lujuuslaskentaa, vauriomekanismien kuten korroosion, ikääntymisen ja haurastumisen arviointia. Materiaalitekniikkaan läheisesti liittyvän valmistustekniikan tehtäviin kuuluu myös hitsauksen pätevöinnit ja hitsauksen laadunhallinta.

Laadunhallinta ja tarkastustoiminta, johon kuuluu laadun suunnittelu, ohjaus, laadunvarmistus ja parantaminen. Tehtävinä laadunhallinta on organisaation ohjaamista laatuun liittyvissä asioissa, laatutavoitteiden asettamista ja niiden toteutumisen seuranta, prosessien ja resurssien määrittämistä ja toiminnan kehittämistä jatkuvan parantamisen periaatteiden mukaan. Laadunhallintatehtäviin sisältyy myös tuotteiden ja toimintojen vaatimuksenmukaisuuden arviointi ja auditointi. Laadunhallintaan liittyviä osaamisia ovat laatuun liittyvien menetelmien tuntemuksen lisäksi standardien ja arviointimenetelmien tuntemus ja auditointiosaaminen.

Ydin- ja hiukkasfysiikka, jolla tarkoitetaan teoreettisen ja kokeellisen ydin- ja hiukkasfysiikan perustutkimusta. Alan asiantuntijat työskentelevät Suomessa lähinnä yliopistoissa. Ydinenergiasovellus on perusdatan tuottaminen reaktorifysiikkaalisiin laskuihin, mutta tällainen data pitää aina ensin integroida kansainvälisiin ydindatakirjastoihin, ennen kuin sitä voidaan soveltaa reaktorifysiikkaalisen laskentajärjestelmän kautta käytäntöön.

Termohydrauliikka, joka käsittää ydinreaktoreiden normaalin ja hätäjähdytyksen lämpö- ja virtaustekniikan hallinnan. Asiantuntijat työskentelevät voimalaitoksilla esim. käytön tai turvallisuustekniikan aloilla tai viranomais- ja tutkimusorganisaatioissa häiriö- ja onnettomuusanalyysien sekä koetoiminnan parissa. Koulutus tyypillisesti esim. energiatekniikankoulutusohjelmasta.

Reaktorifysiikka käsittää neutroneiden vuorovaikutusten mallintamisen reaktorin sydämessä ja näin ketjureaktion hallinnan. Tähän vaaditaan myös syntyvien radioaktiivisten aineiden laskenta polttoaineen palaessa. Tyypillinen työtehtävä laitoksilla on polttoaineen käytön ja vaihtolatauksien vuotuinen suunnittelu sekä kriittisyysturvallisuudesta huolehtiminen. Alaan kuuluu myös reaktoridynamiikka, jonka avulla lasketaan ketjureaktion dynaaminen käyttäytyminen eli tehonkehitys säätötilanteissa, sekä häiriöiden ja onnettomuuksien aikana. Reaktoridynaamikkojen on hallittava myös termohydrauliikka. Koulutus on tyypillisesti teknillisen fysiikan tai energiatekniikan koulutusohjelmasta.

Vesikemian laboratoriossa seurataan ydinvoimalaitoksen vesihöyryn kierron kemiaa ottamalla näytteitä prosessin eri järjestelmistä. Vesikemiassa tehdään mm. metalli- ja anionimäärityksiä, titrimetrisiä ja potentiometrisiä määrityksiä. Laadukkaalla vesikemialla maksimoidaan laitoksen komponenttien käyttöikä ja polttoaineen eheys. Laitosyksiköiden korroosioilmiöt pyritään minimoimaan. Vesikemian laboratoriossa työskentelevät ovat koulutukseltaan yliopistosta valmistuneita kemistejä tai laborantteja, laboratorioinsinöörejä tai tekniikoita.

Radiokemia tutkii radioaktiivisten aineiden kemiallista käyttäytymistä ja käyttöä. Ydinvoimalaitoksessa radiokemian laboratorion henkilökunta ottaa prosessin eri järjestelmistä vesi- ja kaasunäytteitä, joista tehdään aktiivisuusmäärytyksiä, ja valvovat radioaktiivisia päästöjä veteen ja ilmaan. Tavoitteena on varmistaa alhaiset säteilytasot. Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksessa oleellinen osaaminen liittyy pitkäikäisten radioaktiivisten aineiden kemiallisiin prosesseihin maa- ja kallioperässä.

PRA (todennäköisyyspohjainen riskiarviointi/-analyysi), johon kuuluu todennäköisyyspohjaisten mallien ja laskentamenetelmien kehittäminen ja soveltaminen, laitosten normaalikäyttöön liittyvien laitostapahtumien riskien arviointia sekä ulkoisiin tapahtumiin liittyvien riskien mallintamista ja arviointia. Tehtävinä voi olla PRA-mallien kehittäminen ja niihin liittyvä laskenta, vikojen ja tapahtumien turvallisuusmerkityksen arviointi tai suunnitelmien tarkastaminen

Ydinpolttoaineeseen liittyvissä tehtävissä, joista tärkeimpiä ovat polttoaineen suunnittelun ja valmistuksen lisensointi sekä polttoainetekniset ja reaktorifysikaaliset tutkimukset, tavoitteena on varmistaa sen turvallinen käyttö. Tehtävät sisältävät mm. suunnitteluperusteiden ja analyysien tarkastamista, rinnakkaisanalyysien tekemistä, suunnittelu- ja rakenneaineistojen käsittelyä, valmistuksen valvontaa sekä polttoainetoimittajan auditointia. Voimayhtiöissä ydinpolttoainetutkimuksiin liittyviä tehtäviä ovat polttoaineen käyttöominaisuuksien seuranta, tutkimustarpeen arviointi, polttoainetutkimukset sekä referenssitietojen hankinta. Tutkimuslaitoksissa asiantuntijoiden tehtävät liittyvät polttoainesauvojen sekä niihin syntyvien radioaktiivisten isotooppien lämpö- ja materiaalitekniiseen mallinnukseen normaalitilassa eri palamilla sekä dynaamisissa tilanteissa häiriö- ja onnettomuustilanteiden aikana.

Vakavien onnettomuuksien todennäköisyyden ja seurausten arviointiin liittyviin työtehtäviin kuuluu suuren päästön taajuuden arviointi (PRA-mallilla), vakavan onnettomuuden kulun deterministiset analyysit ja kokeellinen toiminta, radioaktiivisten aineiden vaikutusten arviointi sekä valmiusjärjestelyt. PRA-pohjaiseen turvallisuusarvioon kuuluvat vakavan reaktorionnettomuuden ilmiöiden ja niiden hallitsemiseksi käytettävien järjestelmien arviointi laitoksen turvallisuuden kannalta. Vakavan onnettomuuden determinististen analyysimallien kehitystä tehdään pääasiassa todennäköisyyspohjaisia malleja varten. Radioaktiivisten aineiden kulkeutumismallinnuksen lopputuloksena saadaan arvio säteilytasolle laitoksen tiloissa ja päästöjen aiheuttamat säteilyannokset. Tutkimuslaitoksissa tehtävää koetoimintaa hyödynnetään mm. laskentamallien kehityksessä. Vakavan onnettomuuden hallinnan kannalta voimayhtiöiden ja viranomaisten henkilöstön oikea toiminta onnettomuustilanteen aikana on tärkeää. Tätä harjoitellaan esimerkiksi vuotuisissa valmiusharjoituksissa.

Turvajärjestelyt (Security), jolla tarkoitetaan hallinnollisia ja teknisiä menettelyjä, joilla ydinlaitokset ja -materiaalit suojataan tahallista vahingontekoa ja anastamista vastaan. Ydinlaitosten turvajärjestelyt perustuvat paljolti normaaleihin teollisuuden turvaamismenetelmiin ja -järjestelyihin, mutta ydinlaitosten erityispiirteiden ja haavoittuvuuden vuoksi niiden turvaaminen edellyttää erityisosaamista, erityisesti suunnittelu- ja johtamistasolla.

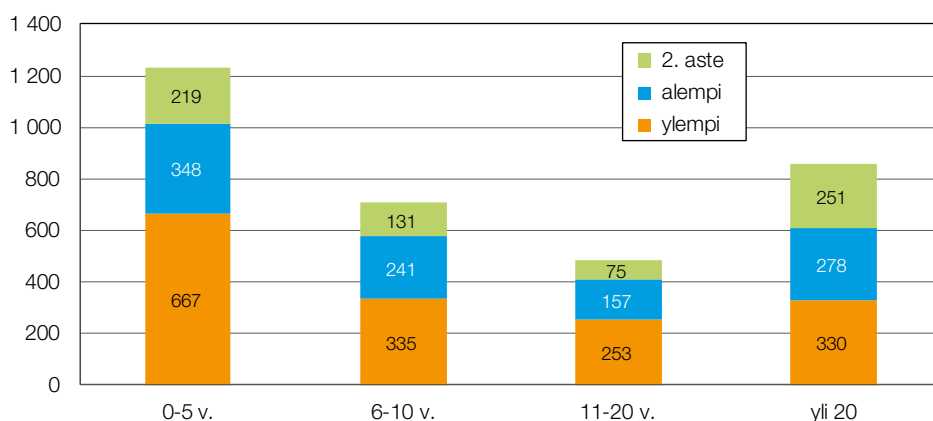
Inhimilliset tekijät, johon kuuluu ihmisen toimintaan ja käyttäytymiseen vaikuttavien tekijöiden huomiointi toiminnassa, esimerkiksi suunnittelussa, prosesseissa ja menettelytavoissa. Tähän liittyy läheisesti turvallisuuskulttuuri, johon kuuluu turvallisuutta korostavat toimintatavat ja turvallisuuden ensisijaisuuden tunnustava asenneilmapiiri. Tehtävinä voi olla esimerkiksi laite- ja järjestelmäsuunnitteluun osallistuminen, toimintatapojen kehittäminen tai organisatoristen tekijöiden selvittäminen tapahtumien yhteydessä, turvallisuuskulttuurin arviointi tai edistäminen ja turvallisuuskulttuuriin liittyvien kehityskohteiden tunnistaminen.

Safeguards, johon kuuluu ydinmateriaalien seuranta kansainvälisten sopimusten velvoitteiden mukaisesti. Safeguardsilla varmistutaan, ettei ydinmateriaaleja tuoteta, käytetä tai siirretä ydinaseiden valmistukseen.

2.3 Ydinenergia-alan nykyhenkilöstö kokemusvuosittain ja ikävuosittain

Kuvassa 2.2 esitetään teetetyn kyselyn tuloksiin perustuva jakauma ydinenergia-alan henkilöstöstä alalla työskenneltyjen vuosien mukaan. Kuvassa henkilöstö on lisäksi jaoteltu koulutustaustan perusteella. Moniin työtehtäviin voi pätevöityä myös muualla kuin ydinenergia-alalla. Alan turvakriittisyyden ja siitä seuraavien ominaispiirteiden vuoksi tässä selvityksessä päätettiin kuitenkin tarkastella nimenomaan ydinenergia-alan kokemusta.

Kuva 2.2. Ydinenergia-alan nykyisen henkilöstön työkokemus ydinenergia-alan tehtävissä.



Kuvasta nähdään edelleen, että vuonna 2010 ydinenergia-alan henkilöstöstä 38% oli ollut alalla korkeintaan viisi vuotta ja 26%:lla on yli 20 vuoden kokemus ydinenergia-alalta. Ydinenergia-alan henkilöstön kokemusvuosijakaumassa painottuvat siis toisaalta alalla vähän aikaa olleet ja toisaalta hyvin kokeneet henkilöt. Tämä on

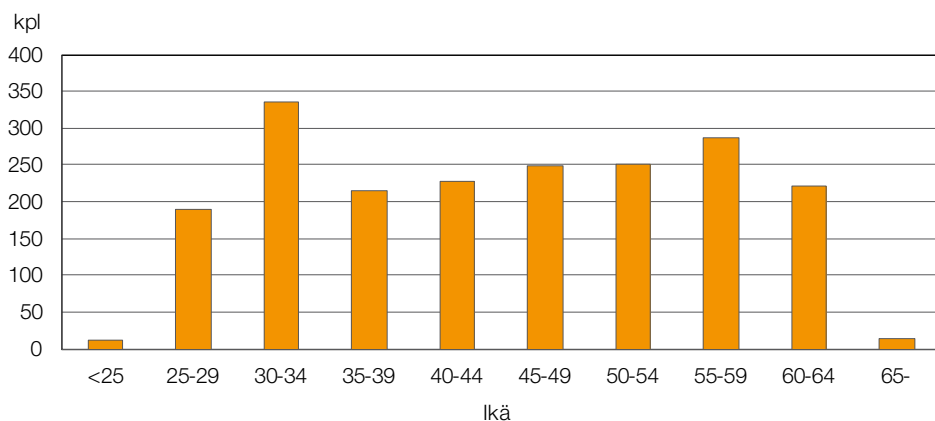
huomionarvoinen seikka, sillä uuden henkilöstön perehdyttäminen ydinenergia-alan turvallisuusajatteluun ja erityispiirteisiin vie aikaa, vaikka henkilö olisikin jo päteväitynyt omaan erikoisalaansa muussa teollisuudessa. Ydinenergia-alalle ovat siksi tunnusomaisia pitkät työsuhteet.

Ydinenergia-alalla 11–20 vuotta työskennelleiden lukumäärä on korostuneen pieni. Tässä on taustalla Tshernobylin onnettomuus, jonka jälkeen ei moneen vuoteen käynnistynyt uusia hankkeita ja alalle palkattiin vain vähän uutta henkilöstöä. Myös alan tutkimus- ja opetustoiminta kapeni. Koska työpaikkoja ei ollut tarjolla, ala ei kiinnostanut opiskelijoita. Tämän kokemusikäluokan henkilöstön vähäinen määrä aiheuttaa jo nyt haasteita osaamisen siirtämiseen uusille osaaajille.

Osaamistyöryhmän kyselyssä ei kysytty henkilöstön ikäjakaumaa. Työryhmä päätti kuitenkin täydentää keräämäänsä aineistoa alan suurimpien toimijoiden (voimayhtiöt, Posiva, VTT ja STUK) henkilöstön ikäjakaumilla. Kuvassa 2.3 esitetään näiden toimijoiden henkilöstön ikäjakauma vuodelta 2010. Kuvasta voidaan päätellä, että noin 39% nykyisestä ydinenergia-alan suurimpien toimijoiden henkilöstöstä jää eläkkeelle vuoteen 2025 mennessä.

Kuvasta 2.3 nähdään, että ydinenergia-alan ikäjakauma on tasaisempi ja siten terveempi kuin kokemusvuosijakauma (kuva 2.2). Vertaamalla kuvia voidaan päätellä, että henkilöt, joilla on paljon kokemusvuosia ydinenergia-alalta, eivät ole saman ikäisiä. Tämä tarkoittaa, että ydinenergia-alalle siirtyy henkilöstöä, joka on hankkinut asiantuntemusta muilta aloilta. Ydinenergia-alalla on vankat perinteet henkilöstön kouluttamiseen ja kehittämiseen, joten myös alalle tulijat, joilla ei ole ydinenergia-alan kokemusta, on voitu kehittää alan asiantuntijoiksi. Tämä on kuitenkin vaatinut ja tulee jatkossakin vaatimaan alan organisaatioilta panostamista täydennys- ja jatkokoulutukseen.

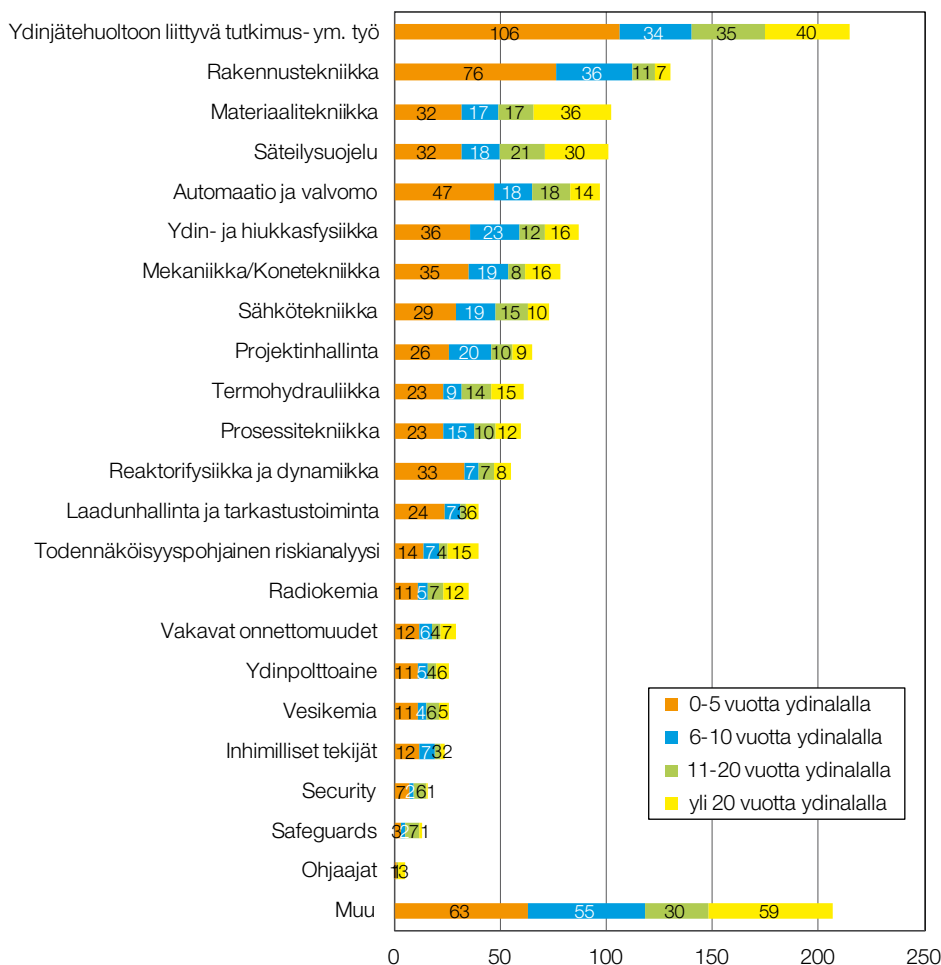
Kuva 2.3. Ydinenergia-alan suurimpien toimijoiden henkilöstön ikäjakauma vuodelta 2010



2.4 Ydinenergia-alan nykyhenkilöstö osaamisalueittain

Tässä kappaleessa tarkastellaan ydinenergia-alan henkilöstön sijoittumista eri asiantuntija-alueille osaamistyöryhmän kyselyn tulosten perusteella. Tarkastelu on tehty kolmelle ryhmälle: ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet, alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet ja toisen asteen tutkinnon suorittaneet.

Kuva 2.4. Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja hokemusvuosittain



Kuvassa 2.4 esitetään ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneen henkilökunnan sijoittuminen eri ydinenergia-alan asiantuntijatehtäviin. Vuonna 2010 suurimmat ydinenergia-alan henkilöstöryhmät olivat ydinjätehuolto ja rakennustekniikka.

Ydinjätehuollon asiantuntijoiden suuri osuus kyselyn tuloksissa johtuu alan poikkitieteellisyydestä sekä meneillään olevasta tutkimus-, kehitys- ja suunnitteluvaiheesta, jossa Suomi ensimmäisten maiden joukossa maailmassa valmistautuu käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Ydinjätehuollon erityispiirteitä sisältäviä tehtäviä ei kyselyssä sisällytetty muihin tunnistettuihin asiantuntija-aloihin, vaan asiantuntijuutta käsiteltiin yhtenä erillisenä kokonaisuutena. Rakennustekniikan suuri osuus johtuu meneillään olevista voimalaitosten modernisointi- ja rakennushankkeista. Näiden hankkeiden tarpeisiin on rekrytoitu uutta henkilökuntaa, mikä näkyy alalla vähän aikaa olleiden suurena määränä.

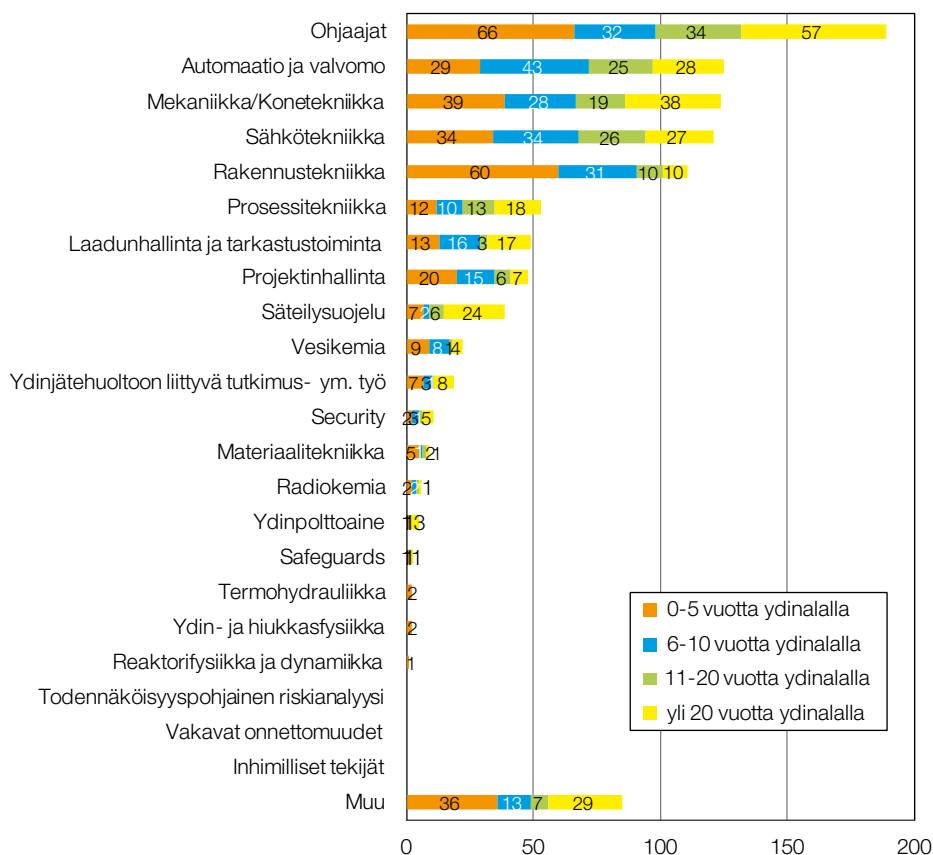
Kuvan 2.4 perusteella osalla ydinenergia-alan asiantuntija-alueista uutta henkilöstöä on rekrytoitu jatkuvasti. Edellisen kappaleen kuvassa 2.3 havaittiin 11–20 vuotta alalla työskennelleiden vähäinen määrä. Kuvan 2.5 perusteella tämä kohdistuu tietyille asiantuntija-alueille kuten esimerkiksi mekaniikkaan ja konetekniikkaan.

Osalla asiantuntija-alueista yli 20 vuotta alalla työskennelleiden osuus on korostunut, ja tulevaisuudessa korvausrekrytointitarpeita tulee olemaan erityisesti näillä alueilla. Esimerkiksi materiaalitekniikassa, säteilysuojelussa ja todennäköisyyspohjaisessa riskianalysissä alalla 20 vuotta työskennelleiden osuus on noin 30%.

Kuvassa 2.5 esitetään alemman korkeakoulututkinnon suorittaneen henkilökunnan sijoittuminen eri ydinenergia-alan asiantuntijatehtäviin. Ydinvoimalaitosten ohjaajat ovat suurin yksittäinen ryhmä. Tässä kyselyssä tarkastelluista henkilöstöryhmistä ohjaajia on rekrytoitu tasaisesti, mikä selittyy heidän työtehtävänsä ja tehtävään vaaditun pitkän koulutusajan kautta. Koska ohjaajien kouluttaminen kestää kauan ja heidän tehtävänsä on erittäin merkittävä voimalaitosten turvallisen ja luotettavan käytön näkökulmasta, erityisesti tämän henkilöstöryhmän sitouttaminen alaan ja heidän ammattitaitonsa ylläpitäminen on tärkeää.

Mekaniikassa, prosessitekniikassa, laadunhallinnassa ja säteilysuojelussa alalla 20 vuotta olleiden osuus on noin 30%. Erityisesti näillä alueilla tulee tarvetta korvausrekrytoinneille. Säteilysuojelussa tilanne on sama sekä ylempien että alemmien korkeakoulututkintojen osalta.

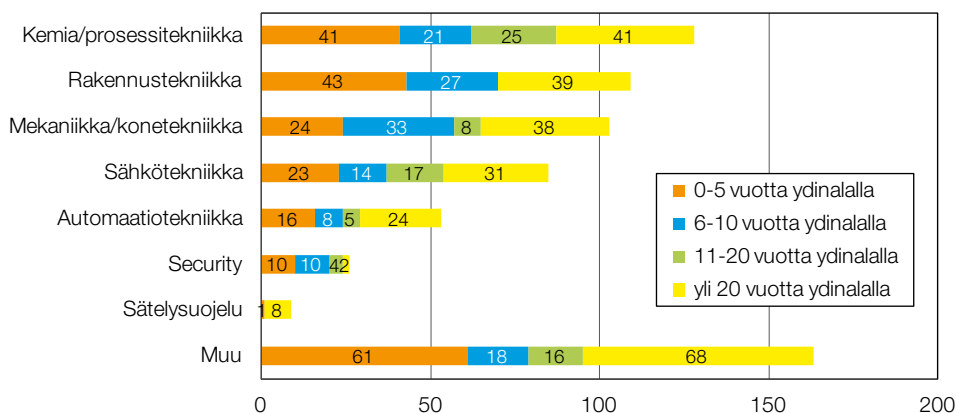
Kuva 2.5. Aiemman korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



Kuvassa 2.6 on esitetty toisen asteen tutkinnon suorittaneen henkilökunnan sijoittuminen eri ydinenenergia-alan tehtäviin. Toisen asteen tutkinnon suorittaneista valtaosa työskentelee voimalaitoksissa ja alihankkijayrityksissä. Toisen asteen tutkinnon suorittaneiden kokemusvuosijakauma on osaamistyöryhmän kyselyn tulosten valossa tasaisempi kuin korkeakoulututkinnon suorittaneiden vastaava. Kuitenkin myös tässä ryhmässä on selkeästi nähtävissä uusien ydinvoimalaitosten rakentamista koskeneen tauon vaikutus 11-20 vuotta alalla olleiden pienemmässä määrässä.

Kemian ja prosessitekniikan osuus on toisen asteen tutkinnon suorittaneiden joukossa merkittävä. Heitä on työllistyneenä erityisesti voimalaitosten tuotanto- ja käyttötoiminnoissa.

Kuva 2.6. Toisen asteen tutkinnon suorittaneet kokemusvuosittain



2.5 Ydinenergia-alan tulevaisuuden henkilöstötarpeet

2.5.1 Ydinenergia-alan kokonaishenkilöstötarve

Ydinenergia-alalle tarvitaan tulevaisuudessa lisää henkilöstöä pääasiassa kahdesta syystä. Toisaalta suurten ikäluokkien eläkkeelle jääminen aiheuttaa korvausrekrytointitarpeita ja toisaalta ala on kasvamassa uusien hankkeiden myötä, joten henkilöstöä tarvitaan enemmän kuin tällä hetkellä. Nykyiset koulutusresurssit on suunniteltu alan nykytilan perusteella ja siksi osaamistyöryhmän kyselyssä keskityttiin alan kasvusta johtuvaan henkilöstötarpeen lisäykseen. Kyselyssä ei erikseen kysytty eläköityvien määriä, mutta se on pääteltävissä edellisessä kappaleessa esitetystä alan ikärakenteesta.

Taulukossa 2.3 esitetään yhteenveto osaamistyöryhmän kyselyn henkilöstöä koskevista tuloksista vuosille 2010–2025. Tulosten perusteella henkilöstön, jolla on osaamista ydinenergia-alan erityispiirteistä, tarve kasvaa vuoteen 2025 mennessä 38% (noin 1200 henkilöllä) eli se tulee olemaan yhteensä noin 4500 henkilöä. Luvun alussa mainitussa OKM:n työryhmämuistiossa energia-, lämpö- ja vesihuoltoalojen yhteenlasketuksi henkilöstötarpeeksi vuonna 2025 on arvioitu 12000 henkilöä, joten ydinenergia-ala olisi merkittävä osa tästä.

Taulukossa 2.3 esitetyn kasvun lisäksi on katettava vuoteen 2025 mennessä eläkkeelle jäävä nykyhenkilöstö, jota on noin 39% vuoden 2010 henkilöstöstä, eli yhteensä ydinenergia-alalle tarvitaan noin 2400 uutta henkilöä.

Taulukko 2.3. Ydinenergia-alan henkilöstötarve kokonaisuutena.

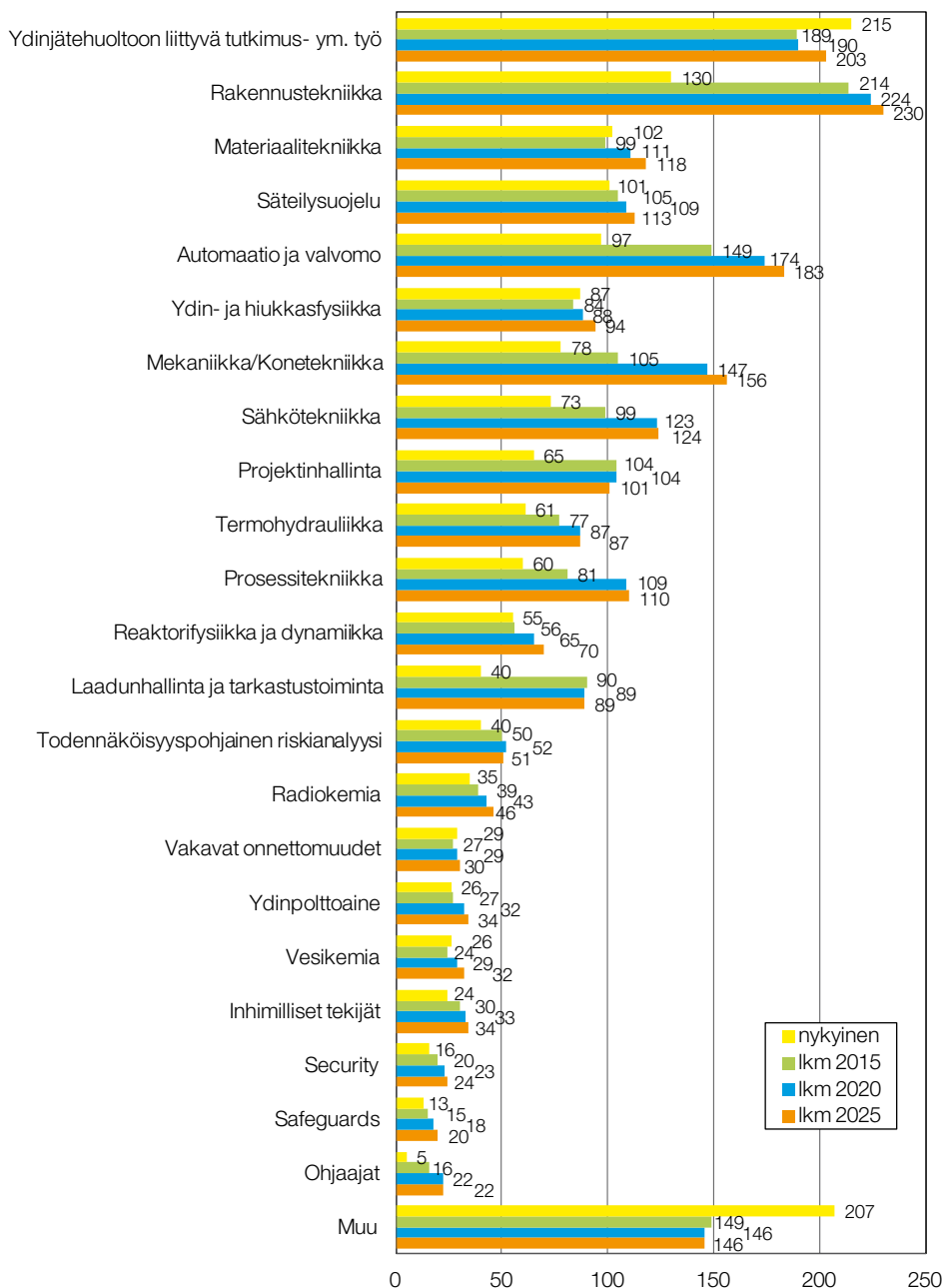
Tutkinto	lkm 2015	lkm 2020	lkm 2025
Ylempi korkeakoulu	1 849	2 047	2 117
Lisensiaatti	46		
Tohtori	253		
Alempi korkeakoulu	1 126	1 465	1 573
Toinen aste	742	841	832
Yhteensä	3 717	4 353	4 522

2.5.2 Henkilöstötarpeet alueittain ja peruskoulutustasoin

Ydinenergia-alalla tarvitaan vuonna 2025 34% (532 henkilöä) enemmän ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneita kuin heitä oli alalla vuonna 2010. Kuvassa 2.7 on esitetty tulevien vuosien henkilöstötarve asiantuntija-alueittain. Kasvu on voimakkainta seuraavilla aloilla (suluissa kasvu vuodesta 2010 vuoteen 2025)

- rakennustekniikka (100 henkilöä, 77%)
- automaatio ja valvomo (85 henkilöä, 89%)
- mekaniikka/konetekniikka (80 henkilöä, 100%)
- sähkötekniikka (50 henkilöä, 70%)
- laadunhallinta ja tarkastustoiminta (50 henkilöä, 123%)

Kuva 2.7. Ydinenergia-alan tulevaisuuden henkilöstötarve asiantuntija-alueittain, ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet.



Keskeisiksi ydinenergia-aloiksi mielletään sellaiset asiantuntija-alueet, joissa vaaditaan ydinenergia-alan pääainetasoista koulutusta. Esimerkkejä tällaisista alueista ovat säteilysuojelu, reaktorifysiikka, ydinpolttoaineeseen liittyvät tehtävät ja

termohydrauliikka. Osaamistyöryhmän kyselyn tulosten perusteella osaajatarpeen kasvu on kuitenkin voimakkainta muilla asiantuntija-alueilla. Tämä johtuu pääosin uusista voimalaitosprojekteista ja käyvien voimalaitosten modernisointiprojekteista.

Muiden kuin perinteisten ydinenergia-alojen asiantuntijoiden on oltava ensisijaisesti asiantuntijoita omalla alallaan. Lisäksi he tarvitsevat sivuaine- tai täydennyskoulutustasoisien perehtymisen ydinenergia-alan erityispiirteisiin. Osaamistyöryhmän kyselyn perusteella tarve tällaiselle koulutukselle tulee kasvamaan. Myös sivuainetasoista koulutusta ja täydennyskoulutusta antamaan tarvitaan ydinenergia-alan päätoimisia professoreita ja muita alaan perehtyneitä yliopisto-opettajia.

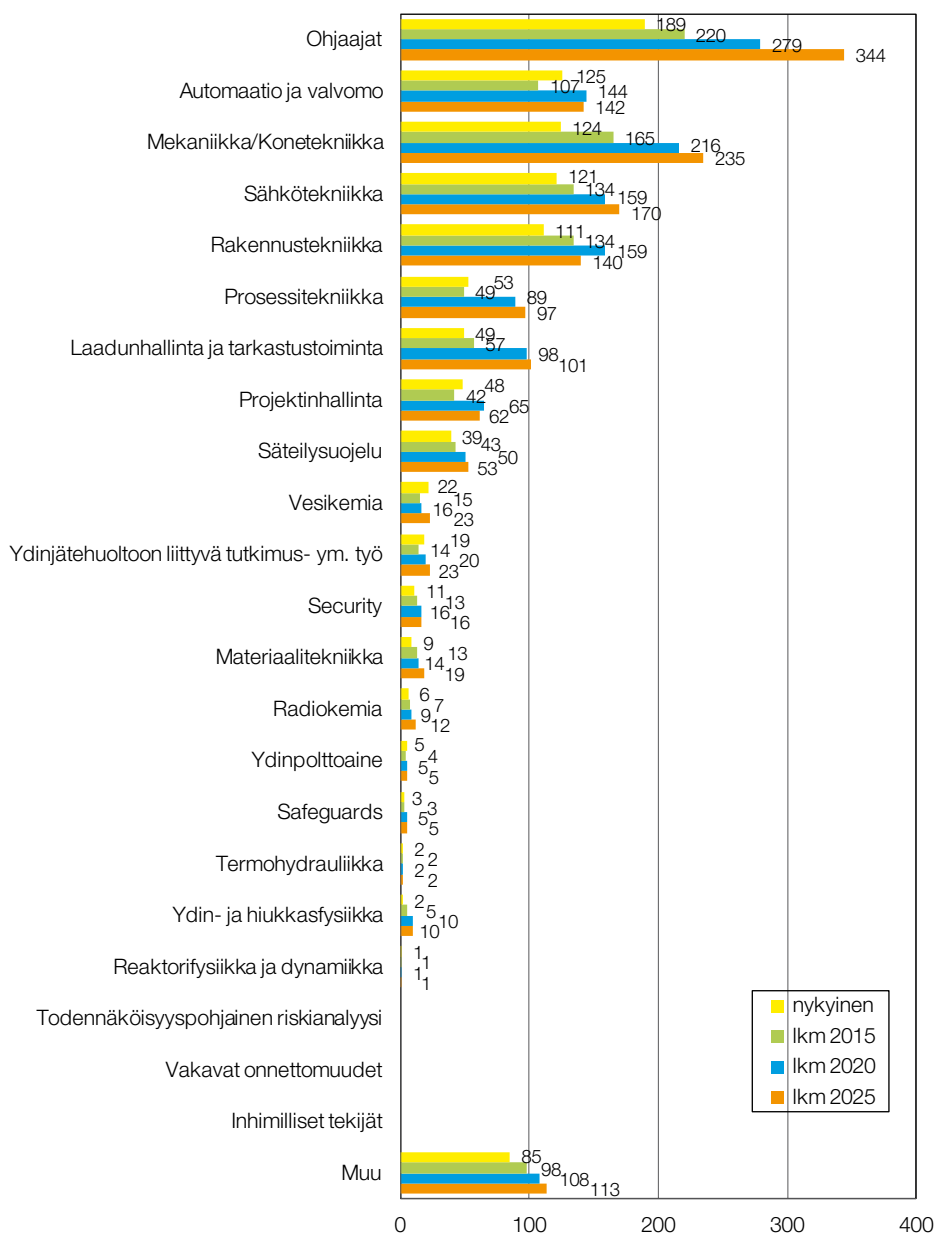
Keskeisillä ydinenergia-alan asiantuntija-alueilla, kuten reaktorifysiikka, säteilysuojelu tai ydinpolttoaineeseen liittyvät tehtävät, henkilöstötarpeen kasvu ei ole kovin suurta. Näiden alueiden osaaminen on kuitenkin jo alan turvallisuuskriittisyyden vuoksi pystyttävä pitämään korkealla tasolla ja eläköityvien tilalle on koulutettava uutta henkilöstöä. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, etenkin säteilysuojeluhenkilöstöstä suuri osa on ollut alalla yli 20 vuotta, ja korvausrekrytointitarpeet tulevat olemaan suuria. Keskeiset ydinenergia-alan tehtävät edellyttävät alan koulutusta pääainetasolla, ja siksi tämän tasoisen koulutuksen säilyminen Suomessa on turvattava.

Alemman korkeakoulututkinnon suorittaneita tarvitaan vuonna 2025 53 % (n. 540 henkilöä) enemmän kuin tällä hetkellä. Kuvassa 2.8 on esitetty tulevien vuosien henkilöstötarve asiantuntija-alueittain. Suuren osan kasvutarpeesta muodostavat uusien voimalaitosten ohjaajat (kasvu 155 henkilöä). Muita kasvavia aloja ovat (suluissa kasvu vuodesta 2010 vuoteen 2025)

- mekaniikka/konetekniikka (110 henkilöä, 90%)
- prosessitekniikka (50 henkilöä, 83%)
- laadunhallinta ja tarkastustoiminta (50 henkilöä, 100%)

Jos tarkastellaan muita tehtäviä kuin voimalaitosten ohjaajia, alemman korkeakoulututkinnon suorittaneen henkilökunnan tarpeen kasvu on samalla tasolla kuin ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneen. Osaamisalueiden sisällä on vaihtelua, joka johtuu osittain yleisen koulutustason noususta.

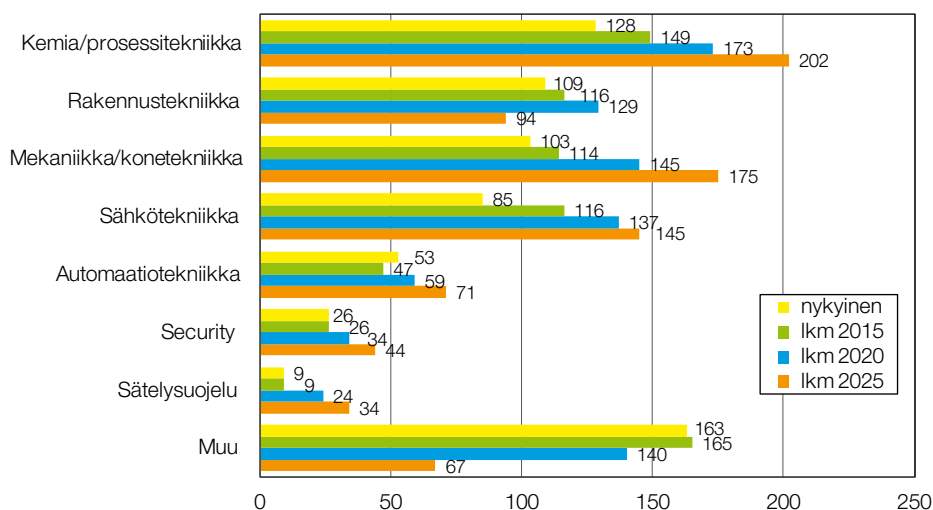
Kuva 2.8. Tulevaisuuden tarve, alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet.



Toisen asteen tutkinnon suorittaneita tarvitaan vuonna 2025 23 % enemmän kuin tällä hetkellä. Kuvassa 2.9 on esitetty tulevien vuosien tarve tehtäväalueittain. Osajatarpeen kasvu on suurinta seuraavilla aloilla

- mekaniikka/konetekniikka
- sähkötekniikka

Kuva 2.9. Tulevaisuuden tarve, toisen asteen tutkinnon suorittaneet.



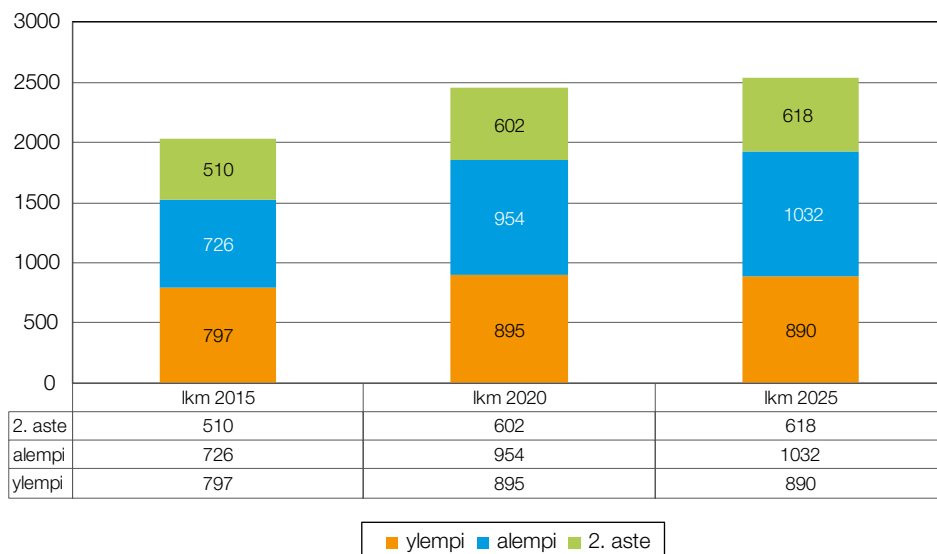
2.5.3 Voimayhtiöiden, viranomaisten ja tutkimuslaitosten sekä yliopistojen henkilöstötarpeet

Seuraavassa tarkastellaan tulevaisuuden henkilöstötarpeita kolmen henkilöstöä työllistävän ryhmän näkökulmasta: voimayhtiöt ja Posiva, viranomaiset ja tutkimuslaitokset ja yliopistot. Tästä tarkastelusta on jätetty pois alihankkijat, sillä toteutettu kyselytutkimus ei antanut tästä kattavaa tulosta. Alihankkijoiden henkilöstötarpeita on selvitetty aikaisemmin mm. FinNuclearin toimesta.

2.5.3.1 VOIMAYHTIÖIDEN JA POSIVAN TULEVAT HENKILÖSTÖTARPEET

Tässä kappaleessa tarkastellaan voimayhtiöiden ja Posivan tulevia henkilöstötarpeita. Suurin osa näistä työpaikoista tulee sijaitsemaan ydinlaitospaikkakunnilla. Kuvassa 2.10 on esitetty yhteenveto henkilöstömäärän kasvusta vuodesta 2010 vuoteen 2025. Suurin kasvutarve on korkeakoulututkinnon suorittaneessa henkilössä, jota tarvitaan vuonna 2025 noin 70% enemmän kuin tällä hetkellä.

Kuva 2.10. Voimayhtiöiden henkilöstötarpeen muutos 2010–2025



Uudet voimalaitoshankkeet ja käyvien voimalaitosten modernisointiprojektit näkyvät selvästi tämän ryhmän henkilöstötarpeissa. Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneiden osalta voimayhtiöiden suurin henkilöstötarpeen lisäys tulee seuraavilta asiantuntija-alueilta:

- mekaniikka ja konetekniikka (70 henkilöä, 323%)
- automaatio ja valvomo (79 henkilöä, 179%)
- prosessitekniikka (40 henkilöä, 213%)
- projektinhallinta (40 henkilöä, 115%)
- laadunhallinta ja tarkastustoiminta (40 henkilöä, 146%)
- sähkötekniikka (30 henkilöä, 153%)
- rakennustekniikka (30 henkilöä, 147%)

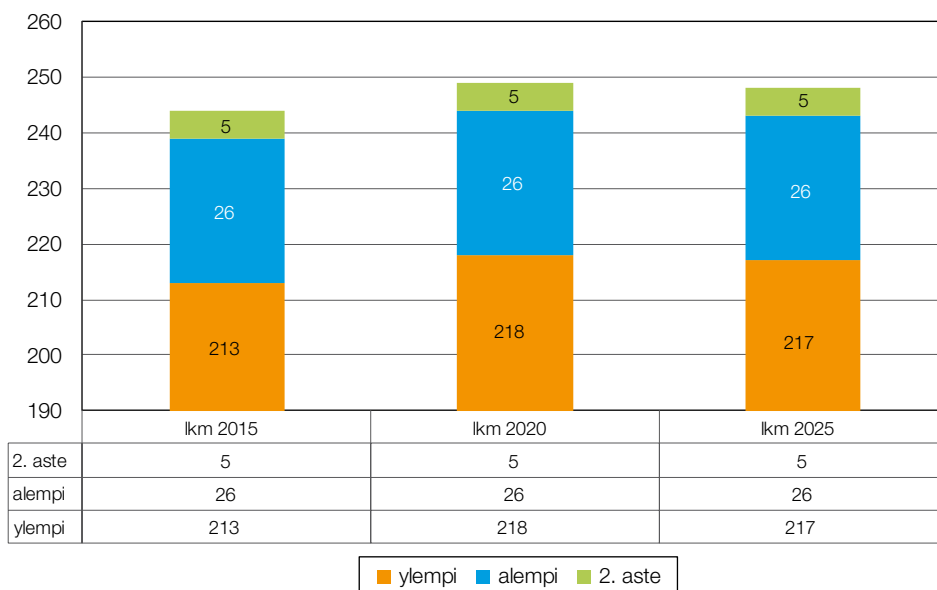
Alemman korkeakoulun suorittaneiden kohdalla suurin osa henkilöstön kasvusta johtuu uusien voimalaitosten ohjaajista. Henkilöstömuutokset tulevat olemaan merkittävimpiä seuraavilla alueilla:

- ohjaajat (155 henkilöä, 82%)
- mekaniikka/konetekniikka (70 henkilöä, 90%)
- prosessitekniikka (40 henkilöä, 114%)
- laadunhallinta ja tarkastustoiminta (30 henkilöä, 100%)
- rakennustekniikka (20 henkilöä, 100%)

2.5.3.2 YDINENERGIA-ALAN VIRANOMAISTEN TULEVAT HENKILÖSTÖTARPEET

Kolmas erillinen ryhmä, jonka henkilöstötarpeita tarkasteltiin ovat ydinenergia-alan viranomaiset, joita ovat STUK, TEM ja muut osaamistyöryhmän kyselyyn osallistuneet ministeriöt. Kuvassa 2.11 on esitetty yhteenveto henkilöstömäärän kasvusta vuodesta 2010 vuoteen 2025.

Kuva 2.11. Viranomaisten henkilöstötarve 2010–2025



Viranomaisten osalta ei osaamistyöryhmän selvityksen mukaan ole nähtävissä merkittäviä muutoksia nykytilaan verrattuna. Tämä johtuu muun muassa siitä, että STUKin perinteisesti hoitamia painelaitteiden, mekaanisten laitteiden sekä teräsjä betonirakenteiden tarkastuksia ollaan siirtämässä hyväksytyjen sertifiointielinten- tai tarkastuslaitosten tehtäväksi.¹

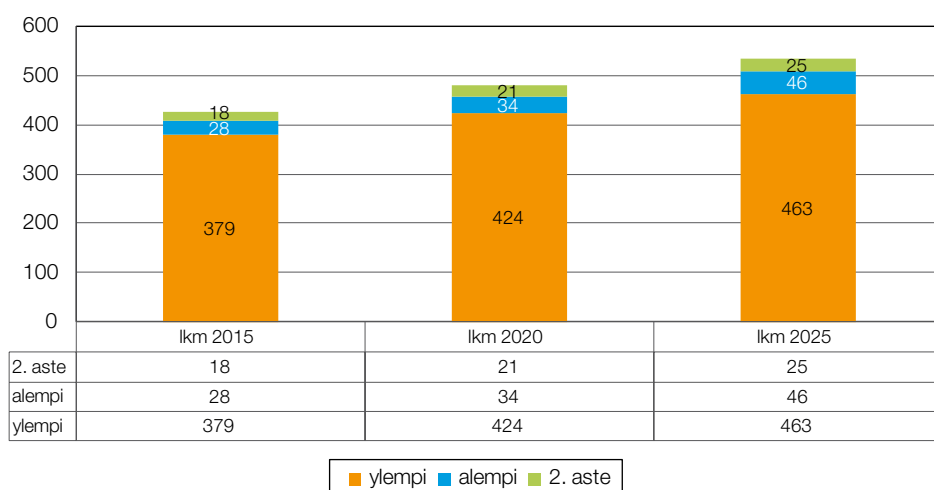
Alemman korkeakoulututkinon suorittaneiden tarpeen vähentyminen selittyy osittain jo aikaisemmin mainitulla yleisen koulutustason nousulla. Eläköitymisistä aiheutuvien korvausrekrytointien yhteydessä opistoasteen tekniikan tai insinöörin tutkinon, joita ei enää ole nykyisessä koulutusjärjestelmässä, suorittaneiden tilalle palkataan usein ylempään korkeakoulututkinon suorittanut henkilö.

¹ Näihin tehtäviin tarvittavien resurssien määrää ei ole tullut esille minkään organisaation osalta suoritetussa kyselyssä, koska muutoksen valmistelu on ollut kyselyn aikana vasta hyvin varhaisessa vaiheessa.

2.5.3.3 TUTKIMUSLAITOSTEN JA YLIOPISTOJEN TULEVAT HENKILÖSTÖTARPEET

Tässä kappaleessa tarkastellaan VTT:n ja osaamistyöryhmän kyselyyn osallistuneiden yliopistojen henkilöstötarpeen muutosta. Kuvassa 2.12 on esitetty yhteenvedo henkilöstömäärän kasvusta vuodesta 2010 vuoteen 2025. Ydinturvallisuuden ylläpitäminen ja jatkuva parantaminen tarvitsee tuekseen tasokasta tutkimusta, johon tarvitaan myös henkilökuntaa. Osaamistyöryhmän kyselyn tuloksissa yliopistojen henkilöstössä on mukana sekä tutkimus- että opetushenkilöstöä, mutta valtaosa opetushenkilöstöstä tekee myös tutkimusta. Tutkimustoimintaa on kuvattu tarkemmin luvussa 4.

Kuva 2.12. Tutkimuslaitosten ja yliopistojen henkilöstötarve 2010–2025



Yliopistojen ja VTT:n henkilöstötarve on kasvussa, mutta kasvu ei ole yhtä suurta kuin voimayhtiöissä. On kuitenkin epäiltävä, että yliopistot eivät kasvuennusteissaan ole huomioineet kasvavaa sivuaineopetustarvetta. Alemman korkeakoulututkinon suorittaneiden määrän kasvu johtuu pääasiassa materiaalitekniikan tarpeista.

2.6 Tiivistelmä ja johtopäätöksiä

Ydinenergia-alalla tarvitaan korkeasti koulutettua henkilökuntaa. Ala työllisti vuonna 2010 noin 3300 henkilöä, joilla on osaamista alan erityispiirteistä. Näistä 80%:lla oli ylempi tai alempi korkeakoulututkinto. Suurin osa alan tehtävistä vaatii teknillis- tai luonnontieteellisen peruskoulutuksen.

Vuonna 2010 lukumääräisesti eniten asiantuntijatehtäviä oli ydinjätehuollossa ja rakennustekniikassa. Ydinenergia-alalla yli 20 vuotta työskennelleiden osuus on

suuri erityisesti materiaalitekniikassa, mekaniikassa, prosessitekniikassa, säteily-suojelussa ja todennäköisyyspohjaisessa riskianalyysissa. Lisäksi mekaniikassa ja konetekniikassa alalla 10–20 vuotta työskennelleiden määrä on korostuneen alhainen, mikä tulee vaikeuttamaan näiden alojen osaamisen siirtämistä eläköityviltä uusille ikäluokille.

Tällä hetkellä ydinenergia-alan henkilöstön kokemusvuosijakauma on ns. kaksikyttyräinen kameli. Henkilöstössä on paljon uusia ja kokeneita henkilöitä, mutta 10–20 vuotta alalla työskennelleitä on vähän. Tämä henkilöstöryhmä on tullut alalle juuri Tshernobylin onnettomuuden jälkeen, jolloin ala ei työllistänyt eikä se kiinnostanut opiskelijoita. Näiden kokeneiden työntekijöiden vähäisen määrän kanssa on tultava toimeen nyt, kun suuret ikäluokat ovat jäämässä eläkkeelle ja heitä on korvaamassa huomattavasti pienempi asiantuntijaryhmä. Tämä vaikeuttaa osaamisen siirtämistä ikäluokalta toiselle.

Yksi ydinturvallisuuteen vaikuttava tekijä on osaamisen ylläpitäminen ja osaamisen jatkuvuuden turvaaminen. Tämä pitää sisällään sen, että alalle saadaan jatkuvasti uutta osaavaa henkilöstöä. Uusien osaajien saatavuuteen vaikuttaa alan kiinnostavuus, panostaminen tutkimustoimintaan, yhtiöiden halu kehittää ja investoida sekä tasokkaan koulutuksen tarjoaminen. Tämän vuoksi on tärkeää huolehtia, ettei myös Fukushima onnettomuuden seurauksena tapahdu vastaavaa notkahdusta ydinenergia-alan asiantuntijoiden määrässä.

Ydinenergia-alan henkilöstön ikäjakauma on tasainen, mikä osoittaa, että alalle siirtyy henkilöitä, jotka ovat hankkineet ammatillista osaamista muilta aloilta. Tällaista siirtymistä tarvitaan jatkossakin, koska ydinenergia-alalta 10–20 vuoden kokemuksen omaavaa henkilöstöä on vähän. Toisilta aloilta siirtyvän henkilöstön perehdyttäminen ydinenergia-alan erityispiirteisiin vaatii jatkuvaa panostusta koulutukseen sekä alan organisaatioissa että täydennyskoulutuksen puolella.

Suomen ydinenergia-ala on kasvussa ja henkilöstötarve tulee kasvamaan 38 %:lla eli noin 1200 henkilöllä vuoteen 2025 mennessä. Vuonna 2025 alalle tarvitaan noin 4500 henkilöä, mikä on kolmasosa OKM:n arviosta energia-, lämpö ja vesihuoltoalojen työllisten määrästä vuodelle 2025.

Vuonna 2025 ylemmän korkeakoulututkinnon suorittanutta henkilöstöä tullaan tarvitsemaan 34 % enemmän kuin vuonna 2010, alemman korkeakoulututkinnon suorittanutta 54 % ja toisen asteen tutkinnon suorittanutta henkilöstöä 23 % enemmän. Suurin ydinenergia-alan henkilöstömäärän kasvutarve on voimayhtiöissä. Nämä työpaikat tulevat sijaitsemaan ydinlaitospaikkakunnilla ja yhtiöiden muissa toimipisteissä. Lisäksi viranomaiset, VTT ja yliopistot tulevat jatkossakin olemaan merkittäviä työllistäjiä.

Lisää henkilöstöä tarvitaan erityisesti seuraaville asiantuntija-alueille: rakennustekniikka, automaatio ja valvomo, mekaniikka ja konetekniikka, sähkötekniikka, prosessitekniikka sekä laadunhallinta ja tarkastustoiminta. Ydinvoimalaitosten ohjaajat nousivat kyselyssä esiin suurimpana alemman korkeakoulututkinnon suorittaneena henkilöstöryhmänä.

Ydinenergia-alan kasvusta aiheutuvan rekryointitarpeen lisäksi eläkkeelle jäävän henkilöstön tilalle on löydettävä uusia osaaajia. Ydinenergia-alan nykyisestä henkilöstöstä arviolta noin 39% jää eläkkeelle vuoteen 2025 mennessä. Kun otetaan huomioon sekä ydinenergia-alan kasvu että nykyisen henkilöstön eläköityminen, alalle tarvitaan vuoteen 2025 mennessä noin 2400 uutta henkilöä, joilla on oltava osamista alan erityispiirteistä.

Ydinenergia-alan asiantuntija-alueista suurin kasvu kohdistuu niin sanotuille keskeisille tekniikan aloille, joiden asiantuntijat ovat ensi sijassa muiden alueiden kuin ydinenergian asiantuntijoita. Heiltä ei vaadita ydinenergia-alan pääainetasoista koulutusta vaan pääainetasoinen koulutus omasta asiantuntija-alueestaan ja sivuaine- tai täydennyskoulutustasoiset tiedot ydinenergia-alan erityispiirteistä kuten esimerkiksi turvallisuusmerkityksestä.

Osa ydinenergia-alan henkilöstön kasvutarpeesta on aloilla, joita ei ole mielletty perinteisiksi insinöörialoiksi, kuten laadunhallinta ja projektitoiminta. Tällä pitäisi olla vaikutusta näiden alojen koulutukseen ja koulutuksen sisältöön.

Keskeiset ydinenergia-alan asiantuntija-alueet, joilla vaaditaan ydinenergia-alan pääainetasoista koulutusta, ovat tulevaisuudessakin merkittävä asiantuntijahenkilöstöä vaativa tehtäväkenttä. Vaikka näiden alueiden henkilöstötarve ei ole yhtä huimassa kasvussa kuin esim. rakennustekniikan, merkittävä osa asiantuntijoista on jäämässä eläkkeelle ja uusia osaaajia tarvitaan. Alan pääainetasoinen koulutus on siis jatkossakin pidettävä korkealla tasolla.

3 Koulutus

Tässä luvussa kuvataan ydinenergia-alan koulutusta lähtien Suomen yleisestä koulutusjärjestelmästä ja viranomaisvaatimuksista. Näistä edetään perustutkintoihin, tieteellisiin jatko-opintoihin, täydennyskoulutukseen, organisaatioiden omaan koulutukseen sekä kouluttajatarpeisiin. Osaamistyöryhmän kokoonpanosta johtuen käsittely painottuu vahvasti tekniikan ja luonnontieteen näkökulmaan ja yliopistoihin, mutta kuten jo luvusta 2 selviää, ydinenergia-alalla tarvitaan monen eri alan osaajia.

3.1 Koulutusjärjestelmän rakenne Suomessa²

Suomen koulutusjärjestelmä ryhmitellään koulutusasteisiin. Yleensä vain alemman asteen opinnot suorittanut voi opiskella ylemmän asteen koulutuksessa. Koulutukselle määritellään tavoitteet kunkin koulutussektorin lainsäädännössä. Lainsäädännön ohella laadunvarmistukseen kuuluvat opetussuunnitelmien ja näyttötutkintojen perusteet, koulutuksen järjestämis- ja toimiluvat sekä ulkoinen arviointi. Tärkeä osa laadunvarmistusta ovat opettajien kelpoisuutta koskevat säädökset.

Suomen koulutusjärjestelmä muodostuu

- yhdeksänvuotisesta yleissivistävästä perusopetuksesta (peruskoulu), jota ennen lapsilla on oikeus osallistua vuoden kestävään esiopetukseen
- peruskoulun jälkeisestä koulutuksesta, johon kuuluvat ammatillinen koulutus ja lukiokoulutus
- korkea-asteen koulutuksesta, jota annetaan ammattikorkeakouluissa ja yliopistoissa.

Aikuiskoulutusta on tarjolla kaikilla koulutusasteilla.

Peruskoulun jälkeinen koulutus sisältää lukiokoulutuksen ja ammatillisen koulutuksen (ammatilliset perustutkinnot, ammatti- ja erikoisammattitutkinnot). Lukio-koulutus on yleissivistävää ja valmistaa ylioppilastutkintoon. Lukion jälkeen opiskelija voi hakea ammatilliseen peruskoulutukseen tai korkea-asteen opintoihin. Lukio-koulutus kestää 3 vuotta.

Ammatillisen perustutkinnon suorittaneella on alan perusammattitaito ja työelämässä tarvittava alan ammatillinen pätevyys. Tutkinnon laajuus on 120 opintoviikkoa ja opiskelu-aika kolme vuotta. Aikaisemmat opinnot ja työkokemus voivat lyhentää opiskelu-aikaa.

Ammatti- ja erikoisammattitutkinnot ovat ammatillista lisäkoulutusta. Ammatti- ja erikoisammattitutkinnot voidaan suorittaa näyttötutkintoina ja tutkintoihin järjestetään valmistavaa koulutusta.

² Lähdeviite: <http://www.minedu.fi/OPM/Koulutus/koulutusjaerjestelmae/?lang=fi>

Yliopistoissa korostuu tieteellinen tutkimus ja siihen perustuva opetus. Ammattikorkeakoulut tarjoavat käytännönläheistä ja työelämän tarpeita vastaavaa koulutusta.

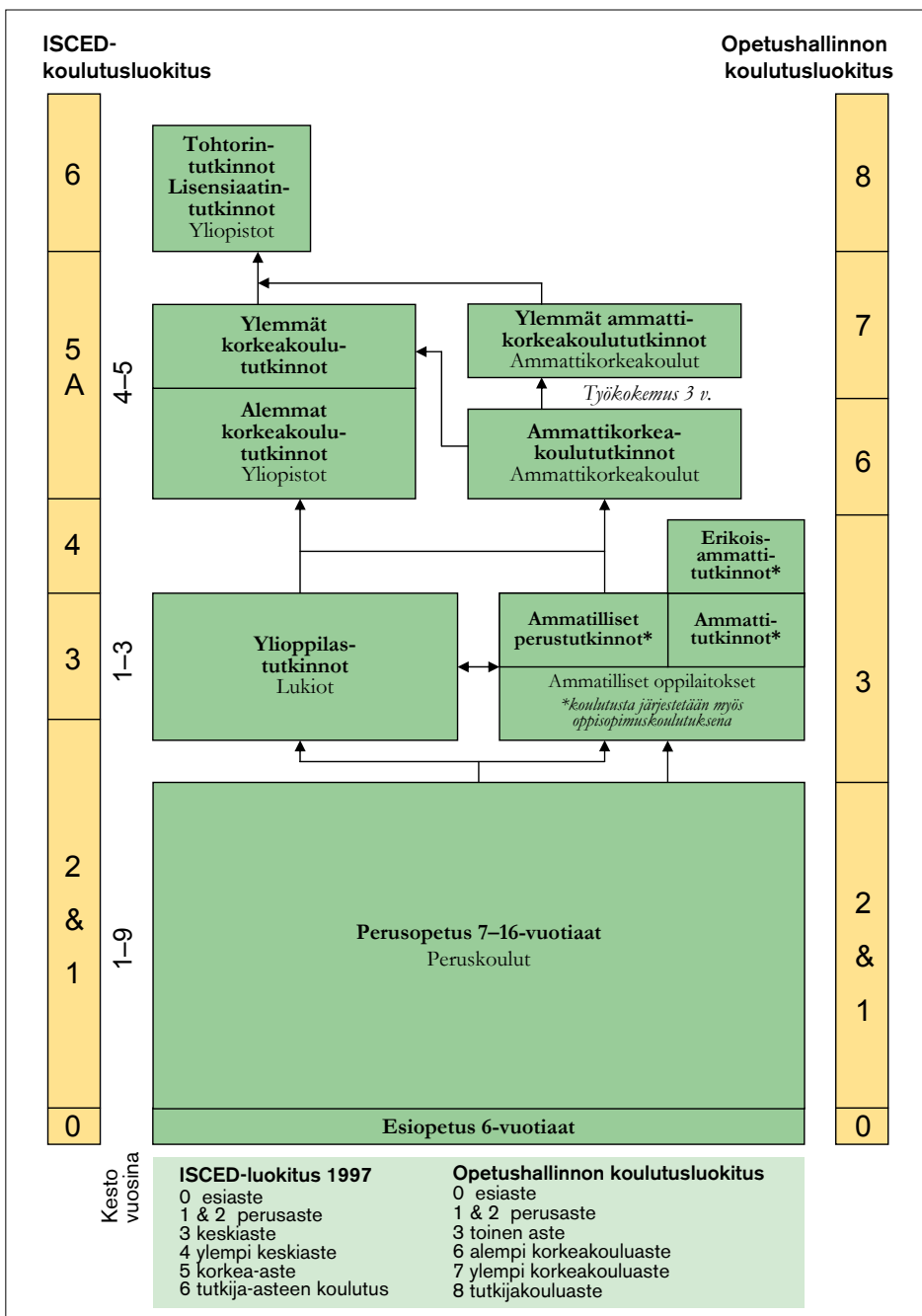
Yliopistoissa eli tiede- ja taidekorkeakouluissa voi suorittaa alempia ja ylempiä korkeakoulututkintoja sekä tieteellisiä jatkotutkintoja, joita ovat lisensiaatin ja tohtorin tutkinnot. Ammattikorkeakoulututkinnon suorittaminen kestää 3,5–4,5 vuotta. Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon edellytyksenä on ammattikorkeakoulututkinto tai muu soveltuva tutkinto. Lisäksi alalta on oltava noin kolmen vuoden työkokemus tutkinnon suorittamisen jälkeen.

Aikuiskoulutuksessa opiskelijan aiemmat tiedot, taidot ja elämäntilanne otetaan huomioon opetuksen sisällössä ja järjestelyissä. Aikuiskoulutus voi olla perustutkinto-opetusta, tutkintoon kuuluvia opintoja, näyttötutkintoihin valmentavaa koulutusta, oppisopimuskoulutusta, ammattitaitoa uudistavaa ja laajentavaa lisä- ja täydennyskoulutusta tai kansalais- ja työelämätaitoihin valmentavia yhteiskunnallisia opintoja ja harrastusopintoja.

Koulutus voi olla opiskelijan kustantamaa tai oppisopimus-, työvoima- tai henkilöstökoulutusta. Aikuiskoulutusta järjestetään nuorten koulutusjärjestelmään kuuluvissa oppilaitoksissa, yksinomaan aikuiskoulutusta järjestävissä oppilaitoksissa, yrityksissä sekä henkilöstökoulutuksena työpaikoilla.

Kuva 3.1. Suomen tutkintojärjestelmä

SUOMEN TUTKINTOJÄRJESTELMÄ



Lähde: OKM

3.1.1 Koulutuspoliittiset linjaukset vuoteen 2016

Valtioneuvosto hyväksyy joka neljäs vuosi suunnitelman koulutuksen ja korkeakouluissa harjoitettavan tutkimuksen kehittämisestä. Vuosia 2011–2016 koskeva kehittämissuunnitelma hyväksytään vuoden 2011 lopulla.³

Kehittämissuunnitelman keskeisiä painopisteitä tulee olemaan koulutuksellisen tasa-arvon toteutuminen, työurien pidentäminen ja osaamistason vahvistaminen. Osaavan työvoiman saatavuutta on tarkoitus parantaa koulutusjärjestelmän toimintaa tehostamalla ja koulutustarjontaa suuntaamalla, mikä tarkoittaa tutkinnon suorittamiseen käytettävän ajan lyhentämistä, nivelvaiheiden lyhentämistä, päällekkäiskoulutuksen vähentämistä, koulutuksen läpäisyn parantamista sekä koulutustarjonnan ja työvoiman kysynnän kohtaannon parantamista.

Korkeakoulujen koulutustarjonta vuonna 2016 tullaan mitoittamaan kansallisen ennakkoinnin pohjalta, jonka mukaan yliopistojen koulutustarjonnan kokonaisvolyymi tulisi säilyttää nykyisellä noin 20000 aloituspaikan tasolla ja ammattikorkeakoulujen aloittajamääriä tulisi vähentää nykyisestä noin 28000 aloituspaikasta noin 2200 aloituspaikalla vuonna 2013. Ammattikorkeakoulujen vähennykset on tarkoitus suunnata erityisesti kulttuurialalle, matkailu-, ravitsemis- ja talousalalle sekä tekniikan ja liikenteen alalle.

Korkeakoulujen rakenteellinen kehittäminen on edennyt viime vuosina korkeakoulujen omien kehittämislinjausten pohjalta. Yliopistojen määrä on vähentynyt 20 yliopistosta 16 yliopistoon ja ammattikorkeakoulujen 30 ammattikorkeakoulusta 25 ammattikorkeakouluun. Samanaikaisesti korkeakouluverkko on tiivistynyt korkeakoulujen toimipisteiden määrän vähetessä. Korkeakouluverkko on edelleen liian sirpaloitunut. Läpäisyyn, vetovoimaan ja työllistymiseen liittyvät ongelmat ovat yleisiä yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen pienissä sivutoimipisteissä.

Korkeakoulujen rahoitusmallin uudistamisessa tullaan painottamaan laatua ja vaikuttavuutta. Yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen rahoituksella on tarkoitus tukea nykyistä paremmin koulutuksen läpäisyn parantamista, nopeampaa siirtymistä työelämään, opetuksen ja tutkimuksen laadun parantamista, kansainvälistymistä sekä korkeakoulujen profiloitumista vahvuusaloilleen.

Ammattikorkeakoulujen opiskelijamääriä tultaneen vähentämään lähivuosina tekniikan alalla. Ammattikorkeakoulujen tulee tiivistää yhteistyötä sekä selkeyttää työjakoa tekniikan alan koulutuksen järjestämisessä. Ammattikorkeakoulujen tehtävissä painottuvat työelämäyhteydet ja aluevaikuttavuus, minkä mukaisesti ammattikorkeakouluissa järjestettävän ydinenergia-alaan liittyvän koulutuksen tulisi painottaa ydinvoimalaitosten lähivaikutuspiirissä toimiviin korkeakouluihin, joissa on myös riittävä tekniikan alan osaaminen ja koulutusvolyymi.

3 Lähdeviitte: OKM: "Tasapainoiseen työllisyyskehitykseen 2025. Ehdotus koulutustarjonnan tavoitteiksi vuodelle 2016", OKM työryhmämuistioita ja selvityksiä 2011:16, saatavilla http://www.minedu.fi/OPM/Julkaisut/2011/Ehdotus_koulutustarjonnan_tavoitteiksi_vuodelle_2016.html?lang=fi

3.2 Viranomaisvaatimukset henkilöstölle

Ydinenergialain 55§:n mukaan STUK voi asettaa kelpoisuusehtoja ydinenergian käyttöön osallistuville henkilöille ja tutkia näiden kelpoisuusehtojen täyttämistä. Ydinenergia-asetuksen 125§:ssä määritellään vastuullisen johtajan koulutusvaatimukset ja 119§:ssä täsmennetään STUKin roolia koulutuksen ja henkilöstön osaamisen valvonnassa.

STUK on asettanut tarkempia vaatimuksia henkilöstön osaamiselle ja koulutukselle useissa YVL-ohjeissa, kuten:

- Organisaatioille ja sen pätevyydelle asetetaan vaatimuksia tarkastuslaitoksia, ydinlaitosten johtamisjärjestelmää ja ydinlaitoksen laadunhallintaa koskevissa ohjeissa (YVL 1.3, YVL 1.4 ja YVL 1.9)
- Ohjaajien ja ydinlaitoksen henkilökunnan pätevyyttä koskevat vaatimukset esitetään ohjeissa YVL 1.6 ja YVL.17.

Teknisiä järjestelmiä ja laitteita koskevissa ohjeissa esitetään henkilöstön pätevyysvaatimuksia muun muassa järjestelmäsuunnitteluohjeessa, painelaiteohjeissa, rakentamista koskevissa ohjeissa, sähkö- ja automaatiotekniikan ohjeissa, polttoaineen suunnitteluohjeessa sekä säteilysuojeluohjeessa.

STUK on uudistamassa YVL-ohjeistoa ja tässä yhteydessä eri ohjeissa esitetyt vaatimukset tullaan kokoamaan ohjeeseen YVL A4 ”Ydinlaitoksen henkilöstö ja organisaatio”. Uusi ohjeisto tulee voimaan vuoden 2012 aikana.

Kuva 3.2. Ydinvoimalaitoksen operaattorien koulutusta simulaattorilla.
(Kuva: TVO)



Säteilylaki asettaa toiminnanharjoittajille koulutusvelvollisuuteen liittyviä vaatimuksia 14 §:ssä ja 36–38 §:ssä tarkennetaan työntekijöille annettavaan koulutukseen liittyviä vaatimuksia. Lisäksi säteilylain 44§:ssä valtuutetaan sosiaali- ja terveysministeriön päätöksellä (10.5.2000) säädetään erityisesti mm. kliinisen vastuun edellyttämää säteilysuojelukoulutusta koskevista vaatimuksista.

Ohjeessa ST1.8 ”Säteilyn käyttöorganisaatioissa toimivien henkilöiden pätevyys ja pätevyyden edellyttämä säteilysuojelukoulutus” kuvataan säteilyn käytöstä vastaavan johtajan, lääketieteellisen fysiikan asiantuntijan, säteilyasiantuntijan ja muiden säteilyn käyttöorganisaatioissa toimivien henkilöiden koulutus- ja pätevyysvaatimukset. Ohjeessa kuvataan myös näihin tehtäviin pätevöittävää koulutusta antaville organisaatioille asetetut vaatimukset.

Ydinenergialain mukaan toiminnanharjoittajan on järjestettävä riittävä koulutus ydinturvallisuuteen liittyviä tehtäviä hoitavan henkilöstönsä asiantuntemuksen ja taitojen ylläpitämiseksi ja kehittämiseksi. Vastuullisen johtajan ja muiden edellä mainittujen vastuuhenkilöiden osalta tähän tarkoitukseen soveltuvaa koulutusta ei kuitenkaan ole ollut saatavilla – varsinkaan turvajärjestelyjä koskevaa koulutusta. Sopivan koulutuksen puuttuessa toiminta on pitkälti perustunut vastuuhenkilöiden itseopiskeluun.

Ydinlaitoksilla toimivilta turvahenkilöiltä, jotka toimivat ydinenergialain (YEL) ja sen nojalla annettujen asetusten puitteissa ja näiden säädösten mukaisin toimivaltuuksin, edellytetään myös vartijan tms. peruskoulutusta. Yksityisistä turvallisuuspalveluista annetussa laissa (LYTP) ja sen nojalla annetuissa säädöksissä on esitetty määräykset vartijoiden koulutuksesta sekä vartijoiden voimankäyttöön ja voimankäyttövälineisiin liittyvästä koulutuksesta ja vuosittaisesta kertauskoulutuksesta. Näiltä osin koulutustarjontaa on riittävästi.

3.3 Korkea-asteen perustutkinnot yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa

Ydinenergia-alalla tarvitaan usean erityisalan osaajia, joita koulutetaan maamme yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa. Erityisesti insinöörialan ja luonnontieteiden koulutusohjelmista saadaan henkilöstöä ydinenergia-alan organisaatioihin. Tarvittavia osaamisalueita kuvataan tarkemmin kappaleessa 3.3.1.

Ydinenergiaan liittyvien erityisalojen koulutusta käsitellään kappaleessa 3.3.2 ja näiden erityisalojen sivuaineopetusta kappaleessa 3.3.3. Ydinenergia-alalla tarvitaan syvällistä osaamista, jota voidaan saavuttaa tieteellisillä jatko-opinnoilla (3.4), täydennyskoulutuksella (3.5) ja organisaatioiden henkilöstökoulutuksella (3.6).

3.3.1 Yleistä

Ydinvoimalaitos on lämpövoimalaitos, jonka rakentaminen, uudistaminen ja käyttö edellyttävät monien eri tekniikan alan ammattilaisten panosta. Tämä selviää kuvasta

3.3, joka on saatu tehdystä kyselystä. On kuitenkin erotettavissa osaamisaloja, joita tarvitaan pääasiassa vain ydinenergia-alalla tai jopa yksinomaan ydinenergia-alalla.

IAEA:n mukaiset ydinturvallisuuteen liittyvät pääturvallisuustoiminnot ovat (viite: Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev 1 INSAG-12, 1999 IAEA Austria):

- A** reaktiivisuuden hallinta
- B** jäähdytys
- C** suojarakennustoiminto eli leviämisseiden eheydestä huolehtiminen

Näistä on johdettavissa käyttökelpoiseen jaotteluun johtavat ydinspesifiset osaamisalat, kun ensimmäinen ja viimeinen em. turvallisuustoiminnoista jaetaan kahdella. Ydinenergian tuottamiseksi tehokkaasti ja turvallisesti ja ydinjätteistä huolehtimiseksi on osattava:

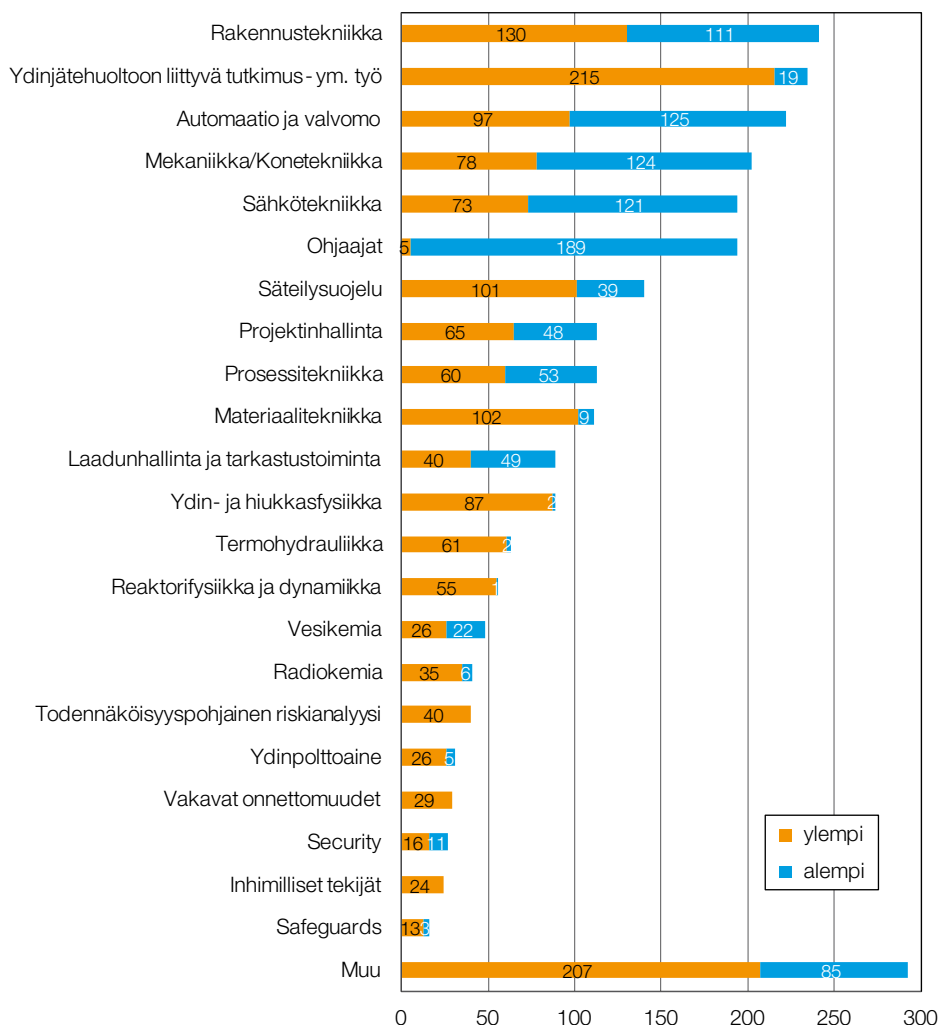
- 1) ketjureaktion dynaaminen aikaansaaminen ja hallitseminen vuorovaikutuksessa jäähdytteen kanssa
- 2) kriittisyysturvallisuus eli fissioituvan materiaalin käsittely niin, ettei ketjureaktiota synny muualla ja muulloin kuin reaktorin sydämessä tehoa tuottaessa
- 3) ydinpolttoaineen jäähdyttäminen ja jälkilämmön poistaminen kaikissa mahdollisissa normaaleissa sekä häiriö- ja onnettomuustiloissa, mikä kevytvesireaktoreissa edellyttää ennen kaikkea veden ja höyryn termohydrauliikan hallintaa
- 4) energiaa tuottavien kemiallisten reaktioiden välttäminen häiriö- ja onnettomuustilanteissa
- 5) säteilyn ja kemiallisten reaktioiden vuorovaikutukset rakenteiden kestävyys- ja ikääntymiseen sekä radioaktiivisten aineiden leviämiseen

Turvallisuus on kunnossa, kun pidetään huolta ydinturvallisuudesta, säteilyturvallisuudesta ja turvallisuuskulttuurista, mikä sisältää motivaation ymmärtää ydinenergian tuotannossa tarpeen turvallisuusasioiden ensisijaisuudelle sekä korkeille laatuvaatimuksille. Eli yllä olevaa listaa on vielä täydennettävä kahdella kohdalla:

- 6) säteilyturvallisuus
- 7) turvallisuuskulttuuri

Seitsemän ydinspesifisen osaamisalan ja 21 ydinenergia-alan asiantuntemusalan suhdetta on käsitelty taulukossa 3.1. Vertailusta näkee, mitkä ydinturvallisuuden osaamisaloista ovat oleellisia ydinenergia-alalla työskenteleville eri asiantuntija-alojen edustajille.

Kuva 3.3. Ydinenergia-alan nykyinen henkilöstö osaamisalueittain



Kaikkien ydinenergia-alalla työskentelevien on hallittava turvallisuuskulttuuri, mutta suurelle osalle alan ammattilaisista tieto ydin- ja säteilyturvallisuudesta on tarpeen turvallisuuskulttuurin tärkeyden motivoimiseksi. Heille riittää niiden opettaminen täydennyskoulutusvaiheessa. Säteilyturvallisuuden hallinta on tärkeää varsinkin kaikille itse ydinlaitoksissa työskenteleville. Osaamisen kunnioittaminen on osa turvallisuuskulttuuria, ja turvallisuuden pettäessä menetetään aina myös taloudellisuus.

Reaktiivisuuden ja lämmönsiirron hallinta ovat myös tehontuotannon perusta ja ne sekä tarvittava voimalaitostekniikka vaativat myös mm. materiaali-, sähkö- ja automaatiotekniikan hallintaa, jotka on lueteltu alan asiantuntijamääriä kartoittavissa taulukoissa, mutta ne alat eivät ole yhtä ydinenergiaspesifisiä. Ydinjätteiden käsittely ja loppusijoittaminen vaativat tietoa useilta tieteenaloilta.

Em. listan ydinenergiaspesifisten alojen todellinen hallinta vaatii monivuotisen teoreettisen opiskelun, joten se olisi hankittava perustutkintovaiheessa joko pääaine- tai sivuaineopinnot. Näiden asioiden opettaminen vähintään sivuaineopinnot olisi kannatettavaa myös hyvin monilla ydinvoimalaitoksiin liittyvillä asiantuntija-aloilla. Osa osaamisista on saavutettavissa täydennyskoulutuksella.

Taulukko 3.1. Karkea havainnollistaminen: mitkä yo. seitsemästä ydinturvallisuuden osaamisalasta ovat oleellisia ydinenergia-alalla työskenteleville eri asiantuntija-alojen edustajille. Asiantuntijan täytyy olla ensi sijassa oman alueensa asiantuntija. Lisäksi hän tarvitsee perusosaamisen kaikista seitsemästä osaamisalueesta. Osa asiantuntijoista tarvitsee syvällisempää maisteritason koulutusta yhdestä tai useammasta näistä seitsemästä osaamisalueesta, mitä kuvataan taulukon x:illä.

Ydinenergia-alan asiantuntemusalat	1 ketjur.	2 kriitt.	3 jäähd.	4 häiriöt.	5 kem.	6 sät.	7 kultt.
Security						x	x
Safeguards		x					x
Säteilysuojelu						x	x
Radiokemia		x		x		x	x
Vesikemia				x			x
Ydin- ja hiukkasfysiikka						x	x
Ohjaajat	x	x	x	x	x	x	x
Sähkötekniikka							x
Automaatio ja valvomo	x						x
Mekaniikka/Konetekniikka				x			x
Rakennustekniikka				x			x
Inhimilliset tekijät							x
Reaktorifysiikka ja -dynamikka	x	x	x				x
Ydinpolttoaine	x	x	x				x
Termohydrauliikka	x		x		x		x
Prosessitekniikka	x				x		x
Vakavat onnettomuudet		x	x		x		x
Materiaalitekniikka				x			x
Todennäköisyyspohjaiset riskianalyysit	x		x		x		x
Laadunhallinta ja tarkastustoiminta				x			x
Projektihallinta							x

Myös ydinjätehuollon parissa työskentelevien on hallittava ydinturvallisuuden päätoiminnot soveltuvien osin yhdessä syvien maanalaisten työskentely-ympäristöjen ja perinteisen työturvallisuuden erityispiirteiden kanssa.

Tässä hankkeessa tehdyssä kyselytutkimuksessa selvitettiin ydinenergia-alan koulutusta antavien yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen koulutustarjontaa. Tiivistetyssä muodossa tieto löytyy raportin liitteestä 3 korkeakouluittain. Keskeisin perustutkinto- ja kurssitarjonta:

- **Aalto-yliopisto (Aalto):** useita alalle soveltuvia koulutusohjelmia; esim. energiatieteet (fissio ja fuusio), pohja- ja kalliorakentaminen, koneenrakennuksen

materiaalitekniikka, soveltava materiaalitiede, työpsykologia ja johtaminen, automaation tietotekniikka.

- **Helsingin yliopisto (HY):** radiokemian maisteriohjelma, fysiikan maisteriohjelma, lääketieteellisen fysiikan suuntautumisvaihtoehto.
- **Itä-Suomen yliopisto (ISY):** ympäristöterveyden ja ympäristöbiologian suuntautumisvaihtoehtot, lääketieteellisen fysiikan suuntautumisvaihtoehto.
- **Jyväskylän yliopisto (JY):** fysiikan laitoksella useita soveltuvia suuntautumisvaihtoehtoja, esim. ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka, soveltava säteily- ja biofysiikka, materiaalfysiikka, teollisuusfysiikka.
- **Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT):** ydinvoimatekniikan koulutusohjelma; lisäksi soveltuvat koulutusohjelmat konetekniikka, kemiantekniikka, tuotantotalous, teknillinen fysiikka ja matematiikka.
- **Oulun yliopisto (OY):** ydinenergia-alan koulutusta palvelevia oppiaineita teknillisessä tiedekunnassa sekä luonnontieteellisen tiedekunnan fysiikan ja kemian laitoksilla
- **Tampereen teknillinen yliopisto (TTY):** ydinenergia-alaan liittyvää koulutusta automaatiotekniikan, konetekniikan, rakennustekniikan, signaalinkäsittelyn ja tietoliikennetekniikan, sähkötekniikan, tietotekniikan, tuotantotalouden sekä ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelmissa.
- **Åbo Akademi (ÅA):** fysiikan laitoksella ydinfysiikan suuntautumisvaihtoehto.
- **Kajaanin AMK (KAMK):** ydinenergia-alan kurssikokonaisuus (15 op) koulutusohjelmissa tietotekniikka, kone- ja tuotantotekniikka sekä rakennustekniikka.
- **Keski-Pohjanmaan AMK (KPAMK):** ydinenergia-alan kurssikokonaisuus suunnitteilla sähkötekniikan koulutusohjelmassa.
- **Oulun seudun AMK (OAMK):** ydinenergia-alan kursseja suunnitteilla energiatekniikan koulutusohjelmassa.
- **Satakunnan AMK (SAMK):** ydinvoimamoduuli suunnitteilla insinöörikoulutukseen sekä täydennyskoulutukseen.

3.3.2 Ydinenergiaan liittyvät erikoisalajat yliopistoissa

Tyypillisesti Euroopan maissa ydinvoimatekniikan koulutusta antavissa yliopistoissa on muutamia ydinvoimaspesifisiin aloihin erikoistuneita professuureja, joilla katetaan taulukon 3.1 erikoisalajat (esim. reaktorifysiikka, reaktoritekniikka, vakavat onnettomuudet, säteilymittaukset, instrumentointi). Yhden professuurin vastuulle kuuluu yksi tai muutama näistä erikoisaloista ja useamman professuurin avulla katetaan ydinvoimatekniikan koko kenttä.

Suomessa kuitenkin Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa ja Aalto-yliopistossa on kummassakin vain yksi alan professuuri, joka tuo tutkintoon ydinvoimaosaamisen. LUT:ssa professuuri sijaitsee energiatekniikan koulutusohjelmassa. Sieltä valmistuvat opiskelijat hallitsevat voimalaitosprosessin kokonaisuuden, lämpö- ja virtaustekniikan sekä reaktorifysiikan. Aallon professuuri on teknillisen

fysiikan koulutusohjelmassa ja opiskelijoilla on pohjatietoina fysiikan ja matematiikan osaaminen ja siten valmius eri asioiden teoreettiseen mallinnukseen.

Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorio (HYRL) on Suomen yliopistoissa ainut yksikkö, jossa annetaan laaja-alaista radiokemian opetusta. HYRL:n antama radiokemian maisterikoulutus on kansainvälisesti ainutlaatuisen kattava. Myös Turun yliopistossa on radiokemian professuuri, mutta opetus on HYRL:in verrattuna pienimuotoista ja tutkimus painottuu vain radiolääkeainekemiaan. Säteilyn havaitsemista ja mittaamista opetetaan HY:n muissakin yksiköissä ja muissa korkeakouluissa mutta radiokemian opetusta on vain vähän.

Itä-Suomen yliopistossa annetaan systemaattista maisterintutkintoon kuuluvaa säteilysuojelun koulutusta. Ympäristötieteen koulutusohjelman sisältyy kaikille pakollinen peruskurssi säteilyasioista, ja ympäristöterveyteen (joka on toinen kahdesta suuntautumisvaihtoehdosta) suuntautuvat opiskelijat voivat lisäksi valita useita säteilysuojeluun liittyviä kursseja. Tällä alalla on yksi professori, jonka alueeseen kuuluu sekä ionisoiva että ionisoimaton säteily. Soveltavan fysiikan laitos antaa lääketieteellisen fysiikan opetusta, mihin sisältyy tällä alalla toimivien fyysikkojen tarvitsema säteilysuojeluosaaminen. Vaikka näkökulma tässä on potilaiden ja hoitohenkilökunnan säteilysuojelu, koulutuksessa annettava osaaminen soveltuu myös ydinenergian käyttöön liittyviin säteilysuojelukysymyksiin. Myös muissa yliopistoissa, mm. Aalto-yliopistossa ja LUT:ssa, on tarjolla säteilysuojelukoulutusta, josta voi saada vastaavan johtajan tutkinnon.

3.3.3 Ydinenergia-alan koulutus sivuaineena

Realistisesti ei voida ajatella, että kaikkiin yliopistoihin voitaisiin perustaa kaikkien erikoisalojen professorit. Siksi on kannustettava yliopistoja yhteistyöhön. Perusopiskelijat eivät kuitenkaan muiden yhtäkaisten opintojensa takia pysty liikkumaan kursseille eri paikkakunnille, joten on hyödynnettävä nykyaikaisia mahdollisuuksia etäopetukseen. Kurssitarjonnan monipuolisuutta on myös lisätty vierailevien opettajien käytöllä, mutta tähän on aina vaikeampi löytää rahoitusta. On harkittava ydinenergia-alan erityyppisten organisaatioiden koordinoitua mukanaoloa myös perusopetuksen monipuolisessa järjestämisessä.

Alalla toimii ja sillä tarvitaan varsinaisen ydinteknisen koulutustaustan omaavien lisäksi myös paljon mm. rakenteellisen turvallisuuden/ materiaalitekniikan ja organisaatioiden ja ihmisen toimintaan perehtyneitä osaajia. Olisi hyvä, jos näitä ajatellen yliopistotutkintoja tällaisilla aihealueilla suorittaville olisi tarjolla ydintekniikan perehdytyskursseja tai sivuainekokonaisuuksia. Nämä voisivat olla laitosten ja jopa yliopistojen yhteisiä kokonaisuuksia ja laajasti valinnaisena osiona tarjottavia. Täydennyskoulutus on erittäin tärkeä asia, mutta alalle tuloa voisi helpottaa jo tutkintokoulutuksen aikana.

3.4 Tieteelliset jatko-opinnot

Ydinenergia-alalla toimivasta 1585:sta vähintään ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneesta asiantuntijasta 232:llä (15%) on tohtoritutkinto ja 55:lla (3%) lisensiaattitutkinto. Ei ole tiedossa, kuinka suuri osuus näistä asiantuntijoista on saanut tohtorikoulutuksensa muissa kuin varsinaisissa ydinenergia-alan koulutukseen keskittyvissä yliopistoyksiköissä ja pätevöityneet alalle työkokemuksen ja täydennyskoulutuksen kautta. Todennäköisesti osuus on varsin suuri.

Suurin osuus tohtoreita on yliopistoissa (AY, HY, JY, ISY, LUT), joissa se on keskimäärin 43% (25–73%). Myös tutkimuslaitoksissa (VTT, GTK) tohtorien osuus on varsin suuri, 30% (24–34%), samoin kuin viranomaisorganisaatioissa (STUK, TEM, TEKES), joissa se on 17% (17–18%). Tohtorien osuus asiantuntijoista on pienin ydinvoimatuotanto- ja suunnitteluteollisuudessa (TVO, Fortum, Fennovoima, ABB, FinNuclear), jossa se on vain 5% (0–9%). Sen sijaan ydinjätehuoltoon keskittyneissä yrityksissä (Posiva, Saario&Riekkola) tohtorien osuus on selvästi tätä korkeampi, 15% (14–15%). Selvityksen perusteella ei voida päätellä, mille ydinenergian erityisalueille tohtorit ovat sijoittuneet.

Varsinaista ydinenergia-alan keskittynyttä tohtorikoulutusta antavat vain Aalto-yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio. Näiden lisäksi merkittävä osuus alalle tulevista tohtoreista on koulutettu Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella, joka on maamme johtava ydinfysiikan yksikkö. Itä-Suomen yliopiston Kuopion yksikössä on säteilysuojeluun keskittynyttä tohtorikoulutusta. Tutkimuslaitoksissa, erityisesti VTT:llä, on suuri joukko tohtorikoulutettavia, jotka tekevät tohtoriväitöskirjansa johonkin em. yliopistoista.

Tässä kohtaa on syytä tähdentää, että yliopistoissa kirjoilla olevat jatko-opiskelijat eivät ole sama asia kuin valmistuvat tohtorit. Merkittävä osa jatko-opiskelijoista on osa-aikaisia töiden ohella väitöskirjaa tekeviä, jolloin valmistumisajat ovat pitkiä, eivätkä kaikki väittele koskaan. Kaikki yliopistojen ilmoittamat jatko-opiskelijat eivät myöskään ole ydinenergia-alan jatko-opiskelijoita, vaan mukana on sivuavia aloja, joiden opiskelijat eivät koskaan päädy ydinenergia-alalle. Jatko-opintojen koulutusvolyymia on siis tarkasteltava valmistuvien tohtorien, ei jatko-opiskelijoiden määrän perusteella.

Aalto-yliopistossa reaktori- ja säteilyfysiikan koulutuksesta on perinteisesti varttanut teknillisen fysiikan laitos, jossa toimivissa fissio- ja fuusiotutkimusryhmissä koulutetaan tekniikan tohtoreita erityisesti ydinenergia-alan tarpeisiin. Yhteensä tohtorikoulutettavia on 15, joista neljä toimii fissio- ja säteilyfysiikan tutkimusalueella (palamalaskenta, polttoaineen käyttäytyminen, gammaspektrometria) ja loput fuusioalueella (plasman turbulenssimallinnus, hiukkasratojen simulointi, plasman reuna-alueen ja ensiseinämän mallinnus). Näiden lisäksi teknillisen fysiikan laitokselle valmistee väitöskirjaansa lukuisa joukko ei-yliopistotutkijoita erityisesti VTT:ltä, Fortumilta ja STUK:sta. Keskimäärin ydinenergia-alalle suuntautuneita tekniikan tohtoreita teknillisen fysiikan laitokselta valmistuu vuosittain 2–3, pääosin fuusiotutkimuksesta.

Aalto-yliopistossa ydinenergia-alalle tohtoreita kouluttavat teknillisen fysiikan laitoksen lisäksi myös muut laitokset. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksen kalliorakentamista, rakennusgeologiaa ja geotekniikkaa ydinjätteen geologista loppusijoittamista varten tutkivissa tutkimusryhmissä tekee väitöskirjaansa 7 jatko-opiskelijaa, joista osa tekee väitöskirjaansa osa-aikaisesti. Heistä väittelee noin yksi kahdessa vuodessa. Koneenrakennustekniikan laitoksella ydinvoimalaitosten rakenteelliseen turvallisuuteen, materiaaleihin ja valmistustekniikkaan sekä ydinjätteen loppusijoituskapselin materiaalien, valmistus- ja tarkastustekniikan tutkimukseen liittyvää väitöskirjatutkimusta tekee 8 opiskelijaa ja sieltä valmistuu vuosittain 1 opiskelija. Aalto-yliopiston uusi suunnitelma vahvan ydinenergiaosaamiskeskittymän luomiseksi Otaniemeen tulee varmasti lisäämään sen tohtorituotantoa tällä alueella. Tavoitteena onkin 4-5-kertaistaa tämän alan tohtoreiden tuotto viidessä vuodessa.

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa toimivat energiatekniikan koulutusohjelmassa ydinvoimatekniikan ja ydinturvallisuuden sekä myös yleisemmän virtausmekaniikan tutkimusyksiköt, joiden tärkein tutkimusalue on kokeellinen ja laskennallinen termohydrauliikka. Täydentäviä ja liittyviä tutkimusalueita ovat ydinpolttoainekierron ja reaktorifysiikan laskennalliset tutkimukset. Näissä yksiköissä tekee väitöskirjaansa yhteensä noin kymmenen ydinalan tohtoriopiskelijaa ja ydinalalle erikoistuneita valmistuvia tohtoreita on ollut noin yksi vuodessa. Myös LUT:lla on merkittävä määrä jatko-opiskelijoita, jotka suorittavat tohtoriopintoja sivutoimisesti työskennellen ydinalan muissa organisaatioissa. Tavoitteena on kolminkertaistaa tohtorituotanto viidessä vuodessa.

Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio on Suomen ainoa radiokemian yksikkö, joka tuottaa radiokemian tohtoreita ydinenergia-alalle. Laboratoriossa on tällä hetkellä 14 väitöskirjatyöntekijää, joista kymmenen väitöskirja-aihe kuuluu ydinenergia-alalle. Suurin tutkimusalue on käytetystä ydinpolttoaineesta liukenevien radionuklidien kulkeutuminen ja pidäytyminen bentoniittipuskurissa, kallioperässä ja maaperässä. Lisäksi tutkitaan radionuklidien erottamista ydinjäteliuoksista selektiivisillä epäorgaanisilla ioninvaihtimilla sekä ympäristön radioaktiivisuutta.

Viimeisin kymmenen vuoden aikana on vuosittain valmistunut keskimäärin 1,7 väitöskirjaa. Näistä radiokemian laboratorion ulkopuolella tehtyjä tutkimuksia oli lähes puolet. Noin kolmasosa väitöskirjoista liittyy suoraan ydinenergia-alaan, toinen kolmasosa ympäristön radioaktiivisuuteen ja loput muille aloille. Radiokemian laboratoriossa tehtävien väitöskirjojen määrä tulee vuodesta 2012 alkaen kasvamaan noin kaksinkertaiseksi ja pääosa väitöskirjoista tulee olemaan ydinenergia-alueelta. Lisäksi Helsingin yliopiston fysiikan laitokselle tekee ydinenergia-alan tutkimusta neljä väitöskirjatyöntekijää, joiden tutkimusalueina ovat reaktorimateriaalien säteilyvauriot, fuusioreaktoreiden plasma-seinämävuorovaikutukset ja säteilyn ilmaisimien säteilynkestävyys.

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella toimii tällä hetkellä noin 70 väitöskirjatyöntekijää ja vuosittain valmistuu 10-15 tohtoria, joista noin runsas puolet ydin-

alkeishiukkas- ja kiihdytinpohjaisessa fysiikassa. Tutkimus on pääosin fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratoriossa ja CERNissä suoritettavaa subatomaarisen fysiikan ja materiaalfysiikan perustutkimusta mutta sisältää myös soveltavia hankkeita radiolääketieteen, nanoteknologian, avaruustutkimuksen ja ydin- ja säteilyturvallisuuden aloilla. Valmistuvilla tohtoreilla ei yleensä ole suoria ydinenergia-alan käytännön valmiuksia. Työssä oppimisen ja täydennyskoulutuksen kautta useista JY:n fysiikan laitoksen tohtoreista on tullut ydinenergia-alan asiantuntijoita. JY:n fysiikan laitoksella tehdään myös suoraan ydinenergia-alaan liittyvää tutkimusta, erityisesti kallion huokoisuuden ja sisäisen rakenteen määrittämenetelmien kehittämisessä, kulkeutumisilmiöiden (matriisidiffuusio yms.) kokeellisessa ja teoreettisessa tutkimuksessa, bentoniittipuskurin termomekaniikan ja eroosion sekä ydinturvallisuuteen että ydinenergiaan liittyvien fissiovaikutusalojen ja reaktorin hajoamislämpöön liittyvien tutkimusten aloilla. Näillä aloilla valmistellaan kuutta väitöskirjaa.

Itä-Suomen yliopiston Kuopion yksikön ympäristötieteen laitoksen säteilytutkimusryhmässä tutkitaan pääosin ionisoimatonta säteilyä. Ionisoivan säteilyn tutkimuksen parissa (säteilyn biologiset vaikutukset ja radionuklidien kulkeutuminen biosfäärissä) työskentelee tällä hetkellä kolme väitöskirjatyöntekijää. Itä-Suomen yliopiston koordinoimana toimii Suomessa Ympäristöterveyden tohtoriohjelma (SYTYKE), jossa yhtenä koulutuksen ja tutkimuksen alueena on säteily (muuta ovat esim. ilma, vesi, kemikaalit). Itä-Suomen yliopiston lisäksi mukana ovat Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Säteilyturvakeskus, Työterveyslaitos ja Helsingin yliopisto.

VTT ei tutkimuslaitoksena voi itsenäisesti tuottaa tohtoreita, mutta sen tutkimuksesta on syntynyt ja syntyy merkittävä määrä väitöskirjoja. Pääosin väitökset tehdään Aalto-yliopistoon. Vuosittain VTT:ltä valmistuu useita ydinenergia-alan tohtoreita ja tällä hetkellä tohtorin väitöskirjaansa tällä alalla tekee lähes 30 tutkijaa, suurin osa tosin osa-aikaisesti.

Suomalaisen ydinenergia-alan jatkokoulutusmahdollisuudet ovat vuoden 2011 aikana parantuneet merkittävästi, kun Suomen Akatemia myönsi rahoituksen Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelmalle (YTERA) vuosiksi 2012–2015. Ohjelmaa koordinoi Aalto-yliopisto ja siinä ovat muina akateemisina kumppaneina Helsingin yliopisto ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Lisäksi mukana ovat VTT, viranomaiset (STUK, TEM) ja ydinenergiateollisuus (Fennovoima, Fortum, TVO, Posiva). Tohtoriohjelman puitteissa aloittaa työnsä vuoden 2012 alusta alkaen seitsemän uutta väitöskirjatyöntekijää. Näiden lisäksi tohtoriohjelmaan kuuluvat kaikki muut, muulla rahoituksella tällä alalla osallistujaorganisaatioissa väitöskirjaansa tekevät tutkijat, yhteensä yli 50 henkilöä. Ohjelma tulee olemaan erittäin hyvä yhteistyö- ja suunnittelufoorumi suomalaisen ydinenergia-alan jatkokoulutuksessa. Sen puitteissa tullaan myös järjestämään yhteisiä seminaareja ja kursseja.

Keskeisin puute tutkijakoulutuksessa on vähäinen senioriohjaajien, erityisesti professorien, määrä. Suomessa on vain kolme spesifistä ydinenergia-alan professuuria, ydintekniikan professuurit Aalto-yliopistossa ja LUT:ssa sekä radiokemian professuuri Helsingin yliopistossa. Lisäksi VTT:llä on ydinpolttoaineen

loppusijoitustutkimuksen tutkijaprofessori ja monet tohtorintutkinnot tehdään VTT:n eri asiantuntijoiden ohjauksessa. Ydinenergia-alan tutkimuksen ohuudesta johtuen useat jatko-opiskelijat ovat kuitenkin hyvin yksin erikoisaloiheen. Jatkossa on entistä enemmän tukeuduttava kansainväliseen tutkimus- ja koulutusyhteistyöhön esimerkiksi ENEN-, CINCH- ja Petrus-verkoston kautta⁴. On kuitenkin muistettava, että ydinenergia-alalla on kansallisia erityisvaatimuksia, joten kotimaista asiantuntemustakin tulee vahvistaa.

3.5 Korkeakoulujen tarjoama täydennyskoulutus

Tutkimusmateriaalista voi täydennyskoulutuksen osalta todeta samaa kuin alan koulutuksesta muutenkin: sen mitä ydinenergia-alan täydennyskoulutukseen kuuluu voi ymmärtää joko suppeasti tai laajasti. Osa vastaajista on käsitellyt asiaa siten, että aihepiiriin kuuluu kaikki materiaalitieteistä liikkeenjohtamiseen. Muut ovat keskittyneet lähinnä ydinvoimatekniikkaan ja -turvallisuuteen.

Suurin osa täydennyskoulutuksesta tapahtuu tällä hetkellä yritysten sisäisten koulutusten kautta ja työssä oppimisella. Ulkopuolisen kurssituksen määrä vaihteli suuresti organisaatioittain, ollen välillä 0,25–5 henkilötyöpäivää/vuosi.

Koulutusorganisaatiot tarjoavat erilaisia alaan liittyviä täydennyskoulutuskursseja, joiden avulla organisaatiot täydentävät sisäistä koulutustaan. Tunnetuin, vanhin ja laajin niistä on YK-kurssi, jonka järjestävät yhdessä Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Aalto-yliopisto, VTT, TEM, STUK, Fennovoima, Fortum, TVO ja Posiva (kts. luku 3.6.1).

Muita toimijoita ovat mm:

- Itä-Suomen yliopisto tarjoaa ympäristöriskeihin liittyvää täydennyskoulutusta. Lisäksi yliopisto tarjoaa seuraavat vastaavan johtajan pätevyudet: säteilyn lääketieteellinen yleiskäyttö ja radiologia.
- Tampereen teknillisen yliopiston täydennyskoulutusorganisaatio Edutechillä on käynnissä ydinvoimalaitoksiin liittyvä tilattu koulutus, jonka opetuksessa TTY:n professorit ovat aktiivisesti mukana.
- Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun avoin verkkoammattikorkeakoulu AVERKO tarjoaa myös täydennyskoulutuskursseja. Yhteistyö Fennovoiman kanssa tulee lisäämään tulevaisuudessa ydinvoimatekniikan osuutta opetussuunnitelmassa.
- Prizztech Ltd – FinNuclear Training -konsepti on lanseerattu voimayhtiöiden kanssa yhteistyössä, tavoitteena antaa perustietoa toimintaympäristöstä.

Monilla koulutusorganisaatioilla on myös suunnitelmia lisätä ydinenergia-alalle tarjottavia täydennyskoulutuksia. Oulun yliopisto ja Lappeenrannan teknillinen

⁴ European Nuclear Education Network (ENEN) on eurooppalaisten ydintekniikkaa opettavien yliopistojen assosiaatio, joka tarjoaa kansainvälisiä kursseja ja jonka jäseniä Aalto ja LUT ovat. Cooperation in Education in Nuclear Chemistry (CINCH) on vastaava joskin nuorempi yhteistyöverkosto radiokemian alalla ja HYRL on sen jäsen. Ydinjätteen loppusijoituksen alalla toimiva Petrus-verkosto (Programme for Education, Training and Research on Underground Storage) muodostuu eurooppalaisista yliopistoista (mm. Aalto), ydinjätehuolto-organisaatioista, koulutusyhdistyksistä sekä tutkimuslaitoksista.

yliopisto valmistelevat ydinvoimatekniikan koulutuksen aloittamista Oulun yliopistossa. Yliopistot allekirjoittivat elokuun alussa aiesopimuksen ydinvoimatekniikan ja ydinvoimarakentamisen koulutustarjonnan ja näihin liittyvän tutkimuksen kehittämisestä Oulun yliopistossa. Yhteistyön tarkoituksena on tarjota Oulun seudulle ydinenergia-alan koulutusta, jota siellä ei vielä ole.

Ensi vaiheessa tarjotaan yritysten henkilöstölle suunnattavaa täydennyskoulutusta loppuvuonna 2011 ja seuraavassa vaiheessa PD-tasoista täydennyskoulutusta ydinenergia-alalla. PD-koulutus tapahtuu kahtena peräkkäisenä sisäänottona (30–40 opiskelijaa) vuoden 2012 aikana. Ydinvoimatekniikan koulutus on tulevaisuudessa mahdollista sisällyttää myös osaksi soveltuvaa yliopistollista tutkintoa.

Tavoitteena on kouluttaa osaajia erityisesti Fennovoiman Pyhäjoelle sijoitettavan ydinvoimalaitoksen rakentamista ja käyttöä varten. Laaja ja pitkäkestoinen hanke tarvitsee runsaasti alan asiantuntijoita, ja rekrytointi voisi olla hankalaa ilman Pohjois-Suomessa tapahtuvaa täydennyskoulutusta.

Satakunnan ammattikorkeakoulussa suunnitellaan Teollisuuden Voiman kanssa ydinenergiaan liittyvää koulutusta. Koulutusjakson kohderyhmänä olisivat avoimen tai täydennyskoulutuksen puolella jo valmistuneet, jotka haluaisivat täydentää omaa tutkintoaan ydinenergiaosaamisella.

Myös muilla yliopistoilla ja ammattikorkeakouluilla on suunnitelmia tarjonnan lisäämiseksi. Nykyiset ja suunnitelmissa olevat täydennyskoulutukset kattavat tarpeet, mutta kouluttajaresurssit ovat ylityöllistettyjä, koska koulutus tapahtuu muun toimen ohessa.

Ydinenergia-alan täydennyskoulutuksen tulee jatkossakin tarjota yrityksille täsmäkoulutuksia niiden henkilöstön tarpeisiin. Sen lisäksi täydennyskoulutus voi olla ns. muunkoulutustyyppistä, jonka tavoitteena on ammatillisen pätevyyden syventäminen ydintekniikan alalla. Näin alalle voidaan kouluttaa uusia osaajia esim. muiden alojen insinööreistä ja näin osaltaan auttaa insinöörien työllisyyttä.

Täydennyskoulutus on nopea ja joustava tapa vastata yritysten tarpeisiin. Täydennyskoulutus on myös perusopetusta nopeampi tapa saada alalle uusia osaajia, kun uusien osaajien tarve on kiireellinen. Täydennyskoulutuksessa teoria ja käytännön työssäoppimisjaksot vuorottelevat. Näin opiskelija pystyy heti soveltamaan oppimaansa ja uusi osaaminen on heti yrityksen käytössä.

3.5.1 Säteilysuojelukoulutus

Toimiva jatkuvaluonteinen säteilyvalvonta on edellytys säteilysuojelutoimenpiteiden tarpeen arvioinnissa. Ydinenergian sekä kotimaisen että ulkomaisen käytön säteilyvalvonta tehdään Säteilyturvakeskuksen, Ilmatieteenlaitoksen, puolustusvoimien, voimalaitosten, pelastusviranomaisten sekä tullin toimesta. Säteilyyn liittyvissä erityistilanteissa näillä toimijoilla on tarjota apua terveysturvallisuudelle väestön että työntekijöiden säteilysuojelun oikein suuntaamiseksi sekä äkillisissä että pidempiaikaista riskinhallintaa vaativissa tilanteissa.

Normaalitilanteessa ympäristöterveydenhuollon viranomaisilla on hyvin rajoitetusti ionisoivaan säteilyyn liittyviä viranomaistehtäviä ja ainoa rutiiniluontoinen valvontatoimi on talousveden radioaktiivisuuden valvonta. Tässä ympäristöterveysviranomaiset tukeutuvat säteilyturvakeskuksen laboratoriotietotaitoon. Ympäristöterveysviranomaiset ovat myös kampanjaluontoisesti tai yksittäisiin valituksiin perustuen auttaneet kotien sisäilman radonmittauksissa, jotka myös toteutetaan säteilyturvakeskuksessa.

Työsuojeluviranomaisilla on käytännössä vain työpaikkojen sisäilman radonin osalta säteilyvalvontaan liittyviä tehtäviä (esimerkiksi kaivokset).

Epätodennäköisen mutta mahdollisen joko kotimaisen tai lähialueella sijaitsevan ulkomaisen ydinvoimalaitosonnettomuuden myötä voi syntyä laaja-alainen säteilytilanne. Ydinenergia-alan osaamistyöryhmän kanssa samanaikaisesti on työtä tehty sisäministeriön alaisessa laaja-alaisen säteilytilanteen viranomaisohjeistusta pohtivassa työryhmässä. Tässä työssä on lähtökohtana se, että Säteilyturvakeskuksella ei ole alue- tai paikallisviranomaisia toimeenpanemassa säteilysuojeluun liittyviä tehtäviä ja laaja-alaisessa säteilyaltistustilanteessa. Säteilyturvakeskuksen rooli on tällöin antaa suosituksia, joiden pohjalta muut viranomaiset toimivat. Laaja-alaisen säteilytilanteen myötä ympäristöterveysviranomaiset joutuisivat käytännössä toimivaltaisina aluehallintoviraston ja tätä ohjaavan terveydenhuollon lupa- ja valvontaviraston ohjauksessa toimeenpanemaan säteilyturvakeskuksen suosittelemia riskinhallinnan toimia sosiaali- ja terveysministeriön ollessa ylin säteilylain ohjauksesta vastaava toimija.

Työsuojeluviranomaisille ei ole koulutusta säteilyonnettomuuksiin liittyvistä työsuojelunäkökohdista.

Paikallista ympäristöterveydenhuollon riskinhallintaa voidaan laaja-alaisessa säteilytilanteessa tukea veden ja elintarvikkeiden säteilyhygieenistä puhtautta mittaamalla. Säteilyturvakeskus on toimittanut paikallisille ympäristöterveyslaboratorioille tällaisia mittareita, mutta niihin liittyvä koulutus on vielä puutteellista.

Lääketieteellisiin tutkimuksiin ja hoitoihin liittyvät sekä potilaita että terveydenhuoltohenkilökuntaa koskevat säteilysuojelukysymykset ovat ydinturvallisuustyötä huomattavasti vanhempaa perua. Säteilysuojeluun liittyvät tietotaitotarpeet ovat merkittävät ja koskettavat merkittävää osaa koko terveydenhuollon jokapäiväisestä toiminnasta. Tästä huolimatta säteilysuojelukoulutuksen puutteet koko terveydenhuollon palvelujärjestelmänkin osalta käyvät ilmi Säteilyturvakeskuksen yhdessä opetus- ja kulttuuriministeriön kanssa tekemästä kyselystä [http://www.stuk.fi/stuk/tiedotteet/fi_FI/news_694]. Vuonna 2010 tehdyssä kyselyssä selvitettiin lääketieteellisiin tutkimuksiin ja hoitoihin osallistuvan terveydenhuollon henkilöstön perus- ja jatkokoulutukseen sisältyvää säteilysuojelukoulutusta (Raportti STUK-B133). Työnantajien arviot vastavalmistuneiden työntekijäryhmien säteilysuojelutiedoista ja -taidoista vahvistivat koulutusorganisaatioiden kyselyn tuloksi.

Tehty kysely antaa pohjaa keskusteluille terveydenhuollon henkilöstön säteilysuojelukoulutuksen kehittämiseksi. Oppilaitoksissa olisi hyvä nimetä

säteilysuojelukoulutuksesta vastuullinen henkilö, joka varmistaa, että koulutusta koskevat vaatimukset toteutuvat ja että koulutusta koskevat kurssikuvaukset laaditaan ja tavoitteet määritellään. Myös yhteistyötä koulutusorganisaatioiden ja työnantajien välillä tulisi lisätä.

STUKin ohjeessa ST 1.7 määritellyn säteilysuojelukoulutuksen pitäisi olla osa kun-kin terveydenhuollon ammattiryhmän perus- ja jatkokoulutusta. Tämä ohje ei kuitenkaan koske ympäristöterveydenhuollossa tai työsuojelussa toimivia viranomaisia. Suositeltavaa on, että säteilysuojelukoulutus annettaisiin erillisenä kurssina.

Koko terveydenhuollon – mukaan lukien ympäristöterveydenhuolto – monelta osin puutteellinen säteilysuojelukoulutus todennäköisesti vaikeuttaisi riskien hallintaa laaja-alaisessa säteilytilanteessa erityisesti ajatellen terveystalveluiden kuorituksen hallintaa ja asiallisen riskiviestinnän turvaamista. Potilaiden hoitoon ja tutkimukseen liittyvässä säteilysuojelukoulutuksessa tulisi opetuksen sisältöä kehittää siten, että myös integroidusti käytäisiin läpi säteilyhygieniaan ja väestöön kohdistuvan säteilysuojelun periaatteita, koska terveystalvelujärjestelmän piirissä työskentelevät tarvitsisivat näitä tietoja laaja-alaisen säteilytilanteen jälkitoimissa.

Oulun yliopisto yhteistyössä Lapin yliopiston kanssa aloittaa vuonna 2012 Hoitotyön säteilyn käytön asiantuntijakoulutuksen (30 op, EFQ 6-7 taso). Kohderyhmänä ovat terveydenhuollossa satunnaista, mutta jatkuvaluonteista säteilytyötä tekevät terveydenhuoltoalan ammattihenkilöt. Koulutukseen valitaan 20 käytännön työelämässä toimivaa korkeakoulututkinnon suorittanutta tai vastaavat tiedot omaavaa opiskelijaa.

Edellä olevan perusteella on selvää, että ympäristöterveydenhuollossa ja työsuojelussa on oltava riittävä säteilysuojelun osaaminen. Keskeisessä asemassa ovat siis ne oppilaitokset, jotka antavat ympäristöterveyden ja työsuojelun yliopisto- (Itä-Suomen yliopisto) tai ammattikorkeakoulutason (Mikkelin AMK) koulutusta. Molemmissa säteilysuojelua jo sisältyy tutkintokoulutukseen, mutta koulutuksen laajuuden ja sisällön saattaminen tarvittavalle tasolle vaatii kehittämistä ja yhteistyötä näiden oppilaitosten sekä alan muiden toimijoiden (mm. Säteilyturvakeskuksen) kanssa. Tutkintokoulutuksen sisältöjen kehittämisen lisäksi on tarpeen kehittää myös ympäristöterveydenhuollon ja lähialojen henkilöstölle suunnattua säteilysuojelun täydennyskoulutusta.

3.5.2 Turva-alan koulutus

Yhtenä ydinenergian turvallisen käytön edellytyksenä on sen varmistaminen, että ydinlaitosta tai -materiaaleja ei vahingoiteta tahallisesti ja aiheuteta sitä kautta vaaraa ihmisille ja ympäristölle. Niitä hallinnollisia ja teknisiä menettelyjä, joilla ydinlaitokset ja -materiaalit suojataan tahallista vahingontekoa ja anastamista vastaan, sanotaan turvajärjestelyiksi. Ydinlaitosten turvajärjestelyt perustuvat paljolti normaaleihin teollisuuden turvaamismenetelmiin ja -järjestelyihin, mutta ydinlaitosten erityispiirteiden ja haavoittuvuuden vuoksi niiden turvaaminen edellyttää erityisosaamista, erityisesti suunnittelu- ja johtamistasolla.

Kuva 3.4. Suomessa on viime vuosina kehitetty voimakkaasti ydinenergia-alan turva-alaa yhteistyössä kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n kanssa. Kuvassa TEM:n, STUK:n ja IAEA:n lokakuussa 2011 järjestämän seminaarin ”Workshop on Nuclear Security Culture” järjestäjiä, vasemmalta johtaja Lasse Reiman STUK:sta ja Senior Nuclear Security Officer Arvydas Stadalnikas IAEA:sta. (Kuva: Mauri Riihonen)



Turva-alan tutkimukseen johtavaa koulutusta annetaan sekä ammattikorkeakouluissa että yliopistoissa. Laurea on maamme ainoa ammattikorkeakoulu, jossa on turva-alan koulutusohjelma, joka tähtää turva-alan ylempään ammattikorkeakoulututkintoon. Turva-alan koulutusta on tarjolla myös Tampereen ammattikorkeakoulussa, Turun ammattikorkeakoulussa sekä Poliisiammattikorkeakoulussa. Turva-alaa voi opiskella myös Tampereen teknillisessä yliopistossa pää- tai sivuainetasolla tai yksittäisinä kursseina osana diplomi-insinöörin tutkintoa. Aalto PRO kouluttaa turvallisuusjohtoa yliopistollisena täydennyskoulutuksena. Mihinkään edellä mainituista koulutusohjelmista ei sisälly erityistä ydinenergia-alan turvakoulutusta.

3.6 Organisaatioiden henkilöstön koulutus

Ydinenergia-alalla toimivat organisaatiot ovat perinteisesti huolehtineet vastuullisesti henkilöstönsä kouluttamisesta ja kehittämisestä heidän työtehtävien vaatimalla tavalla. Tämä koulutus ja henkilöstön kehittäminen on keskittynyt lähinnä perustutkinnon jälkeiseen ammattitaidon kehittämiseen ja/tai ylläpitämiseen. Tämä suuntaus näyttää keväällä 2011 osaamistyöryhmän tekemän kyselyn valossa olevan

edelleen vallitseva. Henkilöstön kehittämisen ja kouluttamisen menetelminä käytetään sekä organisaatioiden itsensä toteuttamaa että ulkopuolelta hankkimaa koulutusta sekä erilaisia työssä oppimisen menetelmiä.

Kuva 3.5. Esimerkki vuoropäällikön täydennyskoulutuspolusta. Prosessitekniiikan insinööri Anna Räsänen haki ja pääsi TVO:lle töihin heti valmistuttuaan Satakunnan ammattikorkeakoulusta loppuvuodesta 2000 ja on TVO:lla kouluttautunut ydinvoimalaitoksen vuoropäälliköksi. Räsänen 10 vuoden mittaiseen työuraan on sisältynyt keskimäärin 17 koulutuspäivää vuodessa, kurseja hän on TVO:lla suorittanut yhteensä 147. Koulutus on tapahtunut töiden ohessa. (Kuva: TVO)



Kyselyyn vastanneiden organisaatioiden sisäistä koulutusta järjestetään hieman toimijasta riippuen 3–20 päivää/henkilö/vuosi. Osittain sisäiseen koulutukseen laitettut panostukset vaihtelevat alan suhdanteiden, henkilöstön vaihtuvuuden ja eläköitymistien sekä alan kehitykseen vaikuttavien asioiden mukaan. Huomion arvoista on se, että alan merkittävillä toimijoilla on omat koulutusorganisaationsa, joissa henkilöstön sekä jossain määrin myös heidän alihankkijoiden kouluttaminen ydinenergia-alan erityispiirteisiin liittyen on hyvin systemaattista ja panostukset siihen merkittäviä. Heillä on käytössään yhteensä satoja oman työnsä ohella omasta asiantuntemusalueesta kouluttajina toimivia henkilöitä ja tarvittavat tilat ja välineet koulutustoimintaan. Organisaatioiden sisäisen koulutuksen aihealueet liittyvät yleisimmin ydinenergia-alan erityispiirteisiin kuten turvallisuuteen ja turvallisuuskulttuuriin, erilaisiin teknisiin teemoihin, ohjeistukseen ja lainsäädäntöön sekä laatuun ja laadunhallintaan.

Organisaatioiden sisäisen koulutustoiminnan lisäksi käytössä on organisaation ulkopuolelta hankittua koulutusta, joista yleisimpinä esimerkkeinä kyselyssä esille nousivat Kansallinen ydinturvallisuuskurssi (YK-kurssi), FinNuclear -koulutus, Posivan ydinjätehuollon kurssi ”Johdanto käytetyn polttoaineen turvallisuuden arviointiin”, korkeakouluilta hankittu täydennyskoulutus kohdennetusta ajankohtaisteedmasta sekä muiden koulutusorganisaatioiden toteuttama ajankohtaiskoulutus.

Kysely osoitti, että organisaation ulkopuoliseen koulutukseen osallistutaan hyvin vaihtelevasti ja luvut vaihtelevatkin välillä 0,25–6 päivää/henkilötyöpäivää/vuosi.

Kansallisesti ydinjätehuollon henkilöstökoulutus on rakentunut voimayhtiöiden, Posivan ja STUKin tarjonnan ympärille. Esimerkiksi Posiva järjestää vuosittain koko henkilöstölle tarkoitettua ydinjätehuollon turvallisuusarvioinnin perusteiden koulutuksen, joka on avoinna myös alihankkijoille. Lisäksi henkilöstön koulutusta varten on kehitetty kansainvälisiä koulutusverkostoja.

3.6.1 Kansallinen ydinturvallisuuskurssi (YK-kurssi)

Toimenpiteet ydinvoiman lisärakentamiseksi Suomessa käynnistettiin uudelleen runsaat kymmenen vuotta sitten. Se korosti ydinenergia-alan tietämyksen säilyttämisen ja kehittämisen tärkeyttä varsinkin, kun huomattava osa alan pitkän linjan asiantuntijoista oli siirtymässä eläkkeelle 10 vuoden kuluessa. Nämä seikat toimivat lähtösäyksenä alan ammatillisen osaamisen vahvistamiseen tähtäävälle kurssille alan keskeisten toimijoiden yhteistyönä. Vuosien 2003–2011 aikana on järjestetty kahdeksan ja syksyllä 2011 käynnistyi yhdeksäs ydinturvallisuuskurssi eli YK-kurssi. Kursseille on osallistunut yhteensä yli 500 ydinenergia-alan työntekijää.

YK-kurssien kysyntä on jatkunut koko ajan tasaisena, eikä kysynnän heikkenemisestä ole merkkejä sillä kurssin järjestävien toimijoiden rekrytoinnit ovat jatkuneet ja jatkuvat edelleen. Kurssi koostuu kuudesta vajaan viikon pituisesta jaksosta, jotka toteutetaan eri paikkakunnilla järjestävien organisaatioiden tiloissa. Kurssin sisältö kattaa hyvin laajasti ydinvoiman turvallisuuden takaamiseen tarvittavat alat ja periaatteet kuitenkin menemättä liian yksityiskohtaiseen alojen käsittelyyn.

Kurssin tavoitteena onkin antaa yleiskuva ydinenergia-alasta ja siten lisätä ymmärrystä ydinturvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä. Luennoitsijoiden, harjoitusten, demonstraatioiden vetäjiä on nykyisin yhteensä noin 90. Kurssi pidetään eri osapuolien – viranomaisen, voimalaitosten ja tutkimusyksiköiden – edustajille yhdessä. Luennoitsijat ovat myös kaikista järjestävistä organisaatioista ja eri osapuolten näkemykset tuodaan esiin. Kaikki kurssimateriaali, noin 900 sivua luentotiivistelmiä ja 2000 sivua kalvoesityksiä, on sijoitettu LUT:n internet-sivustoille, missä se on osallistujien ja luennoitsijoiden lisäksi myös kaikkien jatko-opiskelijoiden käytettävissä. YK-kurssilla on koulutusmerkityksen lisäksi tärkeä arvo tiedontallennusprojektina ja tiedonsiirtona sukupolvelta toiselle sekä verkostoitumistilaisuutena.

3.6.2 Kansallinen ydinjätehuollon kurssi (YJH-kurssi)

Vuodesta 2008 alkaen on suunniteltu TEM-vetoisesti kansallista ydinjätehuollon koulutusta, jonka ensimmäinen pilotti toteutettiin 2010. Koulutus on tarkoitettu laajentaa ja vakinaistaa vuodesta 2011 alkaen toimintaedellytysten niin salliessa, niin että kaikki kiinnostuneet tahot voivat osallistua koulutukseen ja sen tuottamiseen. Koulutus tulee osittain korvaamaan vuodesta 2003 myös jo kahdeksan kertaa toteutetun Posivan koulutuksen käytetyn polttoaineen turvallisuuden arvioinnin perusteista.

Kuva 3.6. Kansallisen ydinjätehuollon pilottikurssin v. 2010 osallistujat ryhmäkuvassa. (Kuva: Tanja Lindholm)



Lisäksi Posivan kansainvälisillä koulutusverkostoilla on tavoiteltu Euroopan ja maailmanlaajuisesti määrällisesti riittävää koulutettavien osallistujajoukkoa eri jätehuolto-organisaatioiden henkilöstöstä. Tämä johtuu siitä, että ydinjätehuollon parissa toimijoiden määrä on pienempi ja toiminta tieteellisesti monialaista, mikä johtaa rajoitettuun määrään erityiskoulutuksen tarvitsijoita. Merkittävin näistä verkostoista on Petrus-verkosto (Programme for Education, Training and Research on Underground Storage), joka muodostuu eurooppalaisista yliopistoista (mm. Aalto), ydinjätehuolto-organisaatioista, koulutusyhdistyksistä (ENEN ja ITC-School) sekä tutkimuslaitoksista.

3.7 Alan kouluttajaresurssit ja kouluttajatarpeet

Perinteisesti on todettu, että Suomessa on vain kaksi ydintekniikan professuuria: yksi Aalto-yliopiston Teknillisen fysiikan laitoksella ja toinen Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa. Näiden lisäksi ydinenergia-alalle kuuluvaksi professuuriksi voidaan laskea HY:n radiokemian professuuri. Kuten tehdystä selvityksestä käy ilmi, tilanne on selkeästi parempi, kun laskelmissa huomioidaan asianmukaisesti myös

kaikki ydintekniikkaa sivuavien alojen opetushenkilöstö. Koska merkittävä osa ydinenergia-alan opettajista antaa opetusta myös muilla aloilla, mitään yhteismitallista professorien tai lehtorien lukumäärää ei pystytä antamaan.

Voidaan kuitenkin todeta, että ydinenergia-alan opetukseen, tämän selvityksen määrittämässä laajemmassa kehyksessä, osallistuu 30–40 professoria 8 suomalaisessa yliopistossa (Aalto, HY, ISY, JY, LUT, OY, TTY, ÅA) ja heidän lisäksi useita kymmeniä lehtoreita ja yliopisto-opettajia. Samalla on havaittu selkeää lisäprofessorien tarvetta ja siihen ollaan reagoimassa Aalto-yliopistossa ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa. Ensimmäisessä on perusteilla Aalto Nuclear Safety -osaamisohjelma, jonka keskeisenä osana on 4 uutta Tenure Track -professuuria ydintekniikan alalla sekä olemassaolevien ydinenergia-alan professuurien verkottaminen osaamiskeskittymäksi. LUT:ssa on puolestaan valmisteilla toisen ydintekniikan professorin viran perustaminen.

HYRL:iin kaivattaisiin kipeästi professoria, jonka tehtävänä olisi opettaa ydinjätteen käsittelyn ja loppusijoituksen kemiaa ja koordinoida tämän alan tutkimusta. HYRL:ssä on tällä hetkellä noin 30 tutkijaa ja väitöskirjatyöntekijää ja se on liian paljon yhden professorin hoidettavaksi.

Itä-Suomen yliopiston Ympäristötieteen laitoksella ympäristöterveyteen sisältyvää säteilysuojelua opettaa yksi professori ja opetukseen osallistuu kaksi muuta opettajaa. Tutkimus ja opetus kuitenkin painottuvat paljon ionisoimattomaan säteilyyn. Soveltavan fysiikan laitoksella säteilysuojelun opetus muodostaa pienen osan lääketieteellisen fysiikan koulutusta, ja siihen osallistuu muun opetuksensa ohella kaksi professoria. Koulutusta voidaan kehittää näiden kahden laitoksen yhteistyötä lisäämällä, mutta säteilysuojelun koulutuksen saattamiseen ajanmukaiselle tasolle (ks. 3.5.1) edellyttäisi ionisoivan säteilyn osaamisen vahvistamista.

Tampereen teknillisen yliopiston Energia- ja prosessitekniikan laitoksella on nykyisin laaja-alaista voimalaitostekniikan opetusta ja sen keskeisenä osana höyrytekniikka. TTY:llä on perinteisesti laaja koulutustarjonta aiheesta, koska Tampereella ja sen lähistöllä on kattilateollisuutta, muiden voimalaitosten komponenttien kuten venttiilien valmistusta sekä voimalaitosten informaatio- ja automaatiojärjestelmien suunnitteluyrityksiä. Sama koulutus tukee vahvasti myös ydinvoimalaitosten tarpeita erityisesti hätäjähdytysjärjestelmien osalta. Höyrytekniikan koulutusta täydentää hyvin laitoksen laaja virtaustekniikan ja erityisesti numeerisen virtauslaskennan (CFD) opetus ja tutkimus. Kevytvesireaktorien hätäjähdytysjärjestelmien turvallisuuskysymysten hallinta edellyttää hyvää voimalaitosprosessin ja höyrytekniikan osaamista. Tämän opetuksen vahvistamiseksi TTY:llä on tarvetta uuden professuurin perustamiseen. Uusi professori voisi myös keskittyä mm. uusiin virtauksen mallinnustyökaluihin, paineiskuihin, lämmönsiirtokriisitarkasteluihin jne.

Missään Suomen 25 ammattikorkeakoulusta ei ole varsinaista ydinenergiatekniikan koulutusohjelmaa, mutta eri tekniikan alojen AMK-insinöörejä koulutetaan 22 AMK:ssa. Näistä valmistuvia kone-, sähkö-, rakennus-, automaatio-, prosessi- ja kemian insinöörejä työllistyy ydinenergia-alalle. Satakunnan AMK:ssa suunnitellaan

parhaillaan ydinenenergiamoduulia yhteistyössä TVO:n kanssa ja vastaavia suunnitelmia Fennovoiman kanssa ovat tekemässä Kajaanin AMK, Keski-Pohjanmaan AMK ja Oulun AMK. Näihin AMK-moduuleihin tarvitaan mahdollisesti uusia opettajaresursseja, vaikka ne osittain tukeutuvatkin voimayhtiöiden asiantuntijoihin. Mikkelin AMK:ssa säteilytilanteisiin varautuminen on osana terveysteknikkojen koulutusta, ja oppilaitos suunnittelee tämän sisällön vahvistamista sekä asiaan liittyvän täydennuskoulutuksen järjestämistä.

Täydennuskoulutuksen osalta on nähtävissä, että kansallinen ydinturvallisuuskurssi, jota on järjestetty vuosittain syksystä 2003 alkaen, pyörii vielä pitkään. YK-kurssi on syntynyt alalla tunnistetusta tarpeesta, ei viranomaisten vaatimuksesta, ja sen järjestämisessä alan keskeiset organisaatiot toimivat yhdessä talkooperaatioteella. Vastaavaa ydinjätehuollon kansallista kurssia pyritään saamaan pyörimään samalla tavalla. Kansallinen YJH-kurssi, jonka pilotti järjestettiin 2010, on rakentunut Posivan ja STUKin tarjonnan ympärille. Näiden lisäksi FinNuclearin ydinenenergia-alan koulutukselle on selkeää tilausta suomalaisissa yrityksissä, jotka osallistuvat ja suunnittelevat osallistuvansa ydinvoimalaitosten rakennusprojekteihin. Nämä koulutukset tukeutuvat kuitenkin alan organisaatioiden asiantuntijoihin, joten ne eivät merkittävästi lisää kouluttajatarvetta.

Näiden lisäksi on uusien voimalaitoshankkeiden johdosta tilausta yliopistojen järjestämälle täydennuskoulutukselle. Oulun yliopisto on suunnittelemassa täydennuskoulutuksen järjestämistä yhdessä Fennovoiman kanssa, mikä on maantieteellisistä syistä perusteltua. LUT on mukana tässä hankkeessa. Aalto-yliopiston täydennuskoulutusyksikkö Aalto-PRO on puolestaan mukana Aalto Nuclear Safety -suunnitelmassa, kuitenkin hyödyntäen perus- ja jatkokoulutusta antavia Aalto-yliopiston professoreita. Itä-Suomen yliopisto tarjoaa erilaisiin ympäristöriskeihin liittyvää täydennuskoulutusta, mihin tarvittaisiin lisää henkilöresursseja.

3.8 Johtopäätökset ja suositukset

Huipputasoisien yliopisto-opetuksen takaaminen vaatii alan huippututkimusta ja jatko-opiskelijoita. Tämä on mahdollista turvata vain lisäämällä yliopistoissa ydinenenergiaspesifistä opetushenkilökuntaa, erityisesti professoreita ja senioritutkijoita. Nykyisellään ydinenenergia-alan tutkimus on ohutta, joten useat jatko-opiskelijat ovat yksinäisiä erikoisaloillaan.

Ydinenenergia-alalla tarvitaan syvällisesti ydinspesifiset asiat osaavien asiantuntijoiden lisäksi muiden alojen osaajia, joilla olisi sivuainetasoinen osaaminen ydintekniikasta. Sivuainekoulutuksen järjestämiseksi yliopistojen keskinäinen yhteistyö on tärkeätä, koska ei ole tarkoituksenmukaista perustaa ydinenenergiaspesifisiä professuureja kaikkiin yliopistoihin. Toisaalta yliopistojen sivuaineopetuksessa sekä AMK-opettajina tarvitaan yhtä päteviä asiantuntijoita kuin pääaineopetuksessa.

Yliopistojen ja AMK:jen opetushenkilökunnalle, joka ei päätoimisesti opeta ydinenenergia-alaa, tulee tarjota mahdollisuus pätevoityä näihin aiheisiin. Toisaalta

sivutoimimiseen opetukseen voidaan edelleen käyttää tutkimuslaitosten, voimayhtiöiden ym. alan organisaatioiden henkilökuntaa. Tätä edesauttaa organisaatioiden välinen yhteistyö, esim. opinnäytteiden teettäminen yrityksissä.

Turvallisen ydinenergian käytön kannalta tarvitaan syvällistä osaamista, joka syntyy työssä oppimisen kautta. Osaamisen kehittyminen kestää kauan, joten toiminnan on oltava pitkäjänteistä. On syytä huomata, että osaajia täytyy kouluttaa enemmän kuin alalle numeroiden valossa tarvitaan, koska asiantuntijoiden hävikiä muille aloille ja ulkomaille on odotettavissa. Vaikka esim. reaktorifysiikan osaajia ei tarvita lukumääräisesti monta, heitä varten on ylläpidettävä syvälinen koulutusvalmius.

Viimeaikaiset uudet koulutusavaukset, mm. Ydintekniikan ja radiokemian tohioriohjelma YTERA ja eri korkeakoulujen täydennyskoulutuskurssit, ovat askeleita oikeaan suuntaan. Korkeakoulujen ja alan muiden organisaatioiden tulee seurata miten alalle valmistuvat työllistyvät ja kartoittaa mahdollisia lisätarpeita.

Yliopistot ovat mukana kansainvälisessä yhteistyössä ydintekniikan osalta mm. ENEN-verkoston ja PETRUS II -hankkeen kautta sekä radiokemian osalta EU:n CINCH-projektin kautta. Kansainväliset kurssit soveltuvat erityisesti jatkotutkintovaiheeseen. Toisaalta ulkomaisia luennoitsijoita on käytetty esim. kesäkouluissa ja seminaareissa, joihin perustutkinto-opiskelijatkin voivat osallistua. Perimmäisenä rajoitteena kansainvälisille kursseille osallistumiseen ovat kustannukset, joiden rahoittamiseen tulisi kehittää mekanismeja.

Kansainväliset kurssit täydentävät kotimaista koulutusta, mutta niillä ei voida korvata kotimaista tarjontaa, koska ydinenergia-alalla on kansallisia erityisvaatimuksia. Täydentävää kansainvälistä koulutustarjontaa tarvitaan sellaisilla pienillä henkilöstöryhmiä koskevilla erityisalueilla, joilla Suomessa ei ole tarjontaa.

Ydinenergia-alan toiminnan kannalta myös muiden kuin oppilaitosten tarjoama koulutus, erityisesti organisaatioiden oma koulutus, on merkittävää. Sitä on syytä ylläpitää ja kehittää edelleen ja verkostoitumista koulutuksen tuottamisessa vahvistaa. Alan toimijoille merkittäviä "ulkopuolisia" koulutuksia ovat YK-kurssi, FinNuclear-koulutustoiminta sekä korkeakoulujen toimittama tai yhteistyössä alan toimijoiden kanssa toteutettu koulutus.

Ydinjätehuollon kansallinen täydennyskoulutus tulee vakinaistaa ja sen toimintaedellytykset turvata.

Euroopan unionin tavoitteina koulutuksen osalta on laadun, vastavuoroisen hyväksymisen ja liikkuvuuden edistäminen työvoiman osalta. Elinikäisen oppimisen edistämiseksi myös tutkintojärjestelmän ulkopuolisen oppimisen hyväksyttämisen menettelyjä laajentaa henkilöstökoulutukseen esim. ECTS/ECVET-mallien mukaisesti⁵. Tämä edistää etenkin ydinjätehuollon henkilöstön tieteellisten jatkotutkintojen suorittamista vähentämällä päällekkäistä koulutusta sekä parantamalla liikkuvuutta eri organisaatioiden ja tutkimusinfrastruktuurin välillä Euroopassa.

5 ECTS = eurooppalainen opintosuoritusten ja arvosanojen siirto- ja kertymisjärjestelmä; ECVET = ammatillisen koulutuksen opintosuoritusten eurooppalainen siirtojärjestelmä

Säteilysuojelukoulutusta on kartoitettu STUKin ja OKM:n selvityksessä v. 2010–2011 ja sen tulokset ovat luettavissa raportista STUK-B133. Raportin johtopäätöksenä koko terveydenhuollon – mukaan lukien ympäristöterveydenhuolto – osin puutteellinen säteilysuojelukoulutus todennäköisesti vaikeuttaisi riskien hallintaa laaja-alaisessa säteilytilanteessa erityisesti ajatellen terveystalveluiden kuormituksen hallintaa ja asiallisen riskiviestinnän turvaamista.

Yleisiä turva-alan koulutusohjelmia on tarjolla useissa korkeakouluissa, ja ydinturva-alan peruskoulutus perustuu niihin. Ydinturva-alan keski- ja ylemmälle johdolle, mm. ydinenergialainsäädännössä tarkoitetuille vastaaville johtajille ja heidän varamiehilleen, ei ole tarjolla mitään erityiskoulusta. Yhtiöiden on järjestettävä tarvittava koulutus henkilökunnalleen itse tai asianomaisten henkilöiden on hankittava vaadittava pätevyys itseopiskelun kautta.

Tarjolla oleva turva-alan yleiskoulutus on riittävää antamaan perusvalmiudet myös ydinturva-alalle. Sen sijaan on selkeä tarve järjestää säännöllistä erityiskoulutusta ydinturva-alan keski- ja ylemmän johdon erityisosajille sekä myös operatiivista toimintaa suorittaville turvaorganisaatioissa. Koulutettavien lukumäärä on kuitenkin suhteellisen pieni, minkä vuoksi ei ole tarkoituksenmukaista luoda useampia uusia erityisesti ydinturva-alan koulutusohjelmia. Sen sijaan koulutus voitaisiin ehkä parhaiten toteuttaa yhden uuden ohjelman puitteissa siihen liittyvin muuttamin erilliskurssein.

4 Tutkimus Suomessa

4.1 Kansalliset tutkimusohjelmat

Suomessa ydinenergia-alan julkinen tutkimus järjestettiin 3–5 vuoden mittaisiksi tutkimusohjelmiksi 1980- ja 1990-lukujen taitteessa. Nykyisten reaktorien turvallisuuden, ydinjätehuollon ja fuusiotutkimuksen alueilla on omat tutkimusohjelmansa. Vuosina 2008–2011 oli meneillään myös Suomen Akatemian neljännen sukupolven reaktorien tutkimusohjelma.

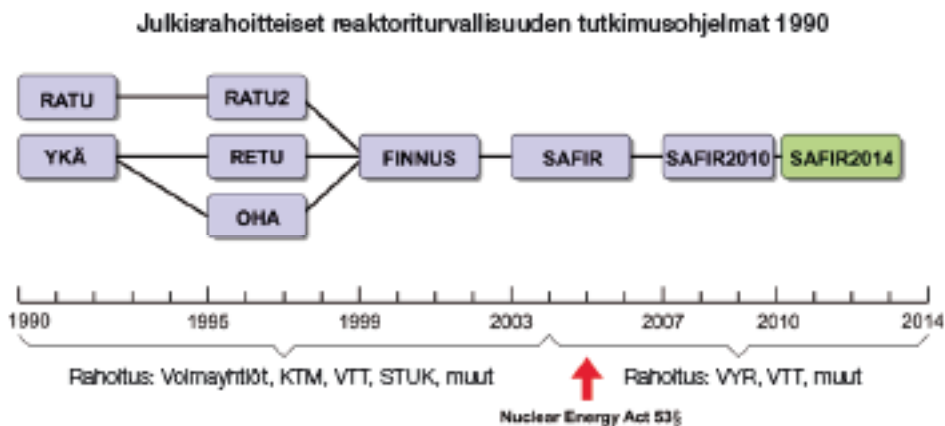
Kansallisia tutkimusohjelmia käsitellään seuraavassa lyhyesti. Lisätietoja on saatavilla meneillään olevien ohjelmien www-sivujen kautta.

4.1.1 Kansallinen reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelma (SAFIR-ohjelmat)

Reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmien historia on esitetty kuvassa 1. Aluksi tutkimus tapahtui rinnakkaisissa ohjelmissa ja vuodesta 1999 alkaen yhden ohjelman puitteissa. Tutkimusohjelmilla on ollut ja on edelleen keskeinen asema turvattaessa riittävä kotimainen osaaminen ydinturvallisuuden alueella. Kansallinen ydinturvallisuuden tutkimusohjelma perustuu voimakkaasti ydinenergialain vuonna 2004 voimaan tulleen lukuun 7 a ”Asiantuntemuksen varmistaminen”. Sen mukaisesti tarkoituksena on varmistaa, että jos ilmenee ydinlaitosten turvallisen käytön kannalta uusia seikkoja, joita ei ole ollut mahdollista ottaa ennalta huomioon, viranomaisen saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asiantuntemusta ja muita valmiuksia, joita käyttäen voidaan tarvittaessa viivytystä selvittää tällaisten seikkojen merkitystä.

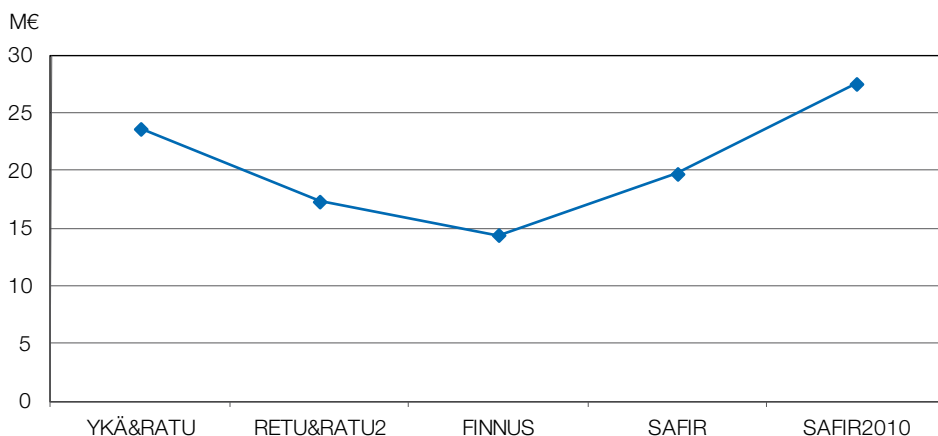
Lisäksi vaaditaan, että ohjelmaan kuuluvien tutkimushankkeiden on oltava tieteellisesti korkeatasoisia ja niiden tulosten on oltava julkaistavissa ja tuloksien käytettävyys ei saa rajoittua vain yhden luvanhaltijan ydinlaitosten luvitukseen. Käytännössä ohjelma hyödyttää koko suomalaista ydinenergia-yhteisöä tuottamalla uusia tutkimustuloksia, menetelmiä ja asiantuntijoita. Ohjelman nykyinen hallintomalli, jossa ministeriö, viranomaiset, voimayhtiöt, tutkimuslaitokset ja yliopistot osallistuvat yhdessä ohjelman johtoryhmään ja tutkimuksen ohjaamiseen ja valvontaan tukiryhmissä, on poikkeuksellinen. Tutkimusohjelmien korkeatasoisten tulosten ohella tämä seikka on tuotu esiin positiivisena tekijänä ohjelmien kansainvälisissä arvioinneissa.

Kuva 4.1. Reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmien historia.

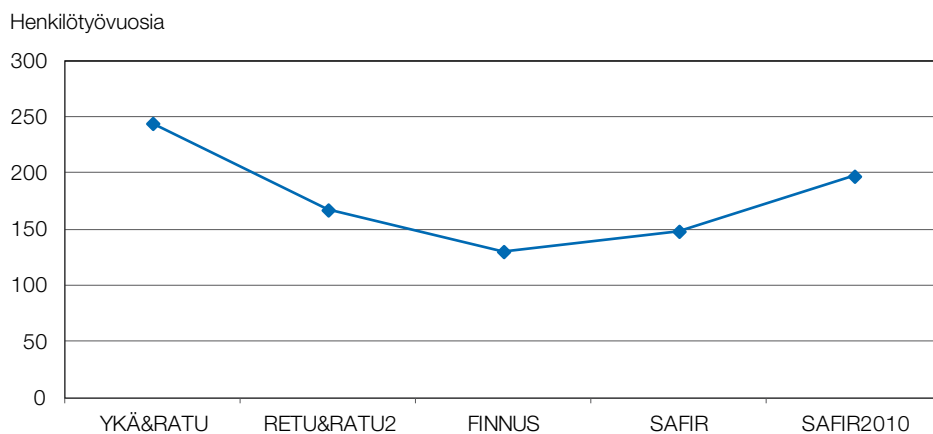


SAFIR2010-ohjelma loppuseminaarin yhteydessä tehdyn kartoituksen mukaan ohjelmat ovat tuottaneet yhteensä 3300 julkaisua, 33 tohtorin, 18 lisensiaatin ja 92 diplomi-insinöörin tai maisterin tutkintoa. Kuvissa 4.2-4.4 on esitetty eri ohjelmien rahoitus ja keskeiset tuotokset. Tutkimusohjelmien kokonaisvolyymi euroina ja henkilötyövuosina on esitetty kuvissa 4.2 ja 4.3. Kokonaisrahoitus kääntyi Finnus-ohjelman aallonpohjasta kasvuun. Esitetyt rahoitukset ovat kuitenkin diskonttaamattomia ja kuvasta 4.3 voidaan päätellä, että ohjelmien todellinen laajuus ei vielä ole palautunut 1990-luvun alkuvuosien tasolle. Ohjelmien tuotosten osalta voidaan todeta julkaisujen määrän lähteneen kasvuun, samoin kuin perustutkintojen määrän. Lisensiaatintutkintojen määrän väheneminen heijastaa teknisen alan yleistä suuntausta tehdä väitöskirja suoraan perustutkinnon jälkeen.

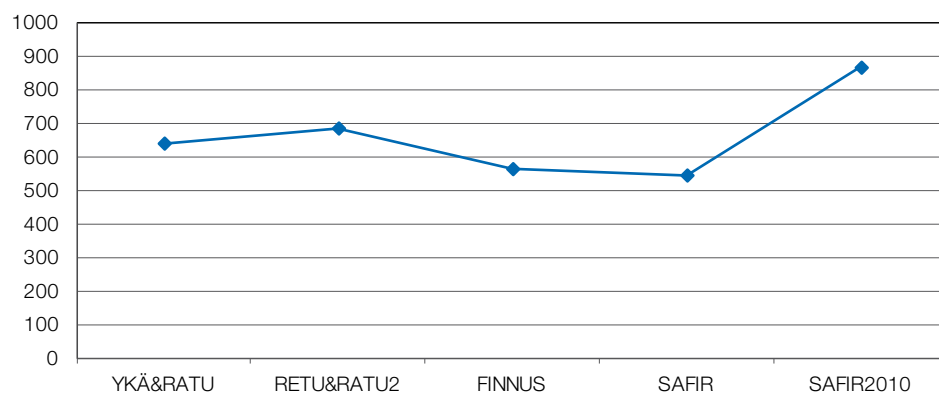
Kuva 4.2. Rahoitus reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmissä.



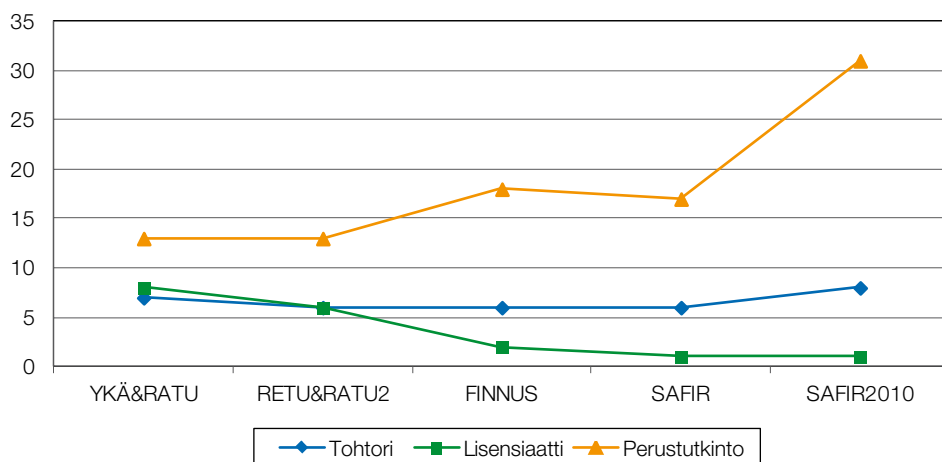
Kuva 4.3. Henkilötyövolyyymi reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmissa.



Kuva 4.4. Julkaisujen määrä reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmissa.

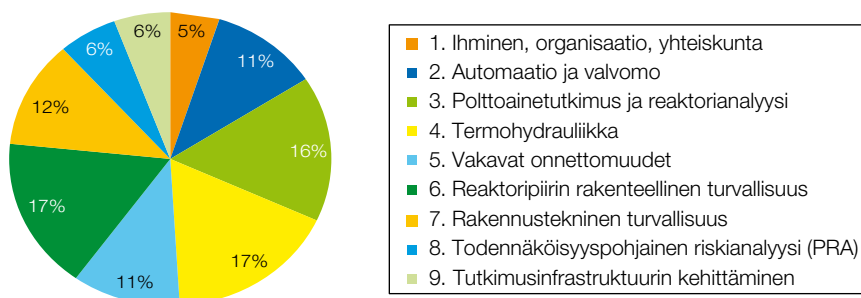


Kuva 4.5. Akateemisten tutkintojen määrä reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmissa.

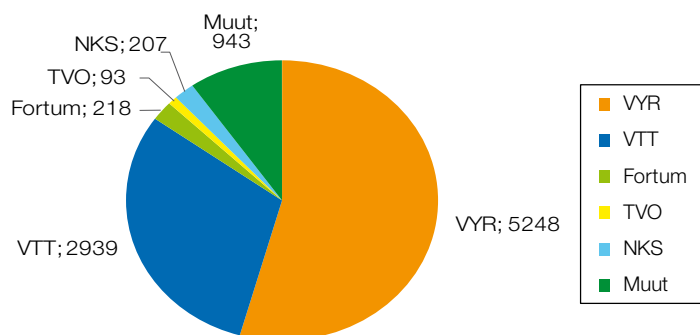


Meneillään oleva SAFIR2014-ohjelma kattaa 'ohuella peitolla' kaikki reaktoriturvallisuu- den keskeiset osa-alueet. Aiempiin ohjelmiin nähden uutena on mukana tutkimusinfrastruktuurin kehitys ja ylläpito. Tutkimusohjelman osa-alueet ja rahoituksen jakautuminen eri osa-alueille on esitetty kuvassa 4.6 ja ohjelman rahoituslähteet kuvassa 4.7. SAFIR2014-ohjelman VYR-rahoitus kasvoi vuoden 2011 alussa 5,2 M euroon heinäkuussa 2010 tehtyjen uusien Fennovoiman ja TVO:n ydinvoimalaitosten periaatepäätösten myötä ja ohjelman kokonaisvolyyymi kasvoi myös ollen noin 9,6 M euroa vuonna 2011. Reaktoriturvallisuu- den osalta leimaa antavaa on tutkimushankkeiden pitkäjänteisyys. Tutkimusohjelman vuoden 2012 hankehaussa on kuitenkin otettu huomioon myös Fukushima- n ydinonnettomuuden aiheuttamat tutkimustarpeet ohjelman runkosuunnitelmassa tunnistettujen tutkimustarpeiden lisäksi.

Kuva 4.6. Rahoituksen jakautuminen eri tutkimusalueille SAFIR2014-ohjel- massa vuonna 2011.



Kuva 4.7. SAFIR2014-ohjelman rahoituslähteet vuonna 2011.



Itse ohjelmassa tehtävän tutkimuksen ohella kaikilla tutkimusalueilla olennaista on asi- antuntemuksen kasvattaminen, koulutus ja eri osapuolten vuorovaikutus. Myös yhte- ydet kansainvälisiin tutkimushankkeisiin, erityisesti OECD/NEA:n hankkeisiin ja osal- listuminen erilaisiin kansainvälisiin työryhmiin ovat kaikille alueille yhteisiä piirteitä.

Vuonna 2011 ohjelmassa oli menossa 38 tutkimushanketta, näistä 24 oli VTT:n hankkeita, 7 VTT:n koordinoimaa yhteishanketta, joissa oli yksi tai useampia muita partnereita, neljä LUT:n hanketta, yksi Aalto-yliopiston hanke, yksi Aalto-yliopiston ja Helsingin yliopiston hanke ja yksi Ilmatieteen laitoksen hanke.

SAFIR2014-ohjelman Ihminen, organisaatio ja yhteiskunta tutkimusalueella painotus on turvallisuuden hallinnassa verkostoituneessa toimintaympäristössä ja sekä ydinturvallisuuteen liittyvän osaamisen ja turvallisuuskulttuurin kehittämisen käytännöissä. Pyrkimyksenä on tukea voimalaitoksia niiden elinkaaren eri vaiheissa. Tutkimusohjelman kaudella Suomessa on käynnissä olevien laitosten lisäksi suunnitteilla, rakenteilla ja käyttöönottovaiheessa olevia laitoksia. Myös ydinturvallisuuden liittyvä yhteiskunnallinen tutkimus kuuluu tähän alueeseen.

Automaatio ja valvomo tutkimusalueella digitaalisen automaation tulo uusiin ja nykyisin käytössä oleviin laitoksiin asettaa myös tutkimushaasteita. Eräs keskeinen alue on ydinvoimalaitosautomaation formaalien mallintamismenetelmien kehitys, jota jatketaan aiemman ohjelman hyvien kokemusten pohjalta. Selkeitä ja konkreettisia jatkotutkimustarpeita ovat esimerkiksi menetelmien kehittäminen tukemaan laajojen mallien hallinnassa tarvittavaa mallien modularisointia ja asynkronisten järjestelmien ajastukseen liittyviä ongelmia.

Polttoainetutkimuksessa keskeisinä aiheina ovat uudet polttoainetyypit ja polttoaineen poistopalaman kasvun ja mahdollisen kuormanseurannan aiheuttamat haasteet. Tilastollisten menetelmien käyttö tutkimuksessa kasvaa. Reaktorifysiikan ja dynamiikan tutkimuksessa olennaista on säilyttää koko asiantuntemuksen ja menetelmien ketju perusvakioiden luonnista transienttianalyysiin. Keskeisiä tutkimusalueita ovat deterministiset ja stokastiset menetelmät, vaikutusalojen luonti turvallisuusanalyysiohjelmille, nodaalimenetelmien asiantuntemus, kuumakanavalaskennan kehittäminen, palamahyvitys ja tilastolliset menetelmät.

Termohydrauliikan osalta CFD-menetelmien soveltaminen ja CFD-menetelmien (Computational Fluid Dynamics) ja nk. Systeemiohjelmien entistä tiiviimpi kytkentä ja tilastolliset menetelmät ovat keskeisessä asemassa. Alueelle on leimaa antavaa voimakas laskennallisten menetelmien kytkentä Lappeenrannan teknillisen yliopiston termohydrauliseen koetoimintaan. Kokeissa tarkastellaan mm. lauhdutusaltaan käyttäytymistä, lauhtumattomia kaasuja primääripiirissä ja suojarakennuksessa ja uusien laitostyyppien passiivisia turvajärjestelmiä.

Vakavien onnettomuuksien tutkimuksessa suurimmat tutkimustarpeet tulevat mahdollisten uusien laitostyyppien passiivisista järjestelmistä ja erilaisista vakavan onnettomuuden hallinnan menetelmistä sekä olemassa olevien laitosten erityiskysymyksistä. Alueella käytetään sekä perinteisiä, että CFD-laskentamenetelmiä. Pienimuotoinen kotimainen koetoiminta tukee laskentamenetelmien kehitystä ja kelpoistusta.

Reaktoripiirin rakenteellisen turvallisuuden tutkimusalueella painopiste on uusien laitosten turvallisuudessa unohtamatta kuitenkin nykyisten laitosten käyttöä pidentämisen ja käyttölopun uusinnan tuomia tutkimustarpeita. Keskeisiä tutkimusaiheita ovat uudet voimalaitosmateriaalit, rakenteelliset ratkaisut,

komponenttien valmistustekniikka, komponenttien tarkastettavuus ja uudet tarkastusmenetelmät, vesikemian hallinta, laitoksen eliniän hallinta ja laskennan integrointi elinikä tietoihin.

Rakenteellisen turvallisuuden tutkimusalueella keskeisiä tutkimushaasteita ovat SAFIR2010-ohjelmassa kehitetyn eliniänhallintamenetelmän laajentamien katta- maan raudoitettut ja esijännitetyt betonirakenteet, monitoroinnin ja simuloinnin käyttö arvioitaessa rakenteiden käyttöikää ja korjaustarpeita, tarkastus- ja korjaus- tietojen tallennus ja katodisen suojauksen hallinta. Toinen painopistealue on raken- teiden eheyden tutkimus poikkeuksellisissa olosuhteissa. Näissä tarkasteluissa VTT:llä edellisten tutkimusohjelmien yhteydessä kehitetty törmäyskoelaitteisto on keskeisessä asemassa.

Todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin alueella keskeisiä tutkimustarpeita ovat riskianalyysimenetelmien parantaminen, ohjelmoitava automaatio, passiivisten jär- jestelmien todennäköisyyspohjaiset turvallisuusanalyysimenetelmät, inhimilliset tekijät, paloturvallisuus, sääilmiot ja muut ulkoiset riskit ja vakavien onnettomuuk- sien aiheuttamat ympäristöriskit.

Keskeisiä tunnistettuja tutkimusinfrastruktuureja ovat mm. VTT:n materiaalitek- niikan tutkimuslaitteistot ja muut suuret ydinteknilliset koelaitteistot, joiden yllä- pito ja uudistaminen ajanmukaisissa tiloissa ovat eräs koko tutkimusohjelman suu- rimmista haasteista. Lappeenrannan teknillisen yliopiston termohydraulisen koeto- minnan laitteet muodostavat toisen suuren tutkimusinfrastruktuurikonaisuuden.

4.1.2 Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma (KYT)

Julkishallinnon koordinoimia ydinjätehuollon tutkimusohjelmia on toteutettu vuo- desta 1989 lähtien (taulukko 4.1). Vuodesta 2002 lähtien ydinjätehuollon tutkimus- ohjelmat ovat perustuneet ydinenergialain (990/1987) 7 A lukuun Asiantuntemuk- sen varmistaminen. Sen mukaisesti tutkimustoiminnan tarkoituksena on *"varmis- taa, että viranomaisten saatavilla on riittävästi ja kattavasti sellaista ydinteknistä asi- antuntemusta ja muita valmiuksia, joita tarvitaan ydinjätehuollon erilaisten toteutus- tapojen ja menetelmien vertailuun"*. Tutkimushankkeiden on oltava tieteellisesti kor- keatasoisia ja niiden tulosten on oltava julkaistavissa. Tulosten käytettävyys ei saa rajoittua vain yhden luvanhaltijan ydinlaitoksen luvitukseen.

Taulukko 4.1. Julkishallinnon koordinoituja tutkimusohjelmia.

Kausi	Tutkimusohjelman nimi
1989–1993	Julkisrahoitteisen ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT)
1994–1996	Julkishallinnoidun ydinjätetutkimuksen ohjelma (JYT2)
1997–2001	Julkishallinnon ydinjätetutkimusohjelma (JYT2001)
2002–2005	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT
2006–2010	Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2010

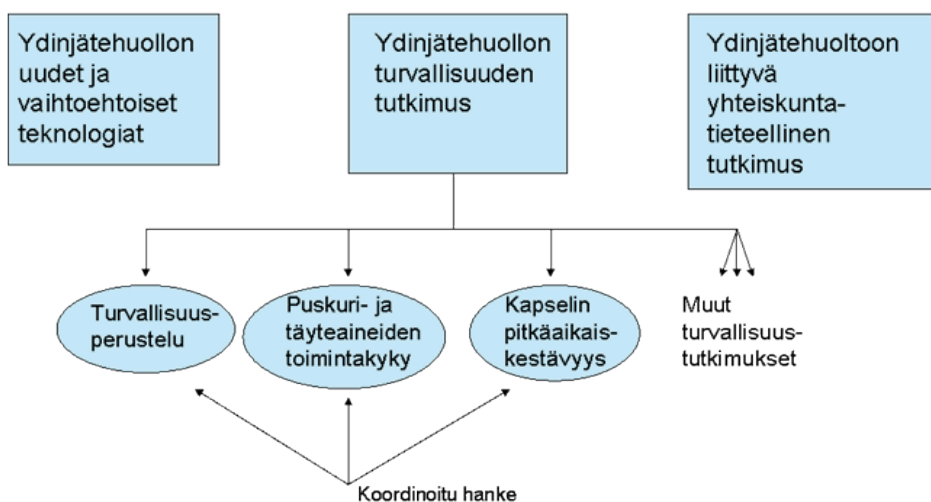
KYT-tutkimusohjelman toiminta perustuu viranomaisten ja ydinjätehuoltoa toteuttavien organisaatioiden muodostaman johtoryhmän ja tukiryhmän sekä tutkimushankkeiden keskinäiseen yhteistyöhön ja työnjakoon. Tutkimusohjelmalla on koordinaattori.

KYT-tutkimusohjelman arviointiryhmä kiinnitti vuonna 2007 huomiota mm. osaamiseen ja sen saatavuuteen, ylläpitoon ja kehittämiseen ydinjätehuollon alalla. Vuonna 2008 tutkimusohjelmassa kartoitettiin ydinjätehuollon koulutusmahdollisuuksia ja -tarpeita. Selvityksen perusteella toteutettiin vuonna 2010 ns. pilot-hankkeena Kansallinen ydinjätehuollon lyhytkurssi.

Parhaillaan on käynnissä Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma KYT2014, jonka tutkimuskausi on 2011–2014. Tutkimusohjelman kokonaisrahoitus v. 2011 on 2,8 M€, josta Valtion ydinjätehuoltorahaston osuus on 1,7 M€. Tutkimusohjelman kokonaislaajuus v. 2011 on 23,5 henkilötyövuotta.

KYT2014-ohjelman tutkimusaiheet ovat ydinjätehuollon uudet ja vaihtoehtoiset teknologiat, ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimus ja ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus, kuva 4.8.

Kuva 4.8. KYT2014-tutkimusohjelman aihepiirit⁶.



Ydinjätehuollon uusia ja vaihtoehtoisia teknologioita tutkimalla parannetaan suomalaisen ydinjätehuollon toteutusvarmuutta, mikäli nyt päävaihtoehtona oleva geologinen loppusijoitus ei toteutuisi kaavailtuna tai mikäli kehitetään uusia menetelmiä esimerkiksi syntyvän jätteen määrän vähentämiseksi. Viranomaisten saatavilla tulee olla ajantasaista tietoa ja asiantuntemusta tutkittavista ja kehitteillä olevista geologisen loppusijoituksen vaihtoehtoista sekä asiantuntemusta Suomessa

⁶ TEM 2010, Kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma, KYT2014. Puiteohjelma tutkimuskaudelle 2011–2014. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto 68/2010.

toteutettavan ydinjätehuollon erilaisten toteutustapojen ja menetelmien vertailuun. Teknologia-aihepiiriin kuuluvat esimerkiksi jälleenkäsittelyyn perustuvat ratkaisut, geologisen loppusijoituksen toteutusvaihtoehdot, varastointivaihtoehdot ja käytöstä poiston toteutuksen uudet ratkaisut.

Ydinjätehuollon turvallisuuden tutkimuksessa tavoitteena on, että viranomaisten käytössä on luvanhakijasta riippumatonta korkeatasoista asiantuntemusta geologisen loppusijoituksen teknisestä toteutuksesta ja siihen sisältyvistä vaihtoehtoisista menetelmistä ja ratkaisuista. Turvallisuustutkimuksen osa-alueita ovat turvallisuusperustelu ja tekniset vapautumisesteet sekä käyttö- ja pitkäaikaisturvallisuus. Turvallisuustutkimus kattaa voimalaitosjätteen ja käytetyn ydinpolttoaineen.

Ydinjätehuoltoon liittyvä yhteiskuntatieteellinen tutkimus on ollut mukana useissa tutkimusohjelmissa 1990-luvulta lähtien. Esimerkiksi KYT2010-tutkimusohjelmassa käsiteltiin paikallisia ydinjätehuoltoa koskevia käsityksiä ja niiden muuttumista. Fukushima ydinvoimalaitosonnettomuus korostaa entisestään ydinlaitosten turvallisuustutkimuksen ja niihin liittyvän yhteiskuntatieteellisen tutkimuksen merkitystä.

4.1.3 Fuusiotutkimus Suomessa osana kansainvälistä kokonaisuutta

Suomi on ollut mukana EU:n fuusio-ohjelmassa vuodesta 1995 lähtien, jolloin perustettiin Euratom-Tekes assosiaatio, joka on nyt yksi Euroopan 27:stä Euratomin kumppanista.

Fuusiotutkimusyksikköön kuuluu ryhmiä VTT:sta, Aalto-yliopistosta, Helsingin yliopistosta sekä Tampereen ja Lappeenrannan teknillisistä yliopistoista. Vuonna 2007 Tarton yliopisto Virosta liittyi Euratom-Tekes assosiaatioon erillissopimuksella. Tutkimuksen koordinoinnista vastaa VTT.

Tutkimusvolyyymi vuositasona on noin 5 miljoonaa euroa vastaten 40–45 henkilötyövuotta.

Tutkimuksen painopiste on fuusioteknologiassa, jonka osuus on noin 70%. Loppuosuus tutkimuksesta on fuusio- ja plasmafysiikkaa. Pääosa fysiikkatutkimuksesta tehdään EFDA:n (European Fusion Development Agreement) puitteissa, jossa tärkein rooli on yhteiseurooppalaisen JET:n (Joint European Torus) koetoiminnassa.

JET on edelleen maailman suorituskykyisin fuusiolaitteisto ja palvelee valmistautumisessa ITERin käyttöön. Suomella on näkyvä rooli JET-työssä ja suomalaisia on avaintehtävissä koeryhmien vetäjinä ja kokeiden mallittajina. Suomen tutkimus on keskittynyt ITERin kannalta tärkeimpiin kysymyksiin:

- tokamak-plasman energian ja hiukkasten kuljetus ja kuljetusesteet
- plasma-seinämiä-ilmiot, eroosio, materiaalien kulkeutuminen ja depositio
- plasmadiagnostiikka.

Suomalaisten tärkeimmät fuusioteknologia-alueet ovat:

- ITERin etähuoltojärjestelmien kehittäminen ja DTP2 -tutkimusalusta

- rakennemateriaalien, liitosten ja pinnoitteiden karakterisointi ja mallinnus MD-simuloinneilla
- kehittyneet hitsausmenetelmät ja hitsausrobotit
- ITERin magneettinen diagnostiikka.

Teknologiat ovat valikoituneet aloista, joissa Suomessa on osaamista ja kiinnostusta soveltaa niitä laajemmin teollisuudessa. Fuusioteknologiassa painopiste on ITERin etähuoltojärjestelmien kehittäminen ja testaaminen. VTT:n Tampereella sijaitseva DTP2-laitteistolla (divertortestplatform) etsitään parasta ratkaisua ITERin diverttorikasettien vaihtoon. ITERin diverttorialue koostuu yli viidestäkymmenestä lähes 10 tonnin painoisesta kasetista, jotka ovat äärimmäisen rankan lämpö- ja hiukkas-kuormituksen alaisena ja tästä johtuen ne on vaihdettava ainakin muutaman kerran ITERin käyttöänsä aikana.

EFDA:ssa alkoi vuonna 2011 demonstraatiovoimalan (DEMO) konseptisuunnittelu ja osa Euratom-Tekes assosiaation teknologiatutkimuksesta kohdistetaan DEMO-työhön. EFDA:n toiveiden mukaan suomalaiset osallistuvat etähuoltojärjestelmiin, materiaalitutkimukseen sekä reunaplasma- ja plasma-seinäjä kysymyksiin.

4.1.4 Uuden sukupolven reaktoreiden tutkimusohjelma

Uuden sukupolven reaktoreiden tutkimusta (neljäs sukupolvi, Generation IV) on Suomessa harjoitettu aikaisempina vuosina suppeasti, lähinnä vaihtoehtoisten polttoainekiertojen mahdollisuuksien arvioimiseksi loppusijoitusratkaisua mietittäessä. Viime vuosikymmenen jälkipuoliskolla alan yliopistot, VTT ja muut keskeiset toimijat organisoivat Gen4Fin-verkoston, jonka tuottamassa tiekartassa arvioitiin Suomen panostusmahdollisuuksia neljännen sukupolven ydinenergian tutkimukseen. Hankkeen yhteydessä kehitettiin NETNUC-tutkimusprojekti Suomen Akatemian samaan aikaan perustamaan tutkimusohjelmaan Sustainable Energy (SusEn).

NETNUC (New Type Nuclear Reactors) -projektissa (2008–2011) Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Aalto-yliopisto ja VTT tekevät perustutkimusta hankkiakseen lisätuntemusta neljännen sukupolven teknologioista, vahvistaakseen alan kansainvälisiä yhteyksiä ja kouluttaakseen tutkijoita aihepiiriin.

Projektin kantavia teemoja ovat neljännen sukupolven teknologian turvallisuuspiirteet, kestävää kehitystä palveleva polttoaineen huomattavasti tehostettu käytömahdollisuus ja vähäisempi loppusijoitettavan jätteen määrä sekä energian tuotannon tehokkuus (korkeampi hyötysuhde) ja nykyistä laajemmat sovellukset kuten prosessilämmön ja vedyn tuotantomahdollisuudet.

Lappeenrannassa on keskitytty superkriittiseen reaktorikonseptiin (SCWR) ja kaasujäähdytteisiin reaktoreihin (VHTR, GFR). Superkriittisen reaktorin tutkimus kytkeytyy pitkään menossa olleeseen kevytvesireaktoreiden kokeelliseen termohydrauliikkaan. Kaasujäähdytteisten reaktoreiden osalta keskitytään reaktorifysiikkaan, virtaustekniikkaan ja turvallisuuskäsitteisiin mallinnusta käyttäen. Myös Aallossa on tutkittu SCWR-konseptin termohydrauliikkaa, minkä lisäksi on

panostettu torium-polttoainetta mahdollisesti hyödyntävien reaktoreiden Monte Carlo-simulointiin.

VTT on keskittynyt reaktorifysiikkamenetelmien kehitykseen, SCWR-reaktorin materiaalien testaukseen ja ydinennergialla tuotetun lämmön käyttömahdollisuuksiin prosessiteollisuudessa. Tutkimusprojektin ulkopuolella VTT on osallistunut myös EU:n superkriittisen reaktorin (HPLWR) tutkimusprojekteihin ja materiaalitutkimukseen GETMAT-projektissa. VTT osallistuu myös Ranskaan rakennettavan Jules Horowitz -tutkimusreaktorin (JHR) kehitystyöhön, mikä valmistuttuaan parantaa merkittävästi sekä nykyisten että tulevien reaktorien materiaalitestausmahdollisuuksia.

4.2 Tutkimus yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa

4.2.1 Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT Energia on energia-alan suurin yliopistollinen tutkimus- ja opetusyksikkö Suomessa. Sen yhteistyö kaikkien kotimaisten alaan liittyvien yliopistojen ja VTT:n kanssa on tiivistä ja jatkuvaa ja se tekee myös laajaa tutkimusyhteistyötä alan yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa kansallisesti ja kansainvälisesti. Energiatekniikan tutkimuksen pääsovellusalueet ovat kestävän kehityksen mukaiset energiantuotanto- ja muuntoprosessit sekä energiatehokkaat laitteet ja prosessit. Tutkimuksen tekeminen näissä alueissa rakentuu ennen kaikkea termodynamiikan, virtaustekniikan ja lämmönsiirron vankan perusosaamisen varaan.

Ydinvoimatekniikan laboratorion päätutkimusalueena on vuosikymmeniä ollut kokeellinen ja laskennallinen ydinturvallisuuden tutkimus. Yliopiston tutkimuslaboratorioon on rakennettu useita mittavia koelaitteistoja, joilla mallinnetaan kevytvesireaktoreiden turvajärjestelmiä: PACTEL, PWR PACTEL, PPOOLEX. Koelaitteistoilla on tuotettu ainutlaatuista dataa ennen kaikkea tietokoneohjelmien kelpoistamista varten. Näitä dataa hyödynnetään vuosittain monissa eri organisaatioiden SAFIR₂₀₁₄-tutkimusohjelman projekteissa. SAFIR₂₀₁₄:n projektit muodostavatkin LUT:n tutkimustoiminnan rungon.

LUT:lla on myös osaaminen erilliskoelaitteistojen tarvittaessa nopeaankin kehittämiseen ja valmistamiseen, mitä ovat hyödyntäneet viranomaiset, voimalaitokset ja voimalaitostoimittajat kehityshankkeissaan ja turvallisuustarkasteluissaan.

LUT:ssa on kehitetty häiriö- ja onnettomuustilanteiden termohydraulisiin ja virtausdynamiisiin turvallisuusanalyysiin käytettäviä laskentakoodoja omia koetuloksia käyttäen useissa kansainvälisissä hankkeissa, mm. käynnissä olevissa EU-projekteissa ja OECD:n NEA:ssa. Näitä termohydrauliikka- ja CFD-koodeja (APROS, CATHARE, RELAP₅, SMABRE, Fluent, TransAT, NEPTUNE CFD) on käytetty myös omien kokeiden analysointiin. Myös laitosten turvallisuusanalyysiin on osallistuttu vuosien varrella. Uusimmilla mittausjärjestelmillä pyritään tuottamaan kolmidimensioisen CFD-laskennan edellyttämää tarkkaa kelpoistusdataa.

NETNUC-hankkeessa tutkitaan LUT:n koordinoimana Aalto-yliopiston ja VTT:n kanssa uudentyyppisten ydinreaktoreiden ilmiöitä Suomen Akatemian kestävän energian tutkimusohjelmassa SusEn. LUT on keskittynyt erityisesti kaasujäähdytteisten kuulakekoreaktoreiden mallinnukseen hyödyntäen tutkimuksessaan laitoksen polttovoimalaitosmallinnusosaamista. Reaktorifysikaalinen mallinnus on tehty VTT:n SERPENT-ohjelmalla. LUT on myös jäsen EU:n kestävän ydinenergian teknologiayhteisössä SNE-TP.

LUT Energian virtaustekniikan laboratoriollla on pitkäaikaista kokemusta prosessilaskennasta, turbiinien virtausteknisestä suunnittelusta ja mallintamisesta (CFD). Turbiinien kokoluokat vaihtelevat pienistä bioenergiayksiköistä tuulivoimaloiden kautta aina ydinvoimalaitossovelluksiin, joissa on prosessihyötysuhdetta ja luotettavuutta pystytty korottamaan materiaalien parantumisen ja virtauslaskennan kehittymisen myötä.

Ydinalan tutkimusta on myös LUT Metallin laitoksella ja CEID:ssä (The Centre of Computational Engineering and Integrated Design), joka keskittyy teollisuusprosessien numeerisen mallinnukseen, mikä on yksi LUT:n tutkimuksen painopistealoista. Sovellusala on erityisesti hitsaustekniikka. Mekatroniikan yksikkö kehittää projektissaan ITER:n fuusiotestireaktoriin primääriseinämän hitsausrobottia hyödyntäen siinä myös etäoperoinnin ja virtuaalisuunnittelun osaamistaan.

4.2.2 Aalto-yliopisto

Aalto-yliopistossa on ydinvoimaan liittyvää monipuolista erikoisosaamista hajautettuna useaan tutkimusyksikköön. Eri yksikköjen tutkimus nivoutuu elimellisesti koulutukseen ja erityisesti jatkokoulutukseen.

Perinteisestä reaktori- ja säteilyfysiikan tutkimuksesta ja koulutuksesta huolehtivat Teknillisen fysiikan laitoksen fissio- ja fuusioryhmä, joissa on tutkijoita ja jatkoopiskelijoita lähes kolmekymmentä. Näiden ryhmien toiminta on keskenään synergistä ja vahvasti laskennallista ja niissä hyödynnetään paitsi laitoksen omia niin myös CSC:n (Tieteen tietotekniikan keskus) laskentaresursseja. Fissioryhmällä on käytössään perinteisiä ydinteknisiä mittalaitteita, joita sovelletaan myös oppilastöissä. Lisäksi Otaniemen kampuksella oleva VTT:n Triga-tutkimusreaktori on käytössämme. Fissioryhmä osallistuu SAFIR2014:n polttoaineprojekteihin, torium-polttoaineselvityksiin, KYT2014:n transmutaatiotutkimuksiin ja säteilyspektrien asian tuntijajärjestelmien kehittämiseen. Fuusioryhmän tutkimus on integroitu Euratomin fuusiotutkimukseen ja tapahtuu hyvin läheisesti VTT:n fuusioryhmien kanssa (kappale 4.1.3).

Aallon fissioryhmän ydintekniikan tutkimuksessa tärkeässä asemassa on ollut Suomen Akatemian SusEn-ohjelmaan (2008-11) kuuluva hanke NETNUC (kappale 4.1.4). Koetoiminnan osalta ryhmän strategisena tavoitteena on kansallisena partnerina osallistua muutamaa eurooppalaiseen suureen fissiotekniikan tutkimushankkeeseen (esim. Jules Horowitz -koereaktori). Fuusioryhmän koetoiminta on jo

keskittynyt kahteen Euratomin kansainväliseen suureen tokamak-koelaitteistoon, AsdexUG ja JET; uutena haasteena on ITER-kooreaktori.

Aalto-yliopiston Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella tutkitaan rakennusgeologiaa, kalliorakentamista ja geotekniikkaa ydinjätteen loppusijoituksen näkökulmasta. Ryhmä kehittää Aalto-yliopiston ydinjätteen geologisen loppusijoitukseen liittyvää tutkimusosaamista ydinjätteen loppusijoituskohteiden kallioperän geologisen, hydrogeologisen, hydrogeokemiallisen ja kalliomekaanisen karakterisoinnin osalta. Tutkimustoiminnassa painotetaan geologisen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden mallinnusta ja siihen liittyvien menetelmien kehittämistä, teknisinä vapautumisestoina käytettävien luonnonmateriaalien (kuten bentoniittipuskurin ja -täytön) ominaisuuksien arviointia sekä loppusijoitukseen käytettävien kalliotilojen suunnittelua ja optimaalista rakentamista. Tutkimuksessa huomioidaan myös transmutaation tuottamien ydinjätteiden asettamat vaatimukset geologiselle loppusijoitukselle.

Koneenrakennuksen materiaalitekniikan tutkimusryhmässä on laajaa ja syvälistä kokeellista ja teoreettista osaamista koskien ydinvoimalaitosten ja ydinjätteen loppusijoituskapseleiden materiaali-, hitsaus- ja NDT-tutkimusta. Ryhmän oma koelaitteisto on laaja ja sen toimintaa tukee tehokas kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö. Muista Aalto-yliopiston ydintekniikan aktiviteeteista on mainittava myös virtaustekniikka, riskianalyysi, energiatalous, organisaatiot, voimalarakenteet, turvallisuuskriittiset ohjelmistot jne., joista kaikista löytyy merkittävät tutkimusryhmät.

Aalto-yliopiston yhteistyö LUT:n kanssa on koordinoitua ja verkottuminen VTT:n, voimayhtiöiden ja STUKin kanssa on tiivistä, mistä on osoituksena mm. monet opin näytteet, jotka tehdään näissä organisaatioissa alan asiantuntijoiden ohjauksessa. Aalto-yliopiston ydintekniikkatutkimuksen painoarvoa voidaan entisestään lisätä yliopiston sisäistä verkottumista tehostamalla. Aalto-yliopisto koordinoi YTERA-tohtoriorjelmaa, jonka osapuolina ovat lisäksi LUT ja Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio sekä keskeisenä toimijana myös VTT:n tutkijakoulutus. YTERA aloittaa toimintansa vuoden 2012 alussa.

4.2.3 Helsingin yliopisto

Helsingin yliopistossa ydinenergia-alan tutkimusta tekevät Kemian laitoksen Radiokemian laboratorio (HYRL) ja Fysiikan laitos. HYRL on Suomen yliopistoissa ainoa alansa yleisyksikkö ja kansainvälisesti erittäin suuri yliopistoyksikkö. Suurin tutkimusalue on ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyvä tutkimus. Laboratoriolla on keskeinen kansallinen rooli erityisesti tutkimuksessa, jossa selvitetään ydinpolttoaineesta liukenevien radionuklidien käyttäytymistä, pidättymistä ja kulkeutumista, kallio- ja maaperässä. Laboratoriossa on kehitetty kansainvälisesti ainutlaatuinen menetelmä kivien huokoisuuden määrittämiseksi ja sitä sovelletaan mm. Olkiluodossa tehtävissä radionuklidien in-situ diffuusiokokeissa. Lisäksi HYRL:ssä tutkitaan säteilyn vaikutusta uraanipolttoaineen liukenemiseen.

Toinen tärkeä ydinenergia-alaan liittyvä tutkimus on epäorgaanisten ioninvaihtimien kehittäminen radionuklidien selektiiviseen erottamiseen ydinjäteliuoksista. Fortum tuottaa kolmea laboratoriossa kehitettyä vaihdinta teollisessa mittakaavassa ja niitä on käytetty useilla ydinlaitoksilla monissa maissa. Tällä alalla HYRL on maailman johtava tutkimusyksikkö. Kolmas ydinenergia-alaan liittyvä tutkimusalue on ympäristön radioaktiivisuus. Tällä hetkellä tärkein tutkimus käsittelee kaivosjätteissä (Soklin fosfaattiesiintymä, Paukkajanvaaran entinen uraanikaivos ja Talviväärän kaivos) olevien radionuklidien liukenemista ja kulkeutumista maassa ja vesistöissä. HYRL:ssä kehitetään myös menetelmiä radionuklidien pitoisuuksien määrittämiseen ydinjätteistä.

Fysiikan laitoksen tärkeimmät ydinenergia-alaan liittyvät tutkimusalueet ovat materiaalien säteilyvaurioiden tutkimus ja ydinfysikaalisten menetelmien hyödyntäminen materiaalien analyysissä. Tutkimuksen painopistealoja ovat reaktorimateriaalien neutronisäteilyvaurioiden perusmekanismien tutkimus, jossa Fysiikan laitoksen tutkijat hyödyntävät Cern/ISOLDE laitteistolla tuotettuja radioaktiivisia ionisuihkuja ajankohtaisten materiaalien diffuusio-ominaisuuksien tutkimuksissa, fuusioreaktorioiden plasma-seinämvuorovaikutusten tutkimus, ja puolijohdeilmaisimien ja lasien säteilykestävyys.

4.2.4 Jyväskylän yliopisto

Polttoainetutkimuksessa tarvittavien vaikutusalojen ja fissiotuotteiden hajoamisomaisuuksien (fissiotuotto, hajoamislämpö, beetahajoamisen viivästämät neutronit) määrittämiselle on vahva tarve ydinenergiatutkimuksessa. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratoriossa (JYFL) on käytetty useita moderneja ydinfysiikan tekniikoita näiden ominaisuuksien määrittämisessä. Kiihdytinlaboratorion kaksi syklotronia ja yksi tasajännitekiihdytin sekä monipuoliset radioaktiivisen säteilyn ja materiaalien tutkimuslaitteistot tarjoavat erinomaiset puitteet säteily- ja ydinturvallisuuteen ja ydinenergiaan liittyville tutkimus- ja selvityshankkeille.

Laitoksella kehitettiin 1980-luvun alussa ioniohjaintekniikkaan perustuva radionuklidien erottelumenetelmä, jossa ydinreaktiossa syntyvistä primääri-ioneista tuotetaan ionioptisesti hyvälaatuinen, massaeroteltu ionisuihku. Menetelmä soveltuu yhtä hyvin fuusio- kuin fissioreaktiollekin. Fissioreaktion tutkimuksen kannalta ioniohjaintekniikalla on ydinenergiatutkimukseen liittyviä mielenkiintoisia sovelluksia.

JYFL:n kiihdytinlaboratoriossa ioniohjainta käyttäen on mitattu fissiotuottoja 20–40 MeV protonilla, deutronilla, alfahiukkasella ja neutronilla indusoidulle ^{238}U :n ja ^{232}Th :n fissiolle. JYFLin isotooppierottimen yhteyteen rakennettiin 2000-luvun alussa Penningin ioniloukku (JYFLTRAP), jonka ensisijaisena tarkoituksena olivat hyvin tarkat isotooppien atomimassamittaukset. Loukku voidaan käyttää myös isotooppierottimena, jolla on hyvin korkea massaresoluutio. Penningin loukku on mahdollista käyttää fissiotuottojen suoraan mittaamiseen. Tärkeimmät

sovellusalueet ovat fissiotuotteiden radioaktiivisuudesta aiheutuva reaktorin jäähennöslämpö (decay heat) ja beetasäteilyn viivästämä neutronihajoaminen.

Tärkeimmät yhteistyötahot tässä työssä ovat olleet CIEMAT Madrid (Espanja), UPC-Barcelona (Espanja), Valencian yliopisto (Espanja), Debrecenin ydintutkimusinstituutti (Unkari) ja STUK (Suomi). Yhteistyö jatkuu sekä keskinäisenä yhteistyönä että EURATOMin Fissio-ohjelman ANDES (Accurate Nuclear Data for nuclear Energy Sustainability) projektin puitteissa.

Ioniohjaintekniikkaan perustuva massaerotinlaitteisto ja siihen kuuluva Penningin loukku siirtyivät vuoden 2011 aikana JYFLin kiihdytinlaboratorion uuden MCC30/15 -kiihdyttimen yhteyteen. Uudelta kiihdyttimeltä saatavaa hyvin intensiivistä protonisuihkua on suunniteltu hyödynnettäväksi fissiotutkimuksessa uudella tavalla rakentamalla neutronikonversiokohtio. Tämä tutkimus liittyy erityisesti neljännen sukupolven reaktoreihin.

4.2.6 Säteilyturvakeskuksen tutkimustoiminta

Säteilyturvakeskuksen tutkimustoiminnan tavoitteena on koko keskuksen mission tukeminen: ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojeleminen säteilyn vahingollisilta vaikutuksilta. STUKin tutkimustoiminnan tavoitteena on toisaalta uuden tiedon tuottaminen ja toisaalta säteilysuojelussa tarvittavan osaamisen kehittäminen. STUKin omista tutkimusalueista ydinenergian turvalliselle käytölle tarvittavaa osaamis pohjaa tukevat erityisesti seuraavat:

- säteilyn terveyshaitat
- säteilyuhkiin ja onnettomuuksiin varautuminen
- ympäristötutkimus
- dosimetriaan ja mittanormaaliin liittyvä tutkimus, ja
- luonnonsäteilytutkimus (pienemmässä määrin)
- CTBT- ja ydinmateriaalivalvonta.

Näiden lisäksi Säteilyturvakeskuksessa tehdään lääketieteelliseen säteilyyn ja ionisoimattoman säteilyn metrologiaan ja terveysvaikutuksiin liittyvää tutkimusta. Kaikkiaan STUKissa käytettiin tutkimukseen 50,8 henkilötyövuotta vuonna 2010. Tästä noin 80 % kohdistui edellä mainituille kuudelle alueelle.

STUKin ydinturvallisuusvalvontaa tukeva tutkimus tehdään kohdassa 4.1 käsitellyissä kansallisissa ohjelmissa. STUK osallistuu aktiivisesti ohjelmien johto- ja tukiryhmien toimintaan.

Säteilyn terveyshaittojen tutkimuksessa tavoitteena on, että STUK pystyy vastamaan päätöksentekijöiden ja kansalaisten tiedon tarpeeseen ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn terveyshaittojen ilmaantuvuudesta väestössä ja esittää perusteltuja näkemyksiä terveyshaittojen syntymekanismeista. Terveyshaittojen tutkimus tuottaa myös syvällisiä osajia, joilla on valmiuksia osallistua kotimaiseen ja kansainväliseen keskusteluun säteilysuojeluperusteista ja tehdä tutkittuun tietoon perustuvia kannanottoja suomalaisen yhteiskunnan erityiskysymyksistä.

Ympäristötutkimuksessa tavoitteena on, että STUK vastaa päätöksentekijöiden, sidosryhmien ja kansalaisten tiedon tarpeeseen radioaktiivisten aineiden esiintymisestä suomalaisessa ja lähialueiden ympäristössä, eliökunnassa ja ravinnossa ja esittää perusteltuja arvioita ympäristön kautta eri kansalaisryhmille ja eliökunnalle koituvasta säteilyaltistuksesta ja keinoista sen vähentämiseksi. Ympäristötutkimus tuottaa tietoa radioaktiivisten aineiden esiintymisestä ympäristössä, eliökunnassa ja ravinnossa. STUK osallistuu myös pitoisuusrajoja koskevien säädösten valmisteluun.

Säteilyuhkiin ja onnettomuuksiin varautumista koskevassa tutkimuksessa tavoitteena on, että STUK vastaa päätöksentekijöiden, sidosryhmien ja kansalaisten tiedon tarpeeseen erilaisten säteilyuhkien ja vaaratilanteiden turvallisuusmerkityksestä, ehkäisee ennalta säteilyuhkia, toimii tehokkaasti ja tarkoituksenmukaisesti säteilyvaaratilanteissa ja antaa tutkittuun tietoon ja ennalta tehtyyn suunnitteluun perustuvia suosituksia säteilyaltistuksen vähentämiseksi. Tämän varmistamiseksi STUK ylläpitää ja kehittää jatkuvasti mittaustuloksia ja asiantuntemusta nopean vasteen ja tehokkaan toiminnan varmistamiseksi säteilyvaaratilanteissa.

Dosimetriaan ja mittanormaalityönnä liittyyssä tutkimuksessa tavoitteena on, että STUKissa tehtävien mittausten, analyysien ja dosimetrian laatu on korkea kansainvälistä tasoa ja antaa luotettavan pohjan STUKin toiminnalle valvovana viranomaisena ja tutkimuslaitoksena. Oman tutkimus- ja kehitystyön myötä STUKin käytössä on monipuoliset ja ajanmukaiset analyysivalmiudet, ja palvelujen laatu ja saatavuus täyttää sidosryhmien tarpeet.

Ydinturvallisuuteen liittyvä STUKin tutkimus tukee STUKin ydinlaitosten valvontatehtäviä ja osaltaan edistää yhteiskunnallista vaikuttavuustavoitetta: ydinturvallisuus pysyy Suomessa korkealla tasolla ja turvallisuusperusteet vastaavat hyvää kansainvälistä käytäntöä. STUKin valvontatehtävä edellyttää riippumattomuutta valvottavista organisaatioista. Ydinturvallisuuden tutkimus Suomessa on järjestetty siten, ettei tämä riippumattomuus vaarannu.

STUK voi osallistua hankkeisiin, jotka koskevat ydinlaitosten ulkopuolisia tapah-tumia (päästöjen leviäminen ja vaikutukset ympäristöön). STUK voi osallistua sellaiseen perustutkimukseen, joka liittyy selkeästi säteilyturvallisuuden kehittämiseen. Lisäksi osallistutaan perustutkimukseen, jonka avulla kehitetään säteilyn mittaust-menetelmiä ja ilmaisimia säteilyturvallisuuden, CTBT-valvonnan ja ydinmateriaali-valvonnan tarpeisiin.

STUKissa tehtävän ydinturvallisuustutkimuksen ulkopuolelle rajataan selkeästi ydinenergian kehittämiseen liittyvä tutkimus sekä tutkimushankkeet, jotka saavat rahoitusta kansallisista ydinturvallisuusrahastoista. Tutkimusrahoitusta ei myöskään oteta vastaan sellaisilta organisaatioilta, joita STUK valvoo viranomaisena (voimayhtiöt, Posiva). Ydinturvallisuuteen liittyvän tutkimuksen volyymi on ollut varsin pieni viime vuosina (alle 1 htv).

Kansainvälinen arviointiryhmä on evaluoinut STUKin tutkimustoiminnan vuosina 2000 ja 2005. STUKin tutkimuksen todettiin olevan korkeatasoista ja eräillä

alueilla jopa korkeinta kansainvälistä tasoa. Seuraava evaluointi on tulossa loka-kuussa 2011. Arviointia varten laaditut kaksi raporttia antavat kattavan kuvauksen STUKin tutkimustoiminnasta vuosina 2005–2010 sekä STUKissa meneillään olevista tutkimushankkeista:

Salomaa and Sulonen (Eds): Research activities of STUK 2005–2010, STUK-A248 (August 2011) Salomaa and Sulonen (Eds): Research projects of STUK 2008–2011, STUK-A249 (August 2011).

4.2.7 VTT:n tutkimustoiminta kansallisten ohjelmien ulkopuolella

VTT on ylivoimaisesti suurin ydinenergiatutkimusta tekevä tutkimuslaitos Suomessa. VTT:n toiminta kattaa valtaosan reaktoriturvallisuustutkimuksen ja ydinjätteen loppusijoituksen sekä fuusiotutkimuksen aihepiireistä. VTT:n ydinenergia-alan tutkimuksesta noin 60 % on oma- ja yhteisrahoitteista tutkimustoimintaa, josta edelleen noin 60 % sijoittuu kansallisiin tutkimusohjelmiin muodostaen runsaat 80 % SAFIR2014-ohjelman ja vajaat 50 % KYT2014-ohjelman tutkimusvolyymistä. Merkittävää on myös osallistuminen NETNUC-hankkeeseen sekä kansainväliseen fuusiotutkimusohjelmaan. Näissä tapahtuvaa tutkimusta on kuvattu luvussa 4.1.

Uusien osajien koulutustarve VTT:llä on niin suuri, että vain osa koulutuksesta voidaan tehdä kansallisten ohjelmien puitteissa. Loppu koulutuksesta tapahtuu joko täysin omarahoitteisena toimintana tai yhdessä tärkeän strategisen kumppanin, kuten esimerkiksi Posiva Oy, kanssa. Geneeristen tutkimusaiheiden osalta myös muilla toimialoilla tehtävä tutkimus kehittää osaamista, joka on hyödynnettävissä ydinvoimasovelluksissa (esimerkkeinä materiaalitekniikka sekä organisatoriset ja inhimilliset tekijät).

Kansallisten ohjelmien lisäksi VTT:llä on myös merkittävää oma- ja yhteisrahoitteista strategisen osaamisen kehittämistä, joka tähtää selkeästi kaupallisiin toimeksiantoihin ja tuotteisiin. APROS-ohjelmiston kehitys yhdessä Fortumin kanssa vuodesta 1986 on eräs esimerkki tällaisesta hankkeesta. Oma- ja yhteisrahoitteisen tutkimustoiminnan muut pääkohteet ovat luvussa 6 käsiteltävät EU-hankkeet, osallistuminen Jules Horowitz -hankkeeseen, oman strategisen osaamisen kehittäminen ja sellaiset yhteishankkeet, jotka eivät kuulu kansallisiin ohjelmiin.

Eräs VTT:n merkittävin tutkimuspanostuksista kohdistuu Cadaracheen valmistuvaan Jules Horowitz -materiaalitutkimusreaktoriin (JHR). VTT on hankkeessa mukana merkittävällä työpanoksella ja kaikkiaan 10 miljoonan euron rahoitusosuudella, jota vastaan on mahdollista saada 2 % tulevan reaktorin käyttöajasta. Suomi osallistuu VTT:n kautta tämän reaktorin teknologian kehittämiseen ja jatkossa osamistajana todennäköisesti myös reaktorilla tehtävään kokeelliseen tutkimukseen.

VTT on laajasti mukana luvussa 6 käsiteltävissä OECD/NEA:n ja Euratomin tutkimushankkeissa. OECD/NEA-hankkeista useimmat nivoutuvat SAFIR2014-ohjelmaan. Euratomin hankkeita ovat ydinjätehuollon CROCK ja REDUPP, edistyneisiin

turvallisuuden arviointimenetelmiin ja ohjelmistojen luotettavuuteen liittyvät ASAMPSA₂ ja HARMONICS, materiaalitutkimushankkeet GETMAT, MATTER, LONG-LIFE, PERFORM6o, NULIFE, SCWR ja STYLE, ydinvoimalaitoksen simulointiohjelmiston kehityshanke NURISP ja vakavien onnettomuuksien verkostohanke SARNET-2. VTT:n koordinoimasta NULIFE-hankkeesta on kehitteillä ns. legal entity, jolla on tarkoitus olla merkittävä rooli Euroopan materiaalitutkimuksen ohjauksessa.

Kansallisissa ohjelmissa ja muissa oma- ja yhteisrahoitteisissa hankkeissa kehitettyä osaamista käytetään laajasti kaupallisissa toimeksiannoissa Säteilyturvakeskukselle, Posivalle ja kotimaisille voimayhtiöille sekä ulkomaisille asiakkaille niin viranomais- kuin voimayhtiöpuolella.

VTT:n merkittävimmät tutkimuslaitevalmiudet on esitelty luvussa 5. Näistä mainittakoon keskeiset reaktoriturvallisuustutkimuksen analyysiohjelmistot, joissa on sekä itse kehitettyä että kansainvälisen yhteistyön kautta hankittua koodistoa, reaktorimateriaalitutkimuksen koelaitteistoja ja osaamista (kuumakammiot, murtoismekaniikan testauslaitteistot), lentokonetörmäyskoelaitteisto, radiokemian tutkimusvälineistöä, ydinjätteen loppusijoitukseen liittyviä bentoniitin karakterisointilaitteistoja sekä fuusiotutkimuksen ohjelmistojä ja ensiseinäämämateriaalien mittaustaitteistoa.

Ydinvoimalaitosmateriaalien tutkimusvalmiuksia hyödynnetään sekä uusien materiaaliratkaisujen selvittämisessä että arvioitaessa ikääntyvien voimalaitosten materiaalien vanhenemisilmiöitä. Käytettävissä on monipuoliset mikroskopia- ja analysointivalmiudet (SEM, FEG-STEM, EDS) sekä NDE-laitteistot (ultraääni, pyörrevirta, radiografia) materiaalien rikkomattomaan aineenkoetukseen. Materiaalien karakterisointiin on käytettävissä staattiset materiaalien testauslaitteistot (veto-, taivutus-, iskusitkeys) sekä väsytyiskoelaitteistot. Materiaalinäytteitä voidaan kuormittaa ja tutkia myös ydinvoimalaitosten vesikemialä simuloivissa autoklaaveissa. Ydinvoimalaitoksilta peräisin olevia säteileviä näytteitä voidaan tutkia ja testata kuumakammioissa ja aktiivisille materiaaleille tarkoitetuissa autoklaaveissa.

Materiaalitutkimuksen valmiuksia hyödynnetään myös voimalaitoksilla tapahtuneiden materiaaliuurioiden syiden selvittämisessä. Selvityksiä tehdään sekä kotimaisille että ulkomaisille ydinvoimalaitoksille ja viranomaisille.

Lentokonetörmäyslaitteistoa käytetään pääasiassa tutkimushankkeissa, joissa on mukana useita rahoittajia. Laitteisto on kansainvälisesti ainutlaatuinen ja suomalaisten tahojen lisäksi osallistujia on sekä Euroopasta että Pohjois-Amerikasta. Laitteistoa voidaan hyödyntää myös muiden törmäystilanteiden tutkimisessa.

VTT:n turvallisuusanalyysiohjelmistoilla, joita on esitelty luvussa 5, tehdään ydinvoimalaitosten rakentamis- ja käyttöluupiin liittyviä varmentavia turvallisuusanalyysijä viranomaiselle, kun viranomainen tarkastaa reaktoritoimittajan tekemiä turvallisuusanalyysijä. Tämä tarkoittaa, että riippumattomalla ohjelmistolla simuloidaan jokin onnettomuustapahtuman kulku, jotta voidaan varmistua laitoksen turvajärjestelmien riittävästä tehokkuudesta sydämen jäähdytettävyyden ja turvallisen sulkemisen takaamiseksi.

Turvallisuusanalyysijä tehdään myös tarpeen mukaan voimayhtiöiden käyttöön. Reaktorifysiikkaohjelmistoilla lasketaan reaktorien tehojakautumia ja tehonsäädön tehokkuutta lataussuunnittelun tueksi, isotooppikoostumuksia palaman edetessä, aktiivisuusinventareja ja kriittisyysturvallisuutta sydämessä, kuljetuskapseleissa ja varastoaltaissa, sekä myös loppusijoituskapseleissa. Näillä ohjelmilla kehitetään myös ydintekniset vaikutusalat, joita reaktoriturvallisuuskoodit tarvitsevat tehon laskentaan. Polttoaineen käyttäytymistä palaman edetessä lasketaan tähän tarkoitukseen tehdyillä polttoainekoodilla. Näillä varmistetaan mm., että polttoaineen sisäinen paine ei nouse sallitun rajan yläpuolelle ja että polttoaineen suojaakuori ei vaurioidu. Näitä tarkasteluja tehdään sekä voimalaitosten että viranomaisen tarpeisiin, eri koodipaketteja käyttäen.

Vakavien onnettomuuksien mallinnus on oma tutkimusaihe, jossa laitosten onnettomuuksien kulkua lievittävien toimien tehokkuutta arvioidaan kokeilla varmenne-
tuin laskentamenetelmin. Kriittisiä ilmiöitä ovat laitoksen paineenhallinta, sydän-
sulan jäähdytettävyyden, vedynhallinta ja mahdolliset höyryräjähdykset. Näillä las-
kuilla voidaan arvioida mahdolliset päästöt ja niiden ajankohta. Päästöjen leviämi-
seen VTT:llä on käytössä omat laskentaohjelmistot.

VTT on hyvin merkittävässä roolissa Posivalle tehtävässä käytetyn polttoaineen huollon ja loppusijoituksen tutkimustyössä. Posiva on vuonna 2011 VTT:n suurin yrityssektorin asiakas. Toimeksiantojen aihepiireihin kuuluvat mm. pitkäaikaistur-
vallisuuden arviointi, pohjavesivirtauksen ja pohjavesikemian mallintaminen, ben-
toniitin toimintakyvyn analysointi (mallinnus ja kokeellinen tutkimus) sekä täyte-
aineen käytön suunnittelu ja sitä tukeva kokeellinen tutkimus ja demonstraatiot,
käytetyn polttoaineen liukoisuus ja muut ominaisuudet, loppusijoituksen tekniset
lähtökohdat ja kapselointitekniikka, ydinjättekapselin ja komponenttien tarkastus-
teknologian kehittäminen, käytetyn polttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitok-
sen todennäköisyyspohjainen riskianalyysi sekä käytetyn polttoaineen kuljetusten
ympäristöhaittojen arviointi eri kuljetusmuotojen tapauksessa (maantie-, rautatie-
ja laivakuljetukset).

VTT on vahvasti mukana Suomen edustajana kansainvälisessä yhteistyössä ja hankkeissa todennäköisyyspohjaisen riskianalyysin, automaation sekä valvomoi-
den ja prosessinohjauksen kehittämisen aihepiireissä. Tutkimustyössä kehitettyjä
uusia menetelmiä ja osaamista sovelletaan myös Säteilyturvakeskuksen tukio rgani-
saationa arviointityössä sekä voimayhtiöille tarjottuina palveluina.

Inhimillisten ja organisatoristen tekijöiden osalta pääosa ydinvoimatutkimuk-
sesta tehdään kansallisissa ohjelmissa. Koti- ja ulkomaisille voimayhtiöille ja viran-
omaisille tehtävät toimeksiannot kasvattavat ymmärrystä käytännön haasteista ja
ilmiöistä. Tämä toimialaspesifinen osaaminen ja VTT:n monialaisuuden mahdol-
listama käyttäytymistieteellisen ja tekniikan alojen osaamisen yhdistäminen ovat
välttämättömiä ydinvoiman turvallisen käytön tukemisen kannalta. Muilla toimi-
aloilla tehtävä tutkimus kasvattaa osaajien määrää. Erityisesti mainittakoon tur-
vallisuuskriittisillä toimialoilla tehtävä turvallisuuskulttuuri ja -johtamistutkimus.

Relevanttia osaamista syntyy myös organisaatioiden ja verkostojen johtamisen tutkimuksesta esimerkiksi alihankintasuhteisiin liittyen.

4.3 Tutkimus voimayhtiöissä ja Posivassa

Tässä luvussa esitellään lyhyesti Fennovoiman, Fortumin, Teollisuuden Voiman ja Posivan omaa tutkimustoimintaa. Yritysten tutkimustoiminta tähtää turvallisuuden lisäämiseen ydinlaitosten rakentamisessa ja käytössä sekä kestäväan ja taloudelliseen toimintaan.

4.3.1 Tutkimustoiminta Fennovoimassa

Fennovoiman tutkimustoiminnalla on kaksi päälinjaa, projektin tekemistä suoraan tukevat tutkimukset ja kansallisiin tutkimusohjelmiin osallistuminen.

Projektin toteutusta varten Fennovoima on teettänyt perinpohjaiset tutkimukset laitospaikkavaihtoehtojensa ympäristöolosuhteista, kuten geologia ja seismologia, ja äärimmäiset sääilmiöt (lämpötilat, tuuli, sademäärät, merenpinnan vaihteluväli) ottaen huomioon myös ilmastonmuutoksen vaikutukset näihin laitoksen suunnitellun käytön ja käytöstä poiston aikana. Näiden selvitysten perusteella on määriteltä laitokselle ympäristötekijöihin liittyvät suunnitteluperusteet.

Fennovoima on myös oman hankkeensa alusta asti osallistunut kansallisen ydinturvallisuustutkimuksen rahoitukseen, aluksi valikoituihin tutkimusprojekteihin (esim. SAFIR2010/EXWE) kohdennetun erillisrahoituksen ja periaatepäätöksen vahvistamista seuraavan vuoden alusta lakisääteisen VYR-maksun laajuudessa. VYR-rahoituksen lisäksi Fennovoima osallistuu JHR- ja GEN4FIN-hankkeiden ja NKS:n rahoitukseen sekä joihinkin hankkeen kannalta kiinnostaviin TEKES-projekteihin.

Fennovoiman tutkimuspanostus on kokonaisuudessaan suuruusluokkaa 10% yhtiön tämänhetkisestä budjetista.

4.3.2 Ydinvoimatutkimus Fortumissa

Fortumilla, entisellä IVolla, on pitkät perinteet ydinvoimaan liittyvän tutkimuksen tekemisestä. Tämä johtuu pitkälti 1970-luvun alkupuolella tehdystä päätöksestä rakentaa Loviisaan venäläistyypinen ydinvoimalaitos. Hankkeen eräänä haasteena oli implementoida suomalainen turvallisuuskulttuuri Neuvostoliitossa suunniteltuun laitokseen. Tämän johdosta päätettiin käynnistää yhtiössä tutkimusohjelma, joka toimii Fortumissa tänäkin päivänä. Tarkoituksena oli tuolloin, kuten nykyäänkin, tutkia käytössä olevien laitosten ydinturvallisuutta mahdollisimman laaja-alaisesti unohtamatta jätehuoltoon liittyvää tutkimusta.

Fortumin nykyisten laitosten ylläpitämiseksi käynnissä on kuusi tutkimusohjelmaa:

TERMO – Termohydrauliset menetelmät

PORE – Ydinpolttoaine ja reaktorifysiikka

O&M – Käyttö- ja kunnossapito
YJ – Ydinjätehuolto
YVMAT – Ydinvoimalaitosmateriaalit
APROS – Voimalaitoksen simulointi

Tämän lisäksi Fortumilla on yhteistyöhankkeita, jotka tähtäävät tulevaisuuden laitojen kehittämiseen. Fortum osallistuu moneen kansalliseen ydinvoimatutkimushankkeeseen.

Fortumilla on vahva organisaatio ja osaaminen, joka kohdistuu ydinvoiman ylläpitämiseen. Tästä osa kohdistuu tutkimus- ja kehitystyön tekemiseen. Pääpaino on ydinvoimalaitoksen luvittamiseen liittyvissä hankkeissa, joihin kuuluu oleellisena osana vahva luonnontieteellinen osaaminen. Koetoimintaa tehdään kansallisten ja kansainvälisten kumppaneiden kanssa, joista monesta on kuvaus tässä raportissa.

Ydinjätteen tuottaja on vastuussa tuottamastaan jätteestä niin taloudellisestikin kuin teknisesti siten, että loppusijoitus on turvallisella tavalla toteutettu. Tätä varten Teollisuuden Voima ja Fortum ovat perustaneet yhteisesti omistamansa Posiva Oy:n, jonka tehtävänä on suunnitella ja toteuttaa loppusijoitus turvallisesti siten, että viranomaisen vaatimukset täyttyvät. Periaatepäätöksen mukaan tulee saavuttaa valmius käytetyn polttoaineen loppusijoittamiseen vuonna 2020. Tähän liittyvää tutkimustoimintaa, johon suuri osa Fortumin ja TVO:n tutkimuspanostuksista kohdistuu, on kuvattu luvussa 4.3.4.

4.3.3 Tutkimustoiminta Teollisuuden Voima Oyj:ssä

Ydinturvallisuuden ja -tekniikan tutkimuksen ja kehitystyön tarpeet ovat muuttuneet viimeisten vuosien aikana merkittävästi alan kehityksen ja uuden OL3 -voimalaitosyksikön rakentamisen ja sitä seuraavan OL4-laitoksen periaatepäätöksen myötä. T&K-haasteet ovat yhtälailla kansallisia kuin kansainvälisiäkin. TVO:lle ensisijaisia tavoitteita ovat:

- Turvallisuuden kannalta uusien reaktorien rakentaminen ja modernisointi kaikki turvallisuusvaatimukset täyttäen ja lisäksi turvajärjestelmien passiivisia piirteitä.
- Taloudellisuuden kannalta laitosyksiköiden käyttöiän pidentäminen 60 vuoteen ja korkeampien polttoaineen palama-arvojen hyödyntäminen.
- Ydinjätteen loppusijoituskonseptin kehittäminen ja hyväksyttäminen Posivan toimesta.
- OL3- ja OL4-hankkeiden eteenpäin vieminen ja rakentamis- sekä käyttöilupien saaminen.
- Alan osaamisen säilyttäminen, siirtäminen ja uusien asiantuntijoiden kasvataminen.

Laajemmin eurooppalaisessa ja kansainvälisessä mittakaavassa haasteita ovat myös:

- Uusien voimalaitosyksiköiden suunnittelu ja rakentamien lisäävät tarvetta eurooppalaiseen ohjeistoon, myös T&K työn ja asiantuntijoiden tarve kasvaa.
- Ydinjätehuoltoon ja loppusijoitukseen liittyvien vielä avoimena olevien kysymysten ratkaiseminen on avainkysymys ydinenergian hyväksyttävyydelle.
- Neljännen sukupolven ydinvoimalaitoskonseptien (GenIV) T&K ja demonstrointi. Uusi reaktori- ja polttoaineteknologia edellyttää myös tutkimusinfrastruktuurin (koereaktorit, kuumakammiot jne.) ajanmukaisuutta.

TVO:n T&K toiminta rakentuu kolmesta ryhmästä: turvallisuus-, ydinenergiatekniikan- sekä ympäristö- ja ydinjätetutkimuksen ryhmät (kuva 4.9). Näillä pyritään T&K hankkeiden hyvään hyödyntämiseen ja samalla asiantuntijoiden kehittymiseen sekä tehokkaaseen verkostotoimintaan ja sen kehittämiseen.

Ympäristö- ja ydinjätetutkimuksessa tavoitteena on vähentää Olkiluodon ydinvoimalaitoksen ympäristökuormitusta sekä varmistaa voimalaitosjätteen ja käytetyn polttoaineen turvallinen loppusijoitus. Jätehuollon tutkimusalueeseen kuuluvat myös laitosyksiköiden sulkemisen yhteydessä tehtävä käytöstäpoisto ja voimalaitoksen käytöstä syntyvän jätteen käsittely ja loppusijoitus. TVO myös vastaa osaltaan Posivan tutkimus- ja kehitystyöstä ydinjätehuoltovelvollisena.

Kuva 4.9. TVO:n T&K toiminnan rakenne.



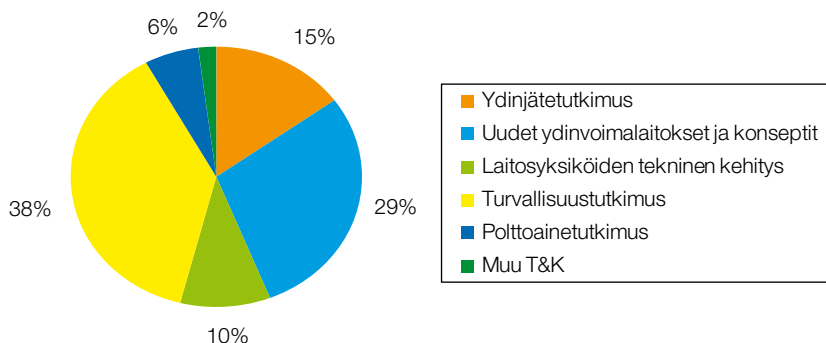
Turvallisuustutkimuksella varmistetaan osaltaan nykyisten laitosyksiköiden pitkäaikainen, turvallinen ja häiriötön käyttö. Tavoitteena on myös uusien laitosten teknologisten ratkaisujen todennettu turvallisuus ja niiden tulevien käyttölopun

edellyttämän tietämyksen hankinta. Tutkimuksen perustana on kansallinen SAFIR2014-ohjelma ja lisäksi osallistutaan Euratomin SNETP toimintaan usealla eri tasolla.

Ydinergiatekniikan T&K-työ kohdistuu erityisesti polttoainetutkimukseen, sekä kansainvälisissä hankkeissa (OECD NEA yhteistyö) että polttoainetoimittajien kanssa yhteistyössä. Myös uudet tekniset ratkaisut laitoksissa sekä lisensioitavuuden varmistaminen edellyttävät T&K hankkeita, joissa tehdään sekä kokeellista että mallinnustyötä. Hankkeet ovat joko TVO:n omia tilaustutkimuksia tai tyypillisesti Tekesin rahoittamia kansallisia yhteishankkeita. Pohjoismainen tutkimusyhteistyö tukee osaltaan näitä tarpeita ja TVO osallistuu sekä voimayhtiöiden väliin tutkimusohjelmiin (NPSAG, NOG ja Elforsk) että rahoittajana NKS:n ohjelmaan.

Uusien konseptien kehittämiseen ja infrastruktuurin rakentamiseen osallistutaan ensisijaisesti osana kansallisia hankkeita, kuten Gen4Fin verkosto ja Tekesin rahoittama VTT:n JHR MTR kooreaktorihanke.

Kuva 4.10. TVO:n tutkimus- ja kehitystoiminnan jakautuma vuonna 2010 ilman polttoaineen loppusijoituksen T&K-osuutta.



TVO:n rahoittaman tutkimus- ja kehitystoiminnan jakautuminen rahoituksellisesti eri alueille on esitetty kuvassa 4.10. Suurimmat kustannukset muodostuivat kuitenkin ydinjätetutkimuksista, joista valtaosa kului Posivan päätoimialaan eli käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen tutkimus- ja kehitystoimintaan. Tutkimusmenojen kasvu jatkui edelleen vuonna 2010 Posivan tutkimustoiminnan laajetessa.

Vuoden 2010 aikana T&K toiminnan rahoituksen kokonaisvolyymistä meni 1,3 % kansainvälistä tutkimukseen. Tämä muodostuu pääosin polttoaine- ja turvallisuustutkimuksesta. Jos vertailuun ei lasketa mukaan Posivan TKS -osuutta, on kansainvälisen toiminnan osuus 8 %.

4.3.4 Tutkimustoiminta Posivassa

TVO:n ja Fortumin yhdessä omistama Posivan tutkimus- ja kehitystyö tähtää käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen, joka on tarkoitus aloittaa vuonna 2020. Työn päätavoitteena on tuottaa lähtötiedot suunnitelmille kapselointilaitoksen ja loppusijoituslaitoksen rakentamiseksi ja rakentaa nämä ydinjätelaitokset. Tutkimus- ja kehitystoiminta käsittää ONKALOn rakentamisen lisäksi maanpäälliset tutkimukset, kapselointi- ja loppusijoitustekniikan kehittämisen ja loppusijoituslaitoksen suunnittelun.

Tutkimus- ja kehitystyö pohjautuu vuonna 2000 laadittuun kymmenvuotissuunnitelmaan (Posiva 2000-14) sekä vuoteen 2008 asti laadittuihin vuosittaisiin ydinjätetuollon toimintasuunnitelmiin. Työtä tehdään sekä Suomessa että kansainvälissä yhteistyössä, joista yhteistyö Ruotsin SKB:n kanssa on laajinta (ks. luku 6).

Ydinenergialain mukaan ydinjätehuoltovelvollisten tulee säännöllisin välein esittää ministeriölle selvitys siitä, miten jätehuoltovelvollinen on suunnitellut toteuttavansa ydinjätehuoltoon kuuluvat toimenpiteet ja niiden valmistelun. Vuoteen 2008 saakka tällaiset selvitykset toimitettiin ministeriölle vuosittain, mutta vuonna 2009 voimaan astuneen ydinenergialain muutoksen jälkeen selvitys annetaan kolmen vuoden välein ja sen tulee kuvata yksityiskohtaisesti seuraavan kolmivuotiskauden toimenpiteet ja pääpiirteittäin myös tätä seuraavien kolmen vuoden suunnitelmat.

Posivan TKS-2009 -ohjelma sisältää selvityksen suunnitelluista ydinjätehuoltoon liittyvistä toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2010–2012. Posivan varautuu hakemaan loppusijoituslaitoksen rakentamislupaa vuonna 2012 kauppa- ja teollisuusministeriön (nyk. TEM) päätöksen mukaisesti.

Seuraavan kolmivuotiskauden työ käsittää Olkiluodon loppusijoituspaikan varmentavien tutkimusten loppuunsaattamisen, tarvittavien laitosten suunnittelun ja käytettävän loppusijoitustekniikan kehittämisen rakentamislupahakemuksen edellyttämälle tasolle sekä rakentamislupahakemukseen liitettävän pitkäaikaisturvallisuutta koskevan turvallisuusperustelun tuottamisen.

Loppusijoitusjärjestelmän perussuunnitelman (kapselin loppusijoitus pystyreikänsä ”KBS-3V”) mukaisen työn ohessa selvitetään Ruotsin SKB:n kanssa yhteistyössä vaihtoehtoisen ns. vaakasijoitussuunnitelman (”KBS-3H”) toteutettavuutta ja pitkäaikaisturvallisuutta.

TKS-2009 ohjelmakauden tehtävät kohdistuvat neljään suureen kokonaisuuteen, jotka ovat Olkiluodon varmentavat paikkatutkimukset; käytetyn polttoaineen ydinjätelaitosten suunnittelu; käytetyn polttoaineen loppusijoitustekniikan kehittäminen ja käytetyn polttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden osoittaminen.

4.3.4.1 OLKILUODON VARMENTAVAT PAIKKATUTKIMUKSET

Olkiluodon loppusijoituspaikan ominaisuuksien kuvaus tarkentuu tutkimusalueen itäisellä alueella uusien tutkimusreikien johdosta ja lisäksi maanalaisessa

tutkimustilassa, ONKALossa, tehtävät kartoitukset ja tutkimukset ulotetaan varsinaisen loppusijoituskallion lähialueille.

Loppusijoitusvyvydessä tehtäviä tutkimuksia ja kokeita varten ONKALOon on rakennettu useita ajotunnelin varrella sijaitsevia syvennyksiä tutkimustiloiksi (ks. luku 5). Tutkimuspaikalla, maanpinnalla ja ONKALossa tehtävät tutkimukset ja kokeet tukevat paitsi paikkamallinnusta myös tutkimuspaikan erityisominaisuuksien selvittämistä sekä toimivat perustana loppusijoituslaitoksen suunnitelmalle.

Näiden lisäksi tutkimuspaikan ominaisuuksien kuvaus nojautuu olennaisesti Olkiluodon seurantaohjelman (Olkiluoto Monitoring Programme, OMO) tuottamaan tietoon. Ohjelma laajenee kenttätutkimusten myötä itäiselle alueelle sekä yhä syvemmälle kallioon ONKALOn edetessä. Kallion soveltuvuus-kriteerien (Rock Suitability Criteria, RSC) kehitystyötä jatketaan. RCS kriteerien kehitystyö on merkittävintä loppusijoituksen paikkatutkimukseen liittyvää tutkimusta, jota ei vielä missään muualla ole tehty. Soveltuvuus-kriteereissä otetaan huomioon sekä pitkäaikaisturvallisuuden että tilojen rakentamisen kannalta merkittävät kallio-ominaisuudet. Tavoitteena on kehittää menettelyt sekä loppusijoitukseen soveltuvien kallio-tilavuuksien tunnistamiseen että tunneliosuuksien ja loppusijoitusreikien soveltuvuuden arvioimiseen.

4.3.4.2 KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSLAITOKSEN SUUNNITTELU

Posivan suunnittelema käytetyn polttoaineen ydinlaitos koostuu kahdesta ydinjätelaitoksesta: maanpäällinen kapselointilaitos ja varsinainen maanalainen loppusijoituslaitos. Kapselointilaitoksessa käytetty ydinpolttoaine kapseloidaan loppusijoituskapseliin. Loppusijoituskapselit siirretään kapselointilaitoksesta maanalaiseen loppusijoituslaitokseen, joka koostuu loppusijoitustiloista, näitä yhdistävistä keskustunneleista, ajotunnelista, kuiluista sekä muista maanalaisista apu- ja teknisistä tiloista. Loppusijoituslaitoksen perussuunnitelman (KBS-3V) mukaiset loppusijoitustilat koostuvat loppusijoitustunneleista sekä tunneleiden pohjaan porattavista loppusijoitusrei'istä. Loppusijoitustunneleita louhitaan loppusijoitustilojen käyttö-vaiheen aikana vaihteittain noin 10–20 tunnelia kerrallaan. Kapseleiden sijoituksen jälkeen tunnelit täytetään mahdollisimman pian.

Rakenteilla oleva maanalainen tutkimustila ONKALO on suunniteltu siten, että se voi myöhemmin toimia osana loppusijoituslaitosta.

4.3.4.3 KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUSTEKNIIKAN KEHITTÄMINEN

Käytetyn polttoaineen loppusijoitustekniikan TKS- työn eri osa-alueet jakautuvat kuvassa 4.11 esitettyjen ns. tuotantolinjojen alle.

Kuva 4.11. Loppusijoitusjärjestelmä esitettynä työvaiheita kuvaavina tuotantolinjoina. (Kuva: Posiva)



Tutkimuksellisesti tärkeimmät tuotantolinjat ovat puskuri ja tunnelitäyttö. Tulevalla tutkimuskaudella bentoniittipuskuri on keskeinen kehityskohde sekä tekniikan kehitystyössä että loppusijoitusjärjestelmän toimintakykselvityksissä. Puskuritekniikan kehitystyö painottuu toteutettavan ratkaisun suunnitteluun ja puskurilohkojen valmistus- ja asennustapojen määrittelyyn. Kehitystyötä koordinoidaan BENTO-ohjelman puitteissa.

Bentoniitin koko käsittelyketju testataan ja analysoidaan vaihe vaiheelta. Puskurikomponenttien valmistuksessa edetään sekä yksiaksiaalisella että isostaattisella menetelmällä pienen mittakaavan valmistuskokeista täysimittakaavaisten lohkojen laatuvaatimukset täyttävään valmistukseen. Puskurilohkojen sarjavalmistusta testataan valmistamalla lohkoja puskuridemonstraatioiden tarpeisiin. Valmistustestien yhteydessä kehitetään ja laaditaan soveltuvia tarkastus- ja hyväksymiskriteerejä lohkovalmistukseen. Pienen (1:3) että täyden mittakaavan puskurin toteutusdemonstraatioiden valmistelut ajoittuvat vuosille 2010–2012.

Kapseli-tuotantolinja alkaa kapselin valurautaisen sisäosan valmistamisesta, käsittelee sen jälkeen kuparikapselin valmistamisen ja kokoonpanon. Kapseliratkaisu on jo pitkälti määritelty, mutta kapselin yksityiskohtaiseen mitoittamiseen liittyviä suunnitteluanalyyskejä jatketaan kapselia rasittavien kuormitusten ja kapselin kestävyys, kapselikomponenttien materiaalivikojen ja jäännösjännitysten enimmäissallittavuuden sekä kriittisyysturvallisuuteen liittyvien kysymysten ratkaisemiseksi. Kapselitutkimus on jo hyvin pitkällä ja keskittyy lähinnä päteväyttämiseen ja laadunvarmistukseen.

Tunnelitäyttö-tuotantolinja alkaa täyttöainekomponenttien valmistamisesta ja käsittelee täyttöainekomponenttien asentamisen sekä tarvittavien sulkurakenteiden asentamisen.

Nykyisen perussuunnitelman mukainen loppusijoitustunnelien täyttö muodostuu Friedland -savesta puristetuista lohkoista, lohkojen ja kallion väliin jäävän tilan täyttävistä pelleteistä sekä erikseen asennettavasta tunnelin lattian täytöstä. Täytön koko tuotantoketjulle suunnitellaan laadunvarmistusmenettelyt perustuen täytön turvallisuusmerkitykseen. Tutkimuksia ja pienen mittakaavan kokeita jatketaan täyteaineiden ominaisuuksien ja täytön toimintakykyyn vaikuttavien tekijöiden määrittämiseksi ja lohkojen asentamista testataan vaiheittain.

4.3.4.4 KÄYTETYN POLTTOAINEEN LOPPUSIJOITUKSEN PITKÄAIKAISTURVALLISUUDEN OSOITTAMINEN

Käytetyn polttoaineen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuuden osoittamiseksi laaditaan ns. turvallisuusperustelu (Safety Case), jolla kansainvälisesti omaksutun määritelmän mukaisesti tarkoitetaan kaikkea sitä teknis-tieteellistä aineistoa, analyysijä, havaintoja, kokeita, testejä ja muita todisteita, joilla perustellaan loppusijoituksen turvallisuus ja turvallisuudesta tehtyjen arvioiden luotettavuus. Yhteenvedo turvallisuusperustelusta liitetään myös alustavaan turvallisuusselosteeseen (PSAR). Vuonna 2008 laaditun suunnitelman mukaan turvallisuusperustelu tuotetaan useana erillisenä raporttina. Turvallisuusperustelun yhtenä lähtökohtana ovat loppusijoitusjärjestelmälle määritellyt toimintakykytavoitteet ja tavoiteominaisuudet. Keskeisiksi tehtäviksi ennen rakentamislupahakemuksen jättämistä on asetettu sellaisen puutteiden ja epävarmuuksien poistaminen esimerkiksi lähtötiedoissa tai malloissa, jotka voisivat merkittäväällä tavalla kyseenalaistaa pitkäaikaisturvallisuusarvioiden luotettavuuden.

Keskeinen tavoite alkavalle kolmivuotiskaudelle on vapautumisesteiden (käytetty polttoaine, kapseli, puskuri, lähikallion ominaisuudet sekä loppusijoitusjärjestelmän komponenttien väliset rajapinnat) alkutilojen määrittely perusskenaariossa. Toisena keskeisenä tehtävänä on mahdollisten vaihteluvälien määrittely puskurin ominaisuuksien odotettavissa olevalle kehitykselle.

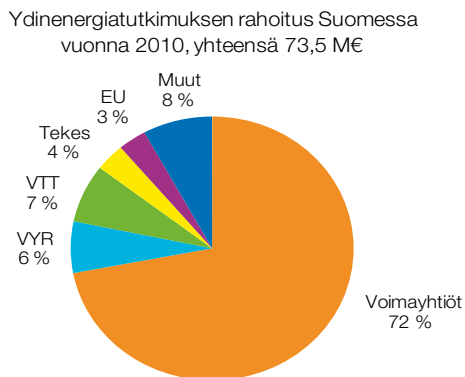
Turvallisuusperustelun tuloksena saadaan arviot loppusijoituksen mahdollisista säteilyvaikutuksista ja niiden todennäköisyyksistä eri skenaarioissa. Vaikutusten arviointi perustuu ensimmäisten tuhansien vuosien osalta yksilön saamiin säteilyannoksiin, myöhemmin loppusijoitustiloista vapautuviin aktiivisuusmääriin. Säteilyannosten arvioimiseksi Posiva on kehittämässä Olkiluoto-kohtaista mallia.

4.4 Tutkimusrahoitus

Osaamistyöryhmän kyselyssä kartoitettiin ydinenergiatutkimuksen rahoitus vuodelta 2010. Vastaava kartoitus on tehty aiemmin vuosilta 2007, 2003 ja 1999. Ydinenergiatutkimuksen kokonaisrahoitus Suomessa vuonna 2010 oli kuvan 4.12

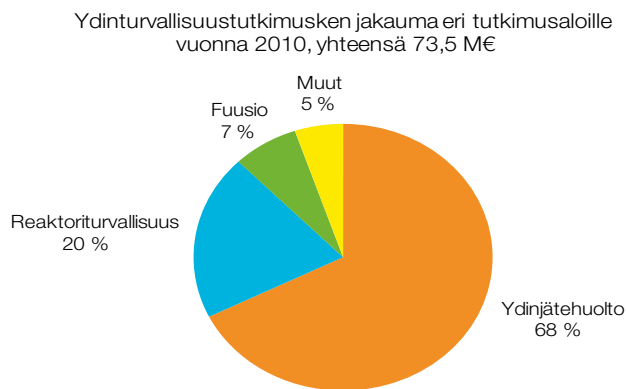
mukaisesti 73,5 M€. Voimayhtiöt vastasivat 72 %:sta kokonaisrahoituksesta. Muita merkittäviä rahoittajia olivat VTT, VYR, Tekes ja EU.

Kuva 4.12. Ydinenergiatutkimuksen rahoitus Suomessa vuonna 2010.



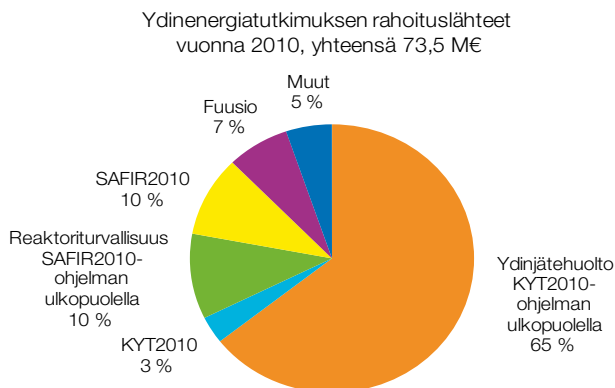
Kuva 4.13 mukaisesti ydinjätetutkimuksen osuus kokonaisuudesta oli 68 %, reaktoriturvallisuuden 20 %, fuusion 7 % ja muun tutkimuksen, johon oli sisällytetty myös ns. uuden sukupolven GenIV reaktoriturvallisuustutkimus, 5 %.

Kuva 4.13. Ydinenergiatutkimuksen jakauma eri tutkimusaloille vuonna 2010.



Kuvan 4.14 mukaisesti pääosa ydinjätetutkimuksesta oli voimayhtiöiden rahoittamaa. Kansallisen ydinjätetutkimuksen ohjelman KYT2010 osuus oli vain 3 % kokonaisrahoitusvolyyymistä. Reaktoriturvallisuuden osalta kansallisen tutkimusohjelman SAFIR2010 osuus oli 10 % kokonaisrahoitusvolyyymistä ja puolet koko reaktoriturvallisuuden tutkimusvolyyymistä.

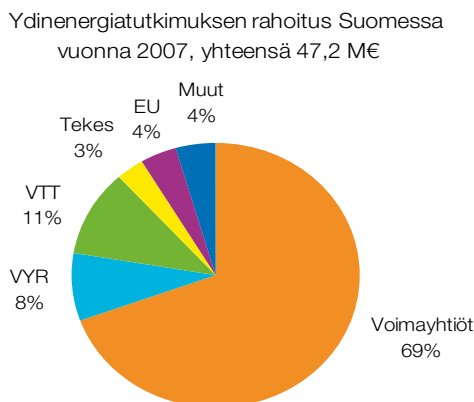
Kuva 4.14. Ydinenergiatutkimuksen rahoituslähteet 2010.



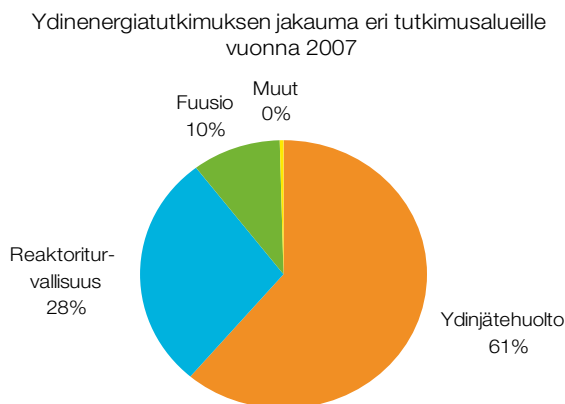
Verrattuna vuoden 2007 tilanteeseen, joka on esitetty kuvissa 4.15–4.17 on ydinenergiatutkimuksen kokonaisrahoitus kasvanut merkittävästi arvosta 47,2 M€ arvoon 73,5 M€. Tutkimuksen rahoituksessa voimayhtiöiden osuus on kasvanut 69 %:sta 72 %:iin ja VTT:n, VYR:n ja EU:n suhteellinen osuus pienentynyt verrattuna vuoteen 2007.

Tutkimusalueista ydinjätetutkimus on kasvattanut suhteellista osuuttaan entisestään, reaktoriturvallisuuden osuus on laskenut vuoden 2007 29 %:sta 20 %:iin. Muun tutkimuksen osuus on myös kasvanut merkittävästi. Huomattavimpana osana tätä tutkimusta on GenIV reaktoriturvallisuustutkimus. Euromääräisesti ydinjätetutkimus on kasvanut vuoden 2007 28,9 M€:sta 49,7 M€:oon, kun reaktoriturvallisuuden puolella kasvu on ollut vuoden 2007 13,4 M€:sta 14,7 M€:oon. Vuonna 2011 reaktoriturvallisuuden alueen VYR-rahoitus kasvoi runsaalla kahdella miljoonalla eurolla Fennonvoiman ja TVO:n uusien ydinvoimalaitosten periaatepäätösten vaikutuksesta.

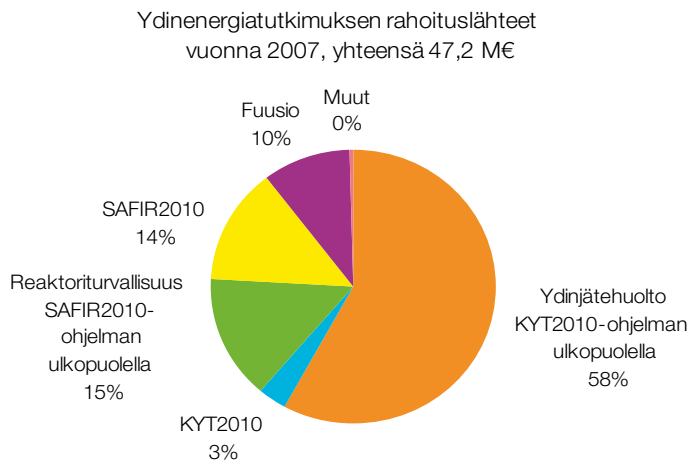
Kuva 4.15. Ydinenergiatutkimuksen rahoitus Suomessa vuonna 2007.



Kuva 4.16. Ydinenergiatutkimuksen jakauma eri tutkimusalueille vuonna 2007.



Kuva 4.17. Ydinenergiatutkimuksen rahoituslähteet vuonna 2007.



4.5 Fukushima onnettomuuden vaikutukset tutkimukseen

Fukushiman ydinvoimalaitosonnettomuuden seurauksena SAFIR2014-ohjelman tukiryhmät ja johtoryhmä tunnistivat lisätutkimustarpeita alkutapahtumien, ydinoimlaitoksen suunnittelun, onnettomuuksien vaikutusten lieventämisen ja polttoaineen elinkaaren osalta.

Todettiin, että ulkoisten luonnonilmiöiden esiintymisen arviointia on syytä tehdä entistä syvällisemmin. Näitä ovat Itämerellä poikkeuksellisia meriveden pinnan korkeuksia aiheuttavat ilmiöt seurausvaikutuksineen, nykyisen ilmakehän koostumuksen vaikutus sääilmiöiden voimakkuuteen ja Suomessa perinteiseen säähän aikaisemmin kuulumattomien ilmiöiden kuten esimerkiksi jäämyrskyjen ja

hirmumyrskyjen esiintyminen. Uutta tietoa tarvitaan myös ulkoisten tapahtumien yhdistelmistä sekä ulkoisten ja sisäisten tapahtumien yhdistelmistä niiden ottamiseksi huomioon laitosten riskianalyseissä.

Todettiin, että ydinlaitosten suunnitteluperusteiden riittävyyttä ja kattavuutta on tarpeen tarkastella määrääjoin. Maanjäristyksen vaikutusten osalta on tarvetta selvittää muun muassa seismisten mallien laskentaan vaikuttavat lähtötiedot. Tutkimuksella on täsmennettävä laitospaikan seismisiin pitkäaikaismittauksiin soveltuvan mittausjärjestelmän tavoitteet ja vaatimukset ja luoda selkeä kokonaiskuva seismisten ilmiöiden merkityksestä ja monitoroinnista suomalaisissa olosuhteissa. Uutta tietoa tarvitaan myös ydinvoimalaitoksen suunnitteluperusteet ylittävien alkutapahtumien vaikutuksesta ydinlaitoksen turvallisuuteen.

Reaktorionnettomuuksien analysoinnin alueella on tarve selvittää tilanteita, joissa reaktoripiirissä on paljon booria tai muita kiteytyviä aineita. Lisäksi onnettomuuksien pitkä kesto tuo esille uudentyyppisiä haasteita jälkilämmön poistamiseksi.

Onnettomuustilanteessa mahdollinen vedyn syntyminen ja kulkeutuminen laitoksella tai laitospaikalla tulee tuntea entistä paremmin vetyräjähdysliittymien vastatoimen suunnittelemiseksi. Mallinnusta on tarvetta kehittää ottamaan huomioon varsin pitkäkestoiset tapahtumat. Reaktorisydämen sulamiseen päätyvissä onnettomuuksissa polttoaineesta voi onnettomuustilanteesta riippuen vapautua hyvin suuri joukko eri fissiotuotteita. On syytä laatia systemaattinen kartoitus, jossa tarkastellaan mahdollisimman laajalle nuklidijoukolle fissiotuotteiden vapautuminen polttoaineesta, kulkeutuminen primääripiirissä ja suojarakennuksessa sekä vapautuminen ympäristöön.

Todettiin, että ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimuksessa on syytä kiinnittää huomiota polttoainekierron kokonaistarkasteluun osana ydinvoimalaitosten turvallisuutta. Laitospaikan käytetyn polttoaineen varastoaltaiden jäähdytteenmenetystilanne on aihe, jonka kokeellinen ja laskennallinen selvitys ovat kiinnostavia. Jäähdytyksen lisäksi pitäisi pystyä arvioimaan suojakuorimateriaalien käyttäytymistä varastoinnin eri vaiheissa ja tilanteissa.

4.6 Johtopäätöksiä ja suosituksia

Mikään tutkimusala ei tule pitkään toimeen ilman tieteellistä perustutkimusta. Suomen Akatemia teetti energia-alan tutkimuksesta kansainvälisen arvioinnin vuonna 2006. Soveltavan ydinenegiatutkimuksen hyviä tuloksia voimaloiden käytettävyyden ja turvallisuuden takaajana arvostettiin. Kuitenkin eräs koko arvioinnin keskeisistä johtopäätöksistä oli, että Suomessa on hyvin vähän ydinenegian perustutkimusta. Arvioinnissa kehoitettiin vahvistamaan alan tutkimusinfrastruktuuria. Suomen Akatemia on osaltaan vastannut tähän sisällyttämällä ydinenegiatutkimuksen alueena SusEn- tutkimusohjelmaansa 2008–2011 ja kohdistamalla ydinenegiaan suunnatun haun 2012–2016, yhteensä 2 M€. Jatkossakin ydinenegian pitää kuulua tasavertaisena negiatutkimuksen alojen kirjoon perustutkimusta rahoitettaessa.

Ydinturvallisuuden ylläpito edellyttää ennakointia, joka on mahdollista vain tutkimustyön kautta. Tutkimustuloksia hyödynnetään jatkuvasti laitosten turvallisuuden parantamisessa ja laitosten käytössä. Kotimainen riippumaton tutkimus on auttanut STUKia päätöksenteon nopeudessa ja laitosten käytettävyys on pysynyt hyvänä, kun valmiina olleen tiedon ansiosta on saatu luotettavasti tehtyä tarvittavat ratkaisut.

Reaktoriturvallisuuden osalta kansallinen tutkimusohjelma on osaamisen selkäranka. Ohjelman rahoituspohjan laajeneminen viime vuosina uusien periaatepäätösten myötä on positiivista. On kuitenkin muistettava, että ohjelman reaalin laajuus vuonna 2011, kun suunnitteilla, rakenteilla ja käytössä on yhteensä seitsemän reaktoria, ei vielä vastaa edes 1980-luvun lopun tilannetta, jolloin vain neljä reaktoriyksikköä oli käytössä.

Merkittävin tutkimuspanostus Suomessa käytetään ydinjätehuollon ja erityisesti käytetyn polttoaineen loppusijoituksen turvallisuuteen liittyvään tutkimus- ja kehitystyöhön. Ydinjätehuollon kansallinen tutkimusohjelma on volyymiltään vaatimaton Posivan tutkimusohjelmaan verrattuna. Ohjelmalla on kuitenkin merkittävä rooli täydentävänä tietotaidon luojana, ylläpitäjänä ja vaihtoehtoisten loppusijoitusratkaisujen tutkimuksessa.

Suomessa neljännen sukupolven laitosten tutkimus on varsin vähäistä johtuen käytettävissä olevan rahoituksen niukkuudesta ja tarpeesta keskittyä ensisijaisesti nykyisten laitosten turvallisuuden varmistamiseen. Kansallinen pieni tutkimusohjelma on kuitenkin luonut puitteet kotimaiseen yhteistyöhön ja rajoitettuun osallistumiseen kansainväliseen tutkimustyöhön.

Fuusiotutkimuksen osalta kansallinen ohjelma on nivoutunut menestyksellisesti osaksi kansainvälistä alan tutkimustoimintaa.

Kansallisten ohjelmien lisäksi yliopistoilla ja tutkimuslaitoksilla on merkittävää muuta tutkimustoimintaa, josta suuri osa tehdään kansainvälisessä yhteistyössä. Osa tutkimuksesta on myös sellaista oman strategisen osaamisen kehittämistä, joka ei sovi kansallisiin tai kansainvälisiin ohjelmiin.

Voimayhtiöiden tutkimuksessa painopiste on luonnollisesti yhtiöiden omien voimailaitosten turvallisuuden ja taloudellisuuden parantamiseen tähtäävässä tutkimuksessa. Ydinjätehuollon tutkimuksessa Posivan ohjelma on koko ydinturvallisuustutkimuksen merkittävin panostuskohde.

Eri alojen asiantuntijoiden keskinäinen yhteydenpito on tärkeää. Fysikaalisten ilmiöiden tai järjestelmien vuorovaikutukset voivat tuottaa uusia tilanteita, jotka eivät saa yllättää, eikä eri alojen välille saa jäädä tutkimattomia aukkoja. Eri tieteidен kombinointi onkin osoittautunut pienen maan tieteen vahvuudeksi, koska Suomessa joudumme yksittäisinä tutkijoina venymään keskimääräistä laajemman alueen tuntijoiksi ja pienen yhteisömme kanssakäyminen on vilkasta.

Tutkijat voivat syvällisesti keskittyä vain omiin tutkimusalueisiinsa. Kukaan ei voi tuntea näiden kaikkien uusimpia saavutuksia. Siksi ydinvoimalaitoksen kokonaisuuden hallintaan tarvitaan satojen tai tuhansien koti- ja ulkomaisten tutkijoiden panosta.

Tutkimus on luo uutta tietoa ja kasvattaa uusia osaajia. Ydinturvallisuudessa tarpeet ovat 'maanläheisiä' ja tunnistettuja. Tutkimukseen kuuluu kuitenkin olenaisena osana pyrkimys tehdä uutta ennen tekemätöntä, mahdollisuus suhtautua kriittisesti vallitseviin näkemyksiin ja mahdollisuus epäonnistumiseen. Tutkimusrahoituksen ja tutkimuksen suuntaamisen tulee sallia nämä tutkimuksen konsulttitoiminnasta erottavat piirteet, joita ilman jämähdetään paikoilleen ja mahdolliset uudet turvallisuusuhat, samoin kuin turvallisuuden parannusmahdollisuudet jäävät tunnistamatta.

Viitteet/Lisätietoa

<http://safir2014.vtt.fi> (SAFIR2014-tutkimusohjelman sivut ja linkit aiempiin ohjelmiin)

Puska, Eija Karita; Suolanen, Vesa. 2011. SAFIR2010. The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2007-2010. Final Report. Espo, VTT. 578 p. VTT Tiedotteita - Research Notes; 2571 ISBN 978-951-38-7689-0 (soft back ed.); 978-951-38-7690-6 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>) <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2571.pdf>

Bruna, G., Rastas A. & Schaefer, A. Evaluation of the Finnish Nuclear Safety Research Program SAFIR2010. Publications of the Ministry of Employment and the Economy, Energy and the climate 51/2010.

<http://kyt2014.vtt.fi> (KYT2014-tutkimusohjelman sivut ja linkit aiempiin ohjelmiin)

www.lut.fi

www.aalto.fi

www.helsinki.fi

www.jyu.fi

www.stuk.fi

Energy Research in Finland 1999-2005, International Evaluation, Publications of Academy of Finland, 14/06, ISBN 951-715-625-1, ISBN 951-715-626-X(pdf), Edita Prima Oy, Helsinki 2006. http://www.aka.fi/Tiedostot/Tiedostot/julkaisut/14_06%20Energia-ala%20arviointi.pdf

www.vtt.fi/nuclear

www.fortum.com

www.tvo.fi

www.fennovoima.fi

www.posiva.fi

Posiva Oy. TKS-2009 Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto: Selvitys suunnitelluista toimenpiteistä ja niiden valmistelusta vuosina 2010-2012.

Posiva Oy. 2011. Olkiluodon ja Loviisan voimalaitosten ydinjätehuolto. Yhteenveto vuoden 2010 toiminnasta.

Posiva Oy. 2011. Vuosikertomus 2010.

5 Tutkimusinfrastruktuuri

Luku käsittelee ydinenergia-alan toimijoiden käytettävissä olevaa kotimaista tutkimusinfrastruktuuria, joka liittyy Suomessa toiminnassa, rakenteilla tai suunnitteilla olevien reaktortyyppien tutkimukseen. Ydinpolttoainetutkimusta ei varsinaisesti käsitellä tässä luvussa, mutta sen järjestämisestä kerrotaan käytettävissä olevan ulkomaisen infrastruktuurin yhteydessä. Osallistumista kansainväliseen yhteistyöhön käsitellään tarkemmin luvussa 6.

Koska ydinvoimalaitosten rakenteellinen ja käytön turvallisuus edellyttää laskennallisen varmistamisen lisäksi myös kokeellista verifointia, tarvitaan ajanmukaisia ja käytössä olevien sekä tulevien laitosten vaatimukset täyttäviä tutkimusvalmiuksia. Suoraan ydinvoimalaitosten turvalliseen käyttöön liittyvän infrastruktuurin lisäksi luvussa luodaan katsaus myös ydinenergia-alan automaatiotutkimukseen, turvajärjestelyihin ja ydinmateriaalivalvontaan sekä tutkimusvalmiuksiin, joilla tuetaan laitosten eliniänhallintaa sekä polttoaineiden varastointia ja loppusijoitusta. Kokeellisten valmiuksien lisäksi tässä luvussa esitetään myös laskennalliset mallinnus- ja simulointivalmiudet, jotka osaltaan myös täydentävät kokeellista infrastruktuuria.

Rakenteilla olevien ja käyvien laitosten tutkimuksen lisäksi laitosten pitkä käyttöikä ja siihen lisättävä käytöstä poiston aika sekä polttoaineen loppusijoitus merkitsevät vähintään 100 vuoden aikajännettä tutkimusinfrastruktuurille uuden laitoksen käyttöönoton jälkeen.

Fukushiman onnettomuuden perusteella turvallisuustoimintoja tulee edelleen kehittää ja erityisesti harvinaisiin alkutapahtumiin ja tapahtumien kombinaatioihin tulee varautua. Käytetyn polttoaineen varastointia laitoksella tulee erityisesti tarkastella.

Edellä esitetyt vaatimukset ja kansainvälisten koevalmiuksien hyödyntäminen edellyttävät, että Suomessa on riittävät infrastruktuurivalmiudet oman kokeellisen ja laskennallisen toiminnan sekä myös osaamisen ylläpitämiseksi ja kasvattamiseksi.

5.1 Koelaitteet ja -laitteistot sekä ohjelmistot

Tämä kappale perustuu kotimaisten toimijoiden antamiin tietoihin tutkimuslaitosten ja yliopistojen ydinenergia-alan infrastruktuureista, laitteistoista sekä tutkimuksessa käytettävistä ohjelmistoista. Lisäksi raporttiin on koottu tietoja täydentävistä valmiuksista muissa organisaatioissa. Kyselytutkimuksessa kerätyt tiedot on otettu huomioon.

Tarkasteluun on otettu mukaan tutkimusinfrastruktuurit, jotka kuuluvat johonkin seuraavista luokista:

- ydinenergiapesifinen
- vahva tarve myös ydinenergiatutkimuksessa
- muu kytkenä ydinenergiaan

Suoraan ydinenergian käyttöön ja turvallisuuteen liittyviä tutkimuslaitteistoja ja -laitteita on lähinnä VTT:llä ja yliopistoilla. Käytetyn polttoaineen loppusijoitukseen liittyvää tutkimusta tekevät Posiva, VTT, Geologian tutkimuskeskus ja B+Tech. STUKin oma tutkimus liittyy pääasiassa säteilyn ja ydinmateriaalin valvontaan. Voimalaitosjätteiden loppusijoitukseen liittyvää tutkimusta tekevät käyvien laitosten jätteiden loppusijoituksesta vastaavat yritykset hyödyntäen myös tutkimuslaitosten valmiuksia.

5.1.1 Reaktorifysiikka ja -dynamiikka

Reaktorifysiikka ja -dynamiikka ovat keskeisiä ydinvoimalaitosten käytössä sekä taloudellisuuden että turvallisuuden kannalta. VTT:llä on perinteisesti ollut vahvaa laskentaosaamista tällä alueella. Tätä ydinenergiapesifistä aihepiiriä tukee luvussa 5.1.2 kuvattu fissiovaikutusaloihin ja fissiotuotteiden hajoamisominaisuuksien määrittämiseen liittyvä tutkimus ja infrastruktuuri.

Reaktorifysiikka

VTT on luonut ja hankkinut laajan tietokoneohjelmiston sekä ylläpitää asiantuntemusta Suomessa tarvittavien stationaariseen reaktorifysiikkaan liittyvien analyysien suorittamiseksi ydinvoimaloiden turvallista ja taloudellista käyttöä ajatellen. Ohjelmisto koostuu sekä kansainvälisesti hankituista että itse kehitetyistä ohjelmista. Uudet polttoaine- ja reaktorityypit sekä uudet polttoaineen käyttötavat, esim. jatkuva pyrkimys korkeampiin poistopalamiin, vaativat edelleen laskentamallien ja ohjelmien kehitystä ja kelpoistusta. Myös kriittisyysturvallisuus korostuu näissä tapauksissa. Lisäksi stationaariohjelmien tuloksia tarvitaan lähtötietoina reaktoridynamiikassa turvallisuusanalyysissä. Reaktorifysiikallinen tutkimus edellyttää kansainvälistä yhteistyötä.

Uusin merkittävä ohjelma reaktorifysiikan alalla on laajan kansainvälisen käyttäjäkunnan kerännyt Suomessa kehitetty Serpent. Tavoitteena on ollut luoda tehokas jatkuvaenergiiseen Monte Carlo -menetelmään perustuva tutkimustyökalu, joka on erikoistunut polttoaineniipputason transport- ja palamalaskentasovelluksiin, kuten reaktorisimulaattorikoodien käyttämien homogenisoitujen moniryhmävakioiden tuottamiseen.

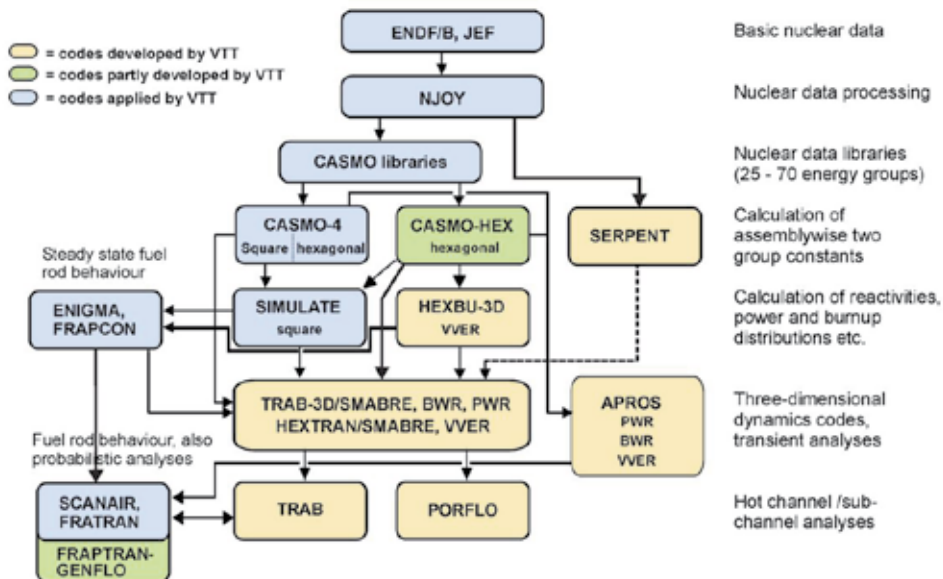
Reaktoridynamiikka

VTT on kehittänyt riippumatonta reaktoridynamiikkaohjelmistoa ydinvoimalaitosten turvallisuusanalyysiin transientti- ja onnettomuustilanteissa 1970-luvulta alkaen. TRAB-, TRAB-3D- ja HEXTRAN -tietokoneohjelmia on onnistuneesti käytetty kotimaisten ja ulkomaisten laitosten turvallisuusanalyysissä. Malleja on viime aikoina siirretty myös APROS-järjestelmäkoodin sydänkuvauksiksi. Reaktoridynamiikkaohjelmien rinnalla on kehitetty virtausmallinnusmenetelmiä, uusimpana VTT:n oma kolmidimensiainen PORFLO-virtausmallinnusohjelma. Myös kytkentä

polttoaine-aihepiiriin on jatkuvasti lähentynyt. Kuva 5.1 esittää VTT:ssä käytössä olevat reaktoridynamiikkaohjelmat ja havainnollistaa turvallisuusanalyysin laskentaketjua. Ohjelmistoketjun uusimmat palat ovat polttoainesauvojen rikkoontumista arvioiva laskentajärjestelmä ja reaktoridynamiikkalaskuja täydentävien epävarmuusmenetelmien kehittäminen.

Reaktoridynamiikkaohjelmiston pysyminen kansainvälisesti kilpailukykyisellä tasolla edellyttää jatkuvaa kehitystyötä. Kehitystyön lisäksi on välttämätöntä kelpoistaa uudet mallit kokeellisilla menetelmillä ja vertailuilla muiden vastaavien ohjelmien tuloksia vastaan. Tästä syystä reaktoridynamiikan alueella osallistutaan kansainväliseen yhteistyöhön ennen kaikkea OECD:n ja VVER-reaktoreihin liittyvän AER:n työryhmiin sekä benchmark-tehtävien laskemiseen. Omien ohjelmien kehitys on myös todettu parhaaksi tavaksi nuorten tutkijoiden sisäänajo-aihepiiriin.

Kuva 5.1. VTT:n reaktoridynamiikan laskentaohjelmisto ja analyysieihin liittyvät reaktorifysiikan ja polttoaineen analysointiohjelmat.



5.1.2 Polttoainetutkimus

Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorion fissiotutkimus

Polttoainetutkimuksessa tarvittavien vaikutusalojen ja fissiotuotteiden hajoamisomaisuuksien (fissiotuotto, hajoamislämpö, beetahajoamisen viivästämät neutronit) määrittämiselle on vahva tarve ydinenergiatutkimuksessa. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen kiihdytinlaboratoriossa (JYFL) on käytetty useita moderneja

ydinfysiikan tekniikoita näiden ominaisuuksien määrittämisessä. Kiihdytinlaboratorion kaksi syklotronia ja yksi tasajännitekiihdytin sekä monipuoliset radioaktiivisen säteilyn ja materiaalien tutkimuslaitteistot tarjoavat erinomaiset puitteet säteily- ja ydinturvallisuuteen ja ydinenergiaan liittyviin tutkimus- ja selvityshankkeille.

Laitoksella kehitettiin 1980-luvun alussa ioniohjaintekniikkaan perustuva radio-nuklidien erottelumenetelmä, jossa ydinreaktiossa syntyvistä primääri-ioneista tuotetaan ionioptisesti hyvälaatuinen, massaeroteltu ionisuihku. Menetelmä soveltuu yhtä hyvin fuusio- kuin fissioreaktiollekin. Fissioreaktion tutkimuksen kannalta ioniohjaintekniikalla on ydinenergiatutkimukseen liittyviä mielenkiintoisia sovelluksia.

Kuva 5.2. Jyväskylän yliopiston luonnontieteiden kampus. Fysiikan laitos vasemmalla puolella. (Kuva: Jussi Jäppinen)



Ioniohjainta käyttäen on mahdollista mitata riippumattomia fissiotuotteiden vaikutusaloja. Tässä hyödynnetään kolmea ioniohjaimen ominaisuutta:

- Ioniohjaimesta saatavien ionien syntymekanismi, ydinreaktion yhteydessä tapahtuva ionisaatio, on riippumaton eroteltavien isotooppien kemiallisista ominaisuuksista. Fissiotuotto voidaan mitata minkä tahansa alkuaineen isotoopille. Fissiossa syntyy yli 40 alkuaineen isotooppeja, jotka ovat kaikki eroteltavissa ioniohjaintekniikkaa käyttäen.
- Ionien käsittelyaika on vain kymmeniä millisekunteja. Tuotto voidaan määrittää myös hyvin lyhytikäisille isotoopeille. Siten on mahdollista mitata suoria fissiotuottoja, eikä ainoastaan massajakaumia.

- Ioniohjaimesta saatavat ionit tulevat suoraan fissiosta. Ionien lukumäärä on suoraan verrannollinen riippumattomaan fissiotuottoon. Minkäänlaisia korjauskertoimia pitkäikäisten isotooppien kumuloitumisen huomioimiseen ei tarvita.

JYFL:n, kiihdytinlaboratoriossa ioniohjainta käyttäen on mitattu fissiotuottoja 20-40 MeV protonilla, deuteronilla, alfahiukkasella ja neutronilla indusoidulle ^{238}U :n ja ^{232}Th :n fissiolle. Tyypillisessä mittauksessa on käytetty magneettista isotoopin erotinta lajittelemaan fissiotuotteet massaluvun perusteella ja tuotot määritetty gammaspektroskopian avulla.

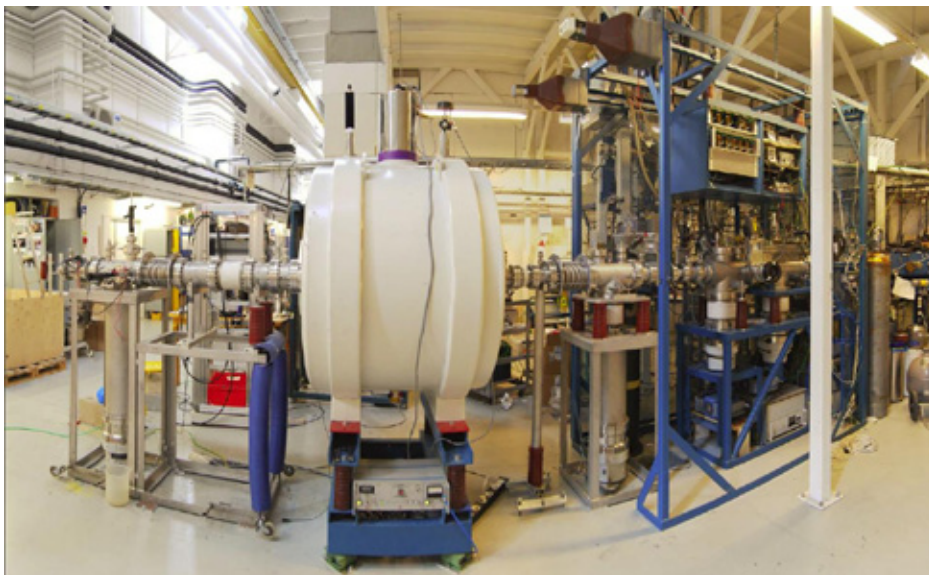
JYFLin isotooppierottimen yhteyteen rakennettiin 2000-luvun alussa Penningin ioniloukku (JYFLTRAP), jonka ensisijaisena tarkoituksena olivat hyvin tarkat isotooppien atomimassamittaukset, kuva 5.3. Loukkua voidaan käyttää myös isotooppierottimena, jolla on hyvin korkea massaresoluutio.

Penningin loukkua on mahdollista käyttää fissiotuottojen suoraan mittaamiseen. Lähes kaikki fissiossa syntyvät isotoopit kyetään tunnistamaan yksikäsitteisesti niiden massan perusteella tarvitsematta odottaa niiden radioaktiivista hajoamista. Penningin loukun kyky erotella isotooppeja tai jopa isomeereja erittäin hyvällä resoluutiolla mahdollistaa erittäin puhtaiden näytteiden valmistamisen. Nämä näytteet mahdollistavat eräiden reaktoritekniikan kannalta merkittävien ilmiöiden aikaisempaa tarkemmat mittaukset. Nämä ilmiöt ovat fissiotuotteiden radioaktiivisuudesta aiheutuva reaktorin jäännöslämpö (decay heat) ja beetasäteilyn viivästämä neutronihajoaminen.

Reaktorin jäännöslämpö aiheutuu fissiotuotteiden radioaktiivisessa hajoamisessa vapautuvasta energiasta. Tämä energia on suurimmillaan jopa 8 % reaktorin koko tehosta. Tämän energian vapautumisen aikakäyttäytymistä reaktorin pysäyttämisen jälkeen ei ollut pystytty simuloimaan riittävällä tarkkuudella tunnetuista fissiotuottojakaumista ja radioaktiivisten isotooppien hajoamisominaisuuksista lähtien. Parhaana pidetty menetelmä kokonaishajoamisenergian mittaamiseksi on ns. kokonaisgamma-absorptiospektroskopia (Total Absorption Gamma Spectroscopy, TAGS tai TAS), jossa mitataan ytimen hajotessa vapautuvan gammasäteilyn kokonaismäärä. Tarvittavat näytteet voidaan valmistaa Penningin loukun avulla, jolloin mittauksen tarkkuus on erittäin hyvä.

Ioniohjaintekniikkaan perustuva massaerotinlaitteisto ja siihen kuuluva Penningin loukku siirtyvät vuoden 2011 aikana JYFLin kiihdytinlaboratorion uuden MCC30/15 -kiihdyttimen yhteyteen. Uudelta kiihdyttimeltä saatavaa hyvin intensiivistä protonisuihkua on suunniteltu hyödynnettäväksi fissiotutkimuksessa uudella tavalla rakentamalla neutronikonversiokohtio. Tämä tutkimus liittyy erityisesti neljännen sukupolven reaktoreihin.

Kuva 5.3. Jyväskylän yliopiston Kiihdytinlaboratorion suprajohtava Penning-massaspektrometri.



Käyttöä tukeva polttoainetutkimus

Voimalaitosten käyttö edellyttää teollisten polttoaineiden ja niiden rakenteiden tutkimusta, mikä edellyttää erityisiä tutkimusvalmiuksia ja osaamista. Varsinainen ydinpolttoainetutkimus tehdään ensisijaisesti kansainvälisenä yhteistyönä, sillä kansallisia kokeellisia valmiuksia ei aktiivisille polttoainemateriaaleille ole Suomessa. Osallistumista kansainväliseen tutkimustyöhön käsitellään luvussa 6. Polttoaineen suojakuoren ja polttoainenipun muiden rakennemateriaalien tutkimusvalmiudet ovat keskitetysti VTT:llä.

Polttoainetutkimukseen liittyvät muun muassa seuraavat tutkimustarpeet ja -menetelmät:

- polttoaineiden karakterisointi valmistuksessa (polttoainevalmistajat: silmämääräinen, NDE, mekaaninen ja mikrorakenteen karakterisointi)
- polttoaineiden laskennallinen analysointi: tarvittavat ohjelmistot, validointiaineistot ja osaaminen
- polttoaineiden rikkomaton tarkastus (NDE menetelmät in/out hot cell: mittatarkkuus, pintavirheet, volumetrinen tarkastus, polttoainepellettien tarkastus)
- polttoaineiden rikkova tarkastus (hot cell lujuus, iskutkeys, kovuus, murtumismekaniikka, metallografia, keramografia jne.)
- polttoaineaurioiden tutkimus (hot cell NDE, mikroskopia ja mikroanalyysi)
- uusien polttoainelaatujen (pa ja suojakuori) tutkimus (kooreaktorit ja hot cell, jossa myös korroosiotutkimus ja mikroanalyysivalmiudet)

- palaman korottamisen edellyttämät tutkimus- ja karakterisointivalmiudet (laitos, koereaktori, hot cell)
- onnettomuustutkimus (RIA) ja koereaktorivalmiudet (HALDEN, CABRI, JHR MTR)
- polttoaineen välivarastoinnin ja tunnistamisen edellyttämät infra- ja koevalmiudet.

5.1.3 Termohydrauliikka

Termohydrauliikkatutkimuksen tarve

Ydinvoimalaitosten turvallisuusjärjestelmät mitoitetaan termohydraulisiin analyysiin perustuen. Ydinvoimalaitosten turvallisuuden arviointi vaatii termohydraulisten laskentamenetelmien jatkuvaa soveltamista. Laskentamenetelmien kelpoistaminen edellyttää kokeellista tulosaineistoa. Termohydrauliset kokeet ovat ydinenergiaspesifisiä, ydinvoimalan toimintaa jäljittelevillä koelaitteistoilla tehtyjä mittaustoksia. Laskentamenetelmien nopea kehittyminen asettaa uusia vaatimuksia kelpoistukseen käytettävän kokeellisen datan tarkkuudelle sekä myös määrälle. Jotta 3-dimensioisia virtausmalleja pystytään kelpoistamaan, tarvitaan mittauslaitteistoja, jossa koelaitteiston virtausnopeuksien, lämpötilojen ja höyryn aukko-osuuksien jakautumat voidaan määrittää riittävällä tarkkuudella.

Useissa uusissa laitoskonsepteissa käytetään passiivisia järjestelmiä (järjestelmiä, joiden toiminta ei riipu aktiivisista komponenteista tai riippuu niistä erittäin vähän) muun muassa varmistamaan reaktorin jäädytys erilaisissa häiriö- ja onnettomuustilanteissa. Passiivisten järjestelmien toiminnan varmistamiseksi tarvitaan tietokoneohjelmien mallien kehityksen tueksi kokeita, joiden avulla voidaan mallintaa esimerkiksi lauhtumattomien kaasujen vaikutusta eri tilanteissa. Myös passiivisten järjestelmien järjestelmäkokeita tarvitaan laskentatulosten varmentamiseksi.

Laitosten eri järjestelmien lämpö- ja virtausteknisen toiminnan varmistamiseksi tarvitaan kokeita, joita hyödynnetään joko suoraan tai käyttämällä laskentaohjelmia koetulosten analysointiin ja siirtämiseksi laitosmittakaavaan. Käyvien laitosten ongelmatilanteita tulee pystyä selvittämään myös kokeellisesti kohtuullisessa ajassa. Erityisesti uusiin voimalaitoksiin tulevat passiiviset hätäjäähdytysjärjestelmät vaativat kokeita, joilla varmistetaan laitteiden toimivuus kaikissa olosuhteissa.

Suomessa ydinvoimalaitokset on suunniteltava varautuen vakaviin reaktorionnettomuuksiin. Uusien laitosvaihtoehtojen vakavien onnettomuuksien hallintastrategiat poikkeavat kuitenkin toisistaan laitoskohtaisesti. Suomessa on siis tarve arvioida riippumattomasti vakavien onnettomuuksien hallinnan erityyspiirteitä uusien laitosten lupakäsittelyn tarpeisiin.

Vakavien onnettomuuksien hallinnan keskeinen kysymys on sydänsulan stabiloiminen ja jäähdyttäminen kiinteään muotoon. Uudentyyppisen ratkaisun

riippumaton varmennus edellyttää laskentatyökaluja ja soveltuvaa kokeellista tutkimusta, jossa varmennetaan mm. lämmönsiirron toimivuus sydänsiepparista sitä ympäröivään jäähdytteeseen varmentaa kokeellisesti.

Useassa uudessa laitostyyppissä jälkilämpö poistetaan vakavassa onnettomuudessa suojarakennuksesta käyttämällä passiivisia (luonnonkierrolla toimivia) jälkilämmönpoistojärjestelmiä. Ratkaisujen toimivuus vakavien onnettomuuksien olosuhteissa on voitava varmentaa. Toimintaa mahdollisesti haittaavia tekijöitä ovat mm. lauhtumattomien kaasujen kertyminen järjestelmään ja vakavassa onnettomuudessa syntyvien aerosolien kiinnittyminen lämmönsiirtimen pinnalle. Passiivisten suojarakennusten jälkilämmönpoistojärjestelmien tutkimuksella on kiinteä yhteys termohydrauliikka-alueella kehitettäviin laskennallisiin (CFD) ja kokeellisiin menetelmiin.

Kansainvälisiin koeohjelmiin osallistuminen mahdollistaa arvokkaiden kokeiden tuloksien saamisen kotimaisten toimijoiden käyttöön. Koeohjelmiin pääsyä tehostaa oma kokeellinen toiminta joko käyttämällä aikaisempia koetuloksia vaihdon välineenä tai osallistumalla omilla koelaitteistolla hankkeen koeohjelmaan.

Termohydraulisen koetoiminnan nykytila

Ydinvoimalaitosten lämpö- ja virtausteknistä koetoimintaa on ollut Suomessa yli 30 vuotta. Käytännössä kaikki kotimaiset ydinvoimalaitosten termohydrauliset kokeet tehdään nykyisin Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla. Kokeellisen osaamisen säilyttäminen on ollut ja on yhä LUT:n haasteena. Koetoimintaan sekä analyyseihin liittyvän tutkimus- ja teknisen henkilöstön määrä on kriittinen ja alalla on kasvupaineita, sillä uudet käyttöön otettavat kehittyneet mitausjärjestelmät vaativat myös uusia henkilöresursseja niiden täysimääräiseksi hyödyntämiseksi.

Nykyiset koelaitteistot, LUT

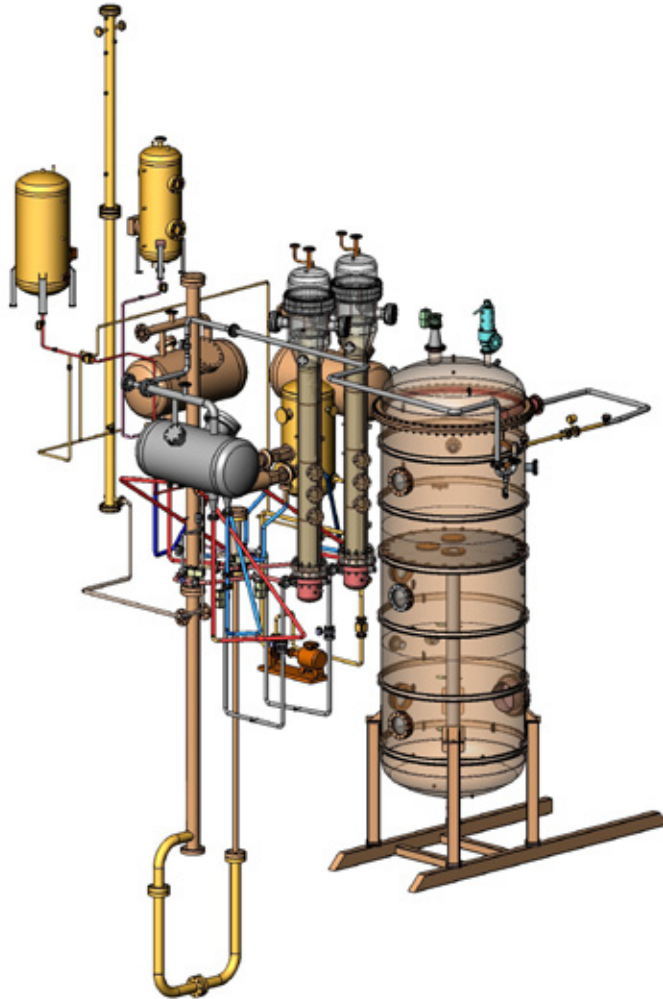
LUT:n integraalikoelaitteistoista vielä käytössä oleva PACTEL-laitteisto suunniteltiin mallintamaan Loviisan laitoksia ja se on edelleenkin suurin VVER-440 -reaktorityyppiä kuvaava koelaitteisto maailmassa. Käyttöänoton 1990 jälkeen laitteistoa on päivitetty korkeammilla vaakahöyrystimillä ja sillä on tehty noin 250 yksittäistä koetta. Kotimaisen tutkimuksen ohella laitteistoa on käytetty kansainvälisissä hankkeissa. Laitteistolla pystytään tutkimaan laitostransientteja lähtien laitoksen lähes täydestä primäärilämpötilasta, suurin käyttöpainetoin on 8,0 MPa. Tämä ei kuitenkaan käytännössä rajoita laitteiston käyttöä.

EPR-tutkimusta varten PACTEL-laitteistoa täydennettiin pystyhöyrystimillä, joiden konstruktio on mittakaava ja laboratoriotilan rajoitukset huomioon ottaen mahdollisimman lähellä EPR-höyrystintä. PWR PACTEL -laitteiston yhtä ensimmäisistä kokeista käytettiin kansainvälisen sokkobenchmarkin laskennan transienttina.

Kiehumusvesireaktoreiden lauhdutusaltaiden ilmiöiden tutkimus aloitettiin avoimella POOLEX-koelaitteistolla, jonka seuraaja PPOOLEX mallintaa BWR:n

suojarakennuksen kuiva- ja märkätilaa myös paineenalaisena. Kummankin koelaitteiston tuloksia on käytetty laajasti sekä suojarakennus- että CFD-ohjelmien kehittämisessä.

Kuva 5.4. PACTEL, PWR PACTEL ja PPOOLEX -koelaitteistojen keskinäinen sijoittelu Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimuslaboratoriossa.



LUT:n kokeelliset tutkimusvalmiudet mahdollistavat myös erilliskoelaitteistojen rakentamisen ja käytön, viimeisimpinä esimerkkeinä koelaitteistot paineastian seinämän lämmönsiirtokertoimen määrittämiseksi reaktorikuilun tahattoman tulvituksen yhteydessä, sumppiin joutuneen eristevillan käyttäytymisen tutkimiseksi hätäjähdytyspiirissä (kuva 5.5) sekä hätäjähdytysjärjestelmän paineakun sulkupallon tiiveyden tutkimiseksi akkuinjektioinnin yhteydessä.

Kuva 5.5. Täysimittakaavainen suodatinelementti LUT:n sumppinkokeessa. Piirissä ollut eristevilla on kerääntynyt suodatinelementtiin kokeen aikana. (Kuva: Jani Laine)



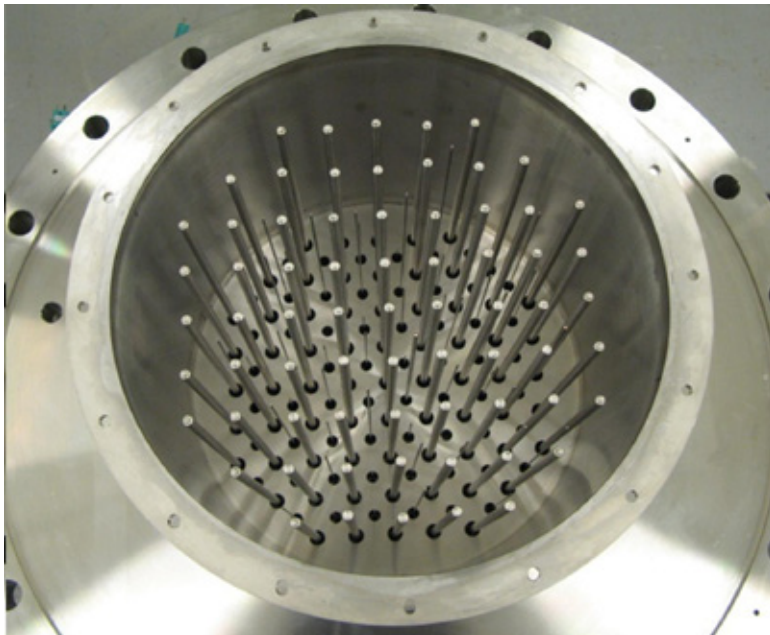
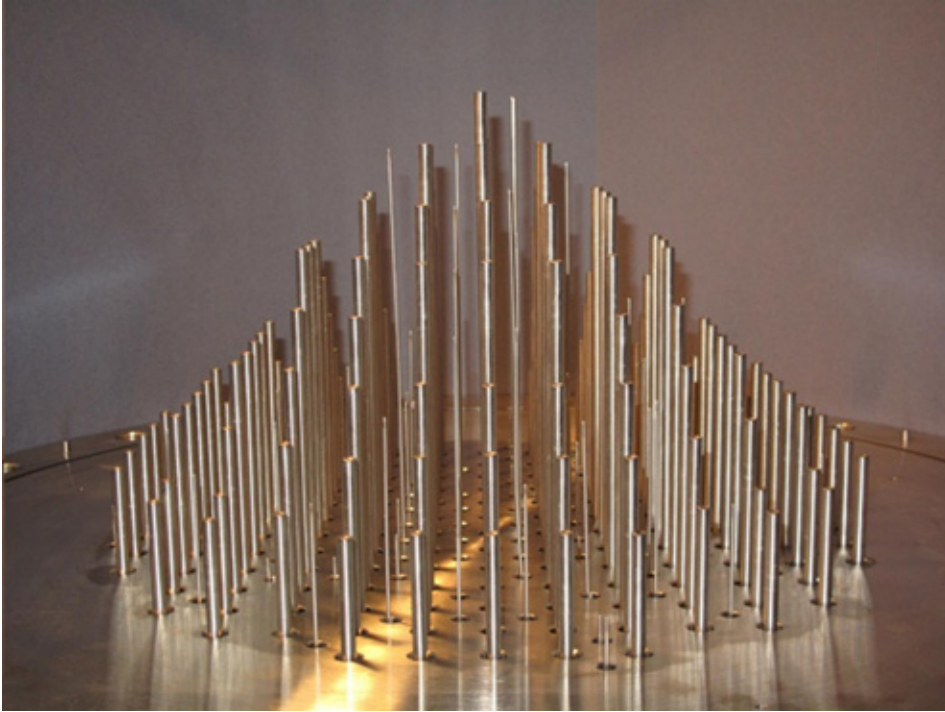
Vakavien onnettomuuksien termohydrauliikka

Suomalaisilla ja ruotsalaisilla kiehutusvesilaitoksilla suojarakennuksen alakuivatiilan tulvittaminen ja partikkelimaiseksi jäähtyneen sydänmateriaalin jäähdyttämisen alakuivatiilan pohjalla on tärkeä osa vakavien onnettomuuksien hallintaa. VTT:n COOLOCE (Coolability of Cone) -laitteistolla on tehty kokeita, joissa tutkitaan huokoisen, sydänromusta muodostuvan partikkelipedin jäähdytettävyyttä, kuva 5.6. COOLOCE-kokeita käytetään partikkelipedin geometrian vaikutuksen selvittämiseen vertailemalla kuivumistehoa kartiomaisessa ja sylinterimäisessä partikkelipedissä. Tavoitteena on huomioida aiempaa tarkemmin laitostilanteessa mahdollisesti muodostuvan partikkelipedin muoto. Lisäksi koetuloksia hyödynnetään jäähdytettävyyttä mallintavien tietokoneohjelmien kelpoistamisessa ja kehittämisessä.

COOLOCE-kokeissa jäähdytettävyyttä määritetään mittaamalla tehotaso, joka johtaa partikkelipedin paikalliseen kuivumiseen (kuivumislämpövuoto). Tämä tapahtuu koepedin tai -keon lämpötilaa seuraamalla, jolloin kuivumisen kriteerinä käytetään lämpötilannousua kylläisestä lämpötilasta.

Jälkilämpötehoa simuloidaan koelaitteistossa vastuskuumennuksella, jonka maksimiteho on n. 50 kW. Koekekojen tilavuus on n. 20 litraa ja partikkelimateriaalina on käytetty pieniä, keraamisia kuulia. Laitteiston kokoonpanossa on mahdollisuuksien mukaan hyödynnetty aiempaa STYX-laitteistoa, mutta partikkelipetiossa kuumentamiseen ja painesäiliöineen on kokonaan uusittu vuosina 2009–2010.

Kuva 5.6. COOLOCE-laitteiston partikkelipedin kuumennusjärjestelmä sekä termoparit kuivumistehon määrittämistä varten. Kartiogeometria ylemmässä kuvassa ja sylinterigeometria alemmassa kuvassa.



Esimerkkejä tutkimushankkeista

LUT osallistuu kansallisten hankkeiden ohella kansainvälisiin tutkimushankkeisiin, joissa hyödynnetään koelaitteistoilla tehtyjen kokeiden tuloksia.

Kansallisia tutkimusohjelmia ja -hankkeita ovat SAFIR₂₀₁₄, Suomen Akatemian NUCPRI ja NETNUC -projektit, kansainvälisistä merkittävimmät hankkeet ovat EU:n NURISP- ja THINS-projektit ja pohjoismainen NORTHNET. VTT osallistuu myös EU:n SARNET-projektiin vakavien onnettomuuksien tutkimuksessa.

Termohydrauliikkatutkimuksessa käytettävät ohjelmistot

Termohydraulisten koelaitteistojen ja kokeiden suunnittelussa käytetään analyysiohjelmia, joita toisaalta kehitetään näiden kokeiden avulla. Tärkeimmät Suomessa käytettävät systeemiohjelmat ovat APROS ja TRACE, käytettävissä on myös CAT-HARE₂ ja ATHLET ohjelmien versioita.

Yhä laajemmin käytetään myös CFD-ohjelmia kuten Fluent, CFX, Star-CD, NEPTUNE CFD, TransAT, avoimen lähdekoodin ohjelma OpenFOAM sekä VTT:n omakehittämä PORFLO. Omien ohjelmien kehitys vaatii tuekseen mittauksiltaan riittävän kattavia kokeita. Saatavilla olevat koetulokset eivät useinkaan sovellu CFD-ohjelmien mallien kelpoistamiseen.

Suojarakennuksen mallinnuksessa käytetään APROS:n ja CFD-ohjelmien lisäksi CONTAINia ja pohjoismaisessa yhteistyössä myös GOTHIC-ohjelmaa.

Vakavien onnettomuuksien analyyseissä käytettäviä termohydrauliikkaohjelmistoja ovat PORFLO:n lisäksi MELCOR, MEWA, CORQUENCH ja APROS-SA ohjelmat.

5.1.4 Reaktoripiirin rakenteiden ja materiaalien tutkimus

Reaktorien turvallinen käyttö perustuu vahvasti materiaalien ominaisuuksien ja valmistustekniikoiden tuntemisen lisäksi niiden vanhenemiskäyttäytymisen tuntemiseen. Tämä edellyttää kokeellista materiaalitutkimusta ja uusien tutkimusmenetelmien käyttöönottoa. Materiaalitutkimuksesta suuri osa on ydinenergiaspesifistä, sillä tutkimuksessa käytettävät olosuhteet, käyttökuormitukset ja materiaaliratkaisut edellyttävät laitos- ja laitetuntemusta ja niiden rajoja.

Reaktorimateriaalien vanhenemistutkimus ja vaurioselvitykset

Materiaalitekniinen osaaminen on keskeisessä asemassa ydinvoimalaitosten turvallisen käytön varmistamisessa koko voimalaitoksen elinkaaren ajan. Nykyinen kansallinen materiaalitekniinen osaaminen on kehittynyt olemassa olevien voimalaitosten elinkaaren muuttuvien tarpeiden mukaisesti. Eheyden varmistamisen, ilmiöperustaisen haurasmurtumatutkimuksen, ympäristövaikutteisen särönkasvututkimuksen ja kokeellisten valmiuksien luomisen jälkeen painopiste on siirtynyt voimalaitosten vanhenemisen myötä reaktoripiirin rakenteellisen turvallisuuden ja ikääntymisen hallintaan. Materiaalitekniisen osaamisen tavoitteena on luotettavasti ennustaa materiaalien ja rakenteiden termisen

vanhenemisen ja ajasta riippuvien vauriomekanismien kuten säteilyhaurastumisen, virumisen, korroosion ja särönkasvu mekanismien eteneminen suunnitellun käyttöiän aikana.

Uusien voimalaitoksen rakentamiseen ja tulevaan käyttöön liittyvät materiaali-tekniset kysymykset yhdessä olemassa olevien vanhenevien voimalaitosten tarpeiden kanssa mukaan luettuna voimalaitosten käytöstä poisto ja polttoaineen loppusijoitus tulevat asettamaan kansalliselle materiaalitekniselle osaamiselle uusia haasteita.

Voimalaitoksen rakenteellisen turvallisuuden ja ikääntymisen hallinta perustuu vauriomekanismien tunnistamiseen, vaurioiden havaitsemiseen ja vaurioriskin arvioimiseen. Rakennemateriaalien vauriomekanismeihin ja vaurioalttiuteen vaikuttavia tekijöitä ovat metallurginen rakenne (valmistus- ja hitsaustekniikka, terminen ja säteilyvanheneminen), ympäristövaikutukset (paine, lämpötila, vesikemia) ja mekaaniset kuormitukset (termohydrauliikka, rakenneanalyysi). Ainetta rikkomattomien tarkastusten ja seurannan oikea-aikaisella ajoittamisella varmistetaan rakenteiden eheyden hallinta ja lopullinen vaurioitumisriskin arvioiminen perustuu murtumismekanististen menetelmien ja analyysien hyödyntämiseen.

Kansallisesta näkökulmasta merkittävä rakenteelliseen turvallisuuteen ja ikääntymiseen liittyvä tutkimuskohde on ollut Loviisan paineastian säteilyhaurastuminen. Säteilyhaurastumisen hallitsemiseksi paineastia on uudelleen lämpökäsitely, minkä jälkeen säteilyhaurastumista on edelleen seurattu erityisten seurantaohjelmien avulla. Myös uusille rakenteilla oleville voimalaitoksille laaditaan paineastian säteilyhaurastumisen seurantaohjelmat jo rakennusvaiheen aikana. Toinen kansallisesti merkittävä tutkimuskohde on ollut ympäristön aiheuttama särönkasvu primäärivesipiirin olosuhteissa. Vaikka ruostumattoman teräksen jännityskorroosio happipitoisessa vedessä on nykyisin varsin hyvin tunnettu ilmiö, niin voimalaitosten modernisointiin, tehon nostoon ja eliniän pidentämiseen liittyvien ilmiöiden entistä parempi tunteminen on keskeistä rakenteellisen turvallisuuden ja ikääntymisen hallinnassa. Lisäksi on huomioitava, että rakenteilla olevissa voimalaitoksissa käytetään uusia rakennemateriaaleja ja vesikemiaa, joita ei ole nykyisin Suomessa käytössä olevissa reaktoreissa.

Ydinvoiman tulevaisuus perustuu ympäristö-, taloudellisuus- ja turvallisuustekijöiden kestävään ja hyväksyttävään ratkaisuun. Uusien kolmannen sukupolven reaktorikonseptien suunnittelussa on painotettu turvallisuustekijöitä ja tulevien neljännen sukupolven reaktorikonsepteissa suljettu polttoainekierto mahdollistaa polttoaineen entistä paremman käytettävyyden, mikä pienentää loppusijoitettavan korkeaa aktiivisen jätteen määrää. Tulevaisuudessa fuusioon perustuva ydinvoima saatataa tarjota hyväksyttävän ratkaisun erityisesti ympäristökysymysten osalta. Ydinvoiman tulevaisuuden konsepteille on yhteistä, että niiden toteutettavuus perustuu rakennemateriaalien eliniän pidentämiseen erityisen vaativissa ydinvoimalaitosympäristöissä. Huomioarvoista on, että vaikka eri reaktorikonsepteilla on omat

erityispiirteensä, niin materiaalitekniikan kannalta korkea lämpötila, intensiivinen neutronisäteily ja käytönaikaiset kuormitukset määrittelevät materiaalien vanhene-
misen, vaurioitumisen ja käytettävät tutkimusmenetelmät, jotka ovat usein yhteisiä
kaikille reaktorikonsepteille.

Materiaalitutkimuksen nykytila

Materiaalitekniikkaan liittyvä ydinenergiatutkimuksen infrastruktuuri on muodostunut yli 30 vuoden kuluessa luoduista valmiuksista voimalaitosten turvallisuuden ja rakenteellisen eheyden varmistamiseksi. Suomessa on panostettu eliniänhallinnan kokeelliseen toimintaan ja tässä yhteydessä VTT:lle on muodostunut merkittävä murtumismekaanisten menetelmien ja analyysien, ympäristövaikutteisen murtumisen, vesikemian ja NDE osaaminen ja infrastruktuuri. VTT ylläpitää Otaniemessä kuumakammio- ja autoklaavitutkimuslaitteistoja, joiden avulla voidaan tutkia matala-aktiivisia rakennemateriaaleja myös reaktoriolosuhteita simuloivissa ympäristöissä. Samassa yhteydessä ovat myös NDE tutkimuslaitteistot, joiden avulla voidaan arvioida komponenttien rakenteellista eheyttä monipuolisilla rikkomattomilla menetelmillä.

Materiaalitekniikan osaamisen lisäksi VTT:lle on muodostunut vahvaa osaamista tutkimuslaitekehityksen alueella. VTT:n kehitystyöhön perustuvien autoklaavi- ja sähkökemianmittauslaitteistojen myynti ja markkinointi on ulkoistettu Cormet Oy:lle. Lisäksi VTT on kehittänyt pneumaattisia kuormituslaitteistoja mekaanisia- ja murtumismekaanisia kokeita ja korroosiomittauksia varten erilaisiin simuloituihin LWR- ja SCW-olosuhteisiin ja koereaktoreiden sydänolosuhteisiin. VTT:llä on myös valmiudet suunnitella ja rakentaa keskikokoisen mittakaavan koelaitteistoja ydintekniikan tutkimuksen tarpeisiin, esimerkiksi LISSAC (pressure vessel head model specimen tests), STYX (particle bed coolability tests), HECLA (thermo-chemical interaction between metallic melt and concrete).

VTT:n materiaalitekniikan tutkimusvalmiuksia on edelleen kehitetty GenIV ja fuusiotutkimusohjelmien tarpeisiin. GenIV alueella VTT osallistuu erityisesti SCWR (Super Critical Water Reactor) ja LFR (Liquid Lead Reactor) konseptien materiaali- ja tutkimuslaitekehitystyöhön.

Fuusiotutkimuksessa VTT osallistuu ensiseinämaterialien ja koereaktoreissa säteilötettyjen materialien tutkimus- ja laitekehitystyöhön.

Vahvasti ydinvoimaan liittyvää materiaalitutkimusta tehdään myös useissa yliopistoissa kuten Aalto-yliopistossa, Lappeenrannan ja Tampereen teknillisissä yliopistoissa ja Oulun yliopistossa.

Voidakseen jatkaa tulevaisuudessa VTT:n kuumakammio- ja autoklaavitutkimus sekä muu kokeellinen ydintutkimus (radiokemian, ydinjätekemian, suodatintutkimus, kokeellinen fuusiomateriaalitutkimus) vaativat tilojensa ja osin tutkimuslaitteistojensa osalta kiireellistä uudistusta. VTT:n tekemä kehityssuunnitelma on merkittävien kustannustensa takia ollut viime ajat kansallisessa käsittelyssä.

Esimerkkejä tutkimushankkeista

VTT osallistuu useisiin kansainvälisiin tutkimushankkeisiin. Erityisesti EU:n puiteohjelman painopiste on suurissa kansainvälisissä GenIV ja Fuusio -hankkeissa joihin osallistuminen mahdollistaa tutkimusvolyymin kasvattamisen siten, että myös kansalliset tavoitteet toteutuvat.

Kansalliset tutkimusohjelmat

SAFIR2014, KYT2014

NETNUC-projekti Suomen Akatemian SusEn:ssa

JHR MTR yhteistyö, FUUSIO-ohjelma

Kansainväliset tutkimusohjelmat

EU:n 7. puiteohjelman projektit GETMAT, PERFORM6o, LONGLIFE, MATTER
NULIFE-NoE

OECD:n Nuclear Energy Agencyn Halden Reactor Project.

5.1.5 Radiokemia

Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorio

Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorio (HYRL) on yksi HY:n Kemian laitoksen yhdeksästä yksiköstä ja ainoa yleinen radiokemian yksikkö Suomen yliopistoissa. HYRL:ssä tehtävä ydinenergia-alan tutkimus jakautuu kolmelle alueelle. Suurin alue on ydinpolttoaineesta peräisin olevien radionuklidien kulkeutuminen ja pidättymisen maa- ja kallioperässä. Toinen alue on epäorgaanisten ioninvaihtimien kehittäminen ydinjäteliuosten puhdistamiseen. Kolmas alue on ympäristön radioaktiivisuus, jossa tutkitaan ydin- ja kaivostoiminnasta peräisin olevien radionuklidien käyttäytymistä ympäristössä ja ravintoketjuissa.

HYRL:in tutkimustilat ovat C-luokan radionuklidilaboratorioita ja kaksi B-luokan laboratoriota. A-luokan laboratoriota (hot cell -laboratorio) ei ole. Sellaista ei tulla myöskään rakentamaan, mutta suunnitellun Otaniemen ydinenergiatalon A-luokan laboratoriolle olisi todennäköisesti käyttöä käytetyn ydinpolttoaineen tutkimuksessa. Toisin kuin useimmissa muissa Euroopan ja USA:n yliopistoissa HYRL:ssä voidaan käsitellä käytännöllisesti kaikkia radionuklideja, mukaan lukien transuraani-alkuaineet. Käsiteltävät määrät ovat tosin pieniä.

HYRL:llä on runsas määrä moderneja laitteita säteilyn havaitsemiseen ja mittamiseen, mm. 3 gammaspektrometriä, 2 gammalaskuria, 4 nestetuikelaskinta, 30 alfaspektrometriä ja ihmisen sisäisen radioaktiivisuuden mittaamiseen tarkoitettu kokokeholaskuri. HYRL:ssä on ainutlaatuinen laitteisto kivien huokoisuuden määrittämiseen, jolla saadaan näkyviin kiven huokosrakenne ja -jakauma halutuilta tasopinnoilta. Tätä teknologiaa ollaan parhaillaan siirtämässä myös Ranskaan osana EU-projektia. HYRL:ssä on myös kaksi typpiatmosfäärikaappia, joissa voidaan tutkia redox-herkkien radionuklidien käyttäytymistä hapettomissa oloissa ja karbonaattikomplekseja liuoksissa muodostavien radionuklidien käyttäytymistä karbonaattivaapaassa atmosfäärissä.

HYRL:ssä on yksi quadrupoli-ICP-massaspektometri, jota voidaan käyttää alkuaineanalytiikassa, mm. uraanin ja toriumin pitoisuuksien määrittämisessä. Lähi-tulevaisuudessa tullaan hankkimaan myös ICP-OES alkuaineanalytiikkaan. Laboratoriossa on HPLC-laitteisto, jota käytetään radionuklidien eri muotojen erottamiseen toisistaan eli spesiaatioanalyysiin. Tutkijat voivat myös käyttää GTK:ssa olevaan korkean erotuskyvyn sektori-ICP-MS-laitteistoa. HYRL:ssä on syklotroni, jolla pääasiallisesti tuotetaan lyhytikäisiä radionuklideja radiolääkeaineiden leimauksiin, mutta sillä voidaan tuottaa, ja onkin tuotettu, radionuklideja ydinjätetutkimukseen. HYRL:ssä on myös kolloidien tutkimukseen käytettävä hiukkaskoko/zetapotentialianalysaattori.

5.1.6 Rakenteiden tutkimus

Rakennustekninen turvallisuus koskee ydinvoimalaitosten rakennuksia ja rakennusteknisiä rakenteita. Runkorakenteiden ja rakenneosien käyttäytyminen on tunnettava hyvin, kun ydinvoimalaa suunnitellaan, rakennetaan ja pidetään kunnossa. Rakenteiden tutkimukselle on vahva tarve ydinenergiatutkimuksessa.

IMPACT koelaitteisto VTT:llä

Kuva 5.7. VTT:n Impact -koelaitteisto.



VTT:n IMPACT -koelaitteisto sijaitsee Espoon Otaniemessä maanalaisessa tutkimushallissa. Laitteiston avulla tuotetaan kokeellista dataa teräsbetonirakenteiden käyttäytymisestä iskukuormituksissa. Iskukuormitus saadaan aikaan kiihdyttämällä missiili siten, että se osuu halutulla nopeudella tutkittavaan seinään. Missiilin aiheuttama iskukuormitus voidaan mitata, kun missiili ammutaan seinän sijasta nk. voimalevyyn.

Laitteella voidaan tällä hetkellä kiihdyttää noin 50 kg painava missiili siten, että se iskeytyy seinään maksimissaan nopeudella 170 m/s.

Koestettava seinä asennetaan tukiraamiin, joka rajoittaa seinän jännevälin 2 metriksi ja maksimipaksuuden 0,5 metriksi. Seinä voi olla yhteen tai kahteen suuntaan tuettu ja se voidaan myös esijännittää.

Kokeen aikana mitattavat suureet:

- missiilin törmäysnopeus,
- missiilin nopeus sen lävistettyä koestettavan seinän,
- seinän taipumat,
- raudoituksen venymät,
- venymät betonin pinnalla,
- jännitysvoimat esijännitystangoissa jännitettyjen seinien ollessa kyseessä,
- tukiraamin reaktiovoimat,
- nesteen leviäminen ja pisarakoot sekä lentäville että laskeutuneille pisaroille, jos missiili sisältää vettä,
- törmäystapahtuma videoidaan kolmen suurnopeuskameran avulla sekä
- törmäysvoima kun seinän sijasta kohteena käytetään nk. voimalevyä.

Maanjäristyksen ja värähtelyiden testauslaitteisto VTT:llä

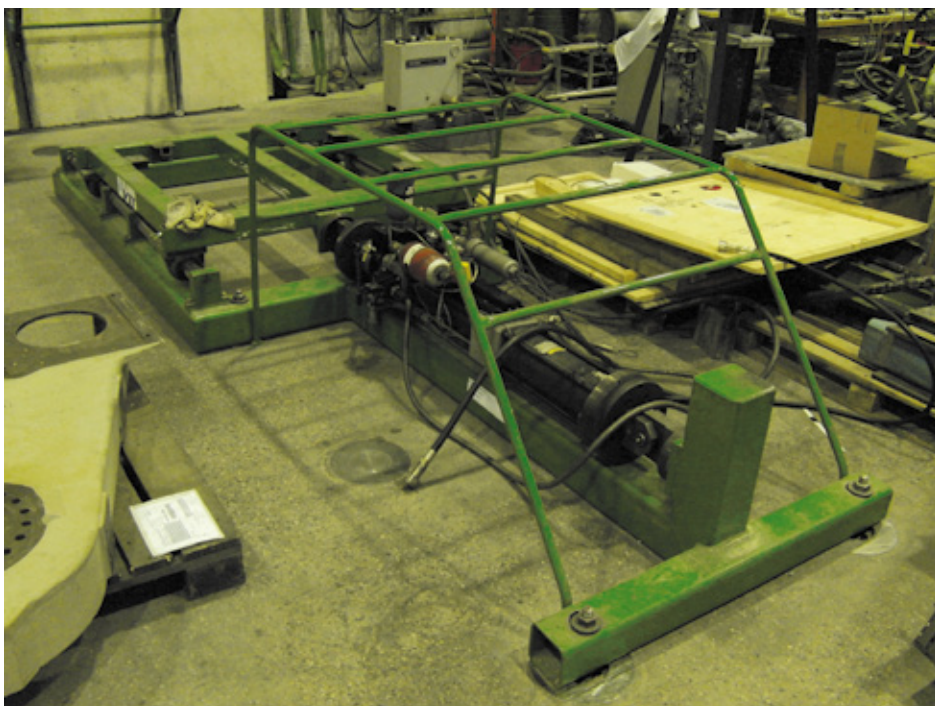
VTT:llä oleva hydraulinen tärypöytä soveltuu pienten rakenteiden ja elektronisten laitteiden värähtelytestaukseen, jossa vaadittavat liikkeet ovat suuria ja vaadittava taajuus matala, kuva 5.8. Laitteisto testaa yhden akselin suunnassa kerrallaan, ja tarvittaessa koekappale on käännettävä pöydällä, jos halutaan testata muiden akselin suunnassa. Pystysuuntaa varten, jolloin omapaino voi vaikuttaa tulokseen, on erillinen seinäteline. Laitteistolle voidaan syöttää etukäteen laskettu vapaa-muotoinen hydraulitunkin liikeohjaussignaali, joka on tyypillisesti maanjäristyssignaali, lentokoneen törmäyksestä aiheutuva värähtelysignaali tai muu vaadittava testaussignaali.

Erillisillä ohjelmistoilla voidaan laskea esim. kiihtyvyyden vastespektriä vastaava ohjaussignaali ja myös testikappaleesta mitatuista kiihtyvyyksistä voidaan laskea vastaava vastespektri. Yleisesti käytetty testistandardi on puhelinlaitteita koskeva GR-63-CORE, CEY/IEC 68-2-57 sekä STUKin laatima maanjäristyssignaali koskien Suomen ydinvoimaloita. Testauksen aikana testattavasta laitteesta voidaan mitata kiihtyvyyksiä, siirtymiä, jännityksiä ja voimia. Lisäksi testistä voidaan ottaa tavalista videokuvaa sekä suurnopeusvideokuvaa nopeudella 1000 kuvaa/s.

Taulukko 1. Hydraulisen tärypöydän ominaisuuksia.

Toimintaperiaate	Hydraulinen 1-akselinen tärypöytä
Maksimi iskun pituus	420 mm (+- 210 mm)
Taajuusalue	0 – 20 .. 30 Hz
Maksimi tunkin nopeus	1.3 m/s
Maksimi koekappaleen mitat	Leveys n. 2 m, syvyys 1 m, korkeus 2.5 m
Maksimi koekappaleen paino	n. 500 kg (riippuu testisignaalista)
Mittausanturit	16 kanavaa, lisäkanavat mahdollisia
Analysointiohjelma ja mittauskortti	LabView NI PCI MIO-16-4

Kuva 5.8. VTT:n hydraulinen tärypöytä maanjäristysten testaukseen.

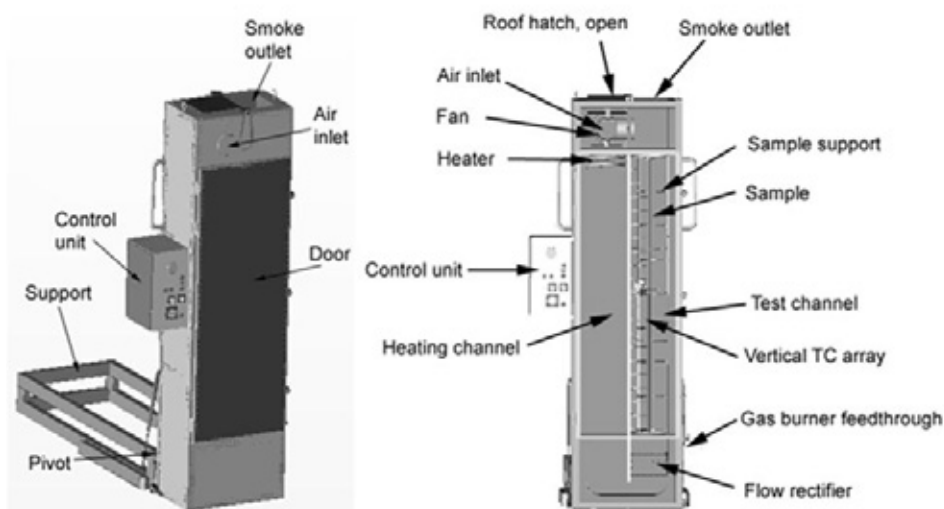


Liekinleviämisen mittauslaite VTT:llä

Uusien laitosten paloturvallisuuteen liittyen VTT on kehittänyt sekä kokeellisia että laskennallisia valmiuksia. OL3:n yhteydessä kehitettiin modernien sähkökaapelien palokäyttäytymisen tutkimiseen uusi kokeellinen laitteisto, jolla voidaan mitata liekinleviämistä kaapelipinnoilla eri ympäristön lämpötiloissa, kuva 5.9. Kiinteiden materiaalien tutkimuslaitteista käytössä on lisäksi kartiokalorimetri. Materiaalien pienkokeissa (TGA, DSC) on hyödynnetty VTT:n ja Aalto-yliopiston kemianosastojen palveluja.

VTT:n palolaboratorien remontin valmistuttua voidaan polttaa myös suurempia näytteitä ja samalla mitata massan muutosta sekä lämpötiloja, mutta palotehoa voidaan mitata enää vain suhteellisen pienistä (alle 300 kW) paloista SBI-laitteistossa. Paloturvallisuus- ja lentokonetörmäysanalyyysien vaatimia tietokonesimulointeja varten VTT:llä on käytössään 180:n CPU:n laskentaklusteri.

Kuva 5.9. Liekinleviämisen mittauslaite.



5.1.7 Fissiotuotteiden käyttäytyminen onnettomuustilanteissa

Suojarakennuksen toimiessa suunnitellulla tavalla jäävät fissiotuotepäästöt laitoksesta ympäristöön suhteellisen pieniksi myös vakavassa reaktorionnettomuudessa. Suuri päästö on kuitenkin mahdollinen suojarakennuksen ohitusketjuissa. Fissiotuotteiden kemia vaihtelee päästöreitien ja onnettomuusskenaarion olosuhteiden mukaan, jolloin ohitusketjujen päästöjen arvioinnissa joudutaan mallintamaan fissiotuotteiden kulkeutumista sekä aerosolimuodossa että kaasuna tai nesteinä.

Suomessa on tällä hetkellä korkeatasoista fissiotuotteiden kulkeutumisen ja kemian kokeellista tutkimusta. VTT:n rakentamilla koelaitteistoilla on tutkittu jodin ja ruteenin kulkeutumista primääripiirissä ja pidättymistä primääripiirin pintoihin sekä alkuaianemuodossa olevan jodin muodostumista säteilytettäessä. Kokeissa on tutkittu myös jodin hapettumista suojarakennuksessa sekä rakennuksen maalipinnan vaikutusta jodin kulkeutumiseen.

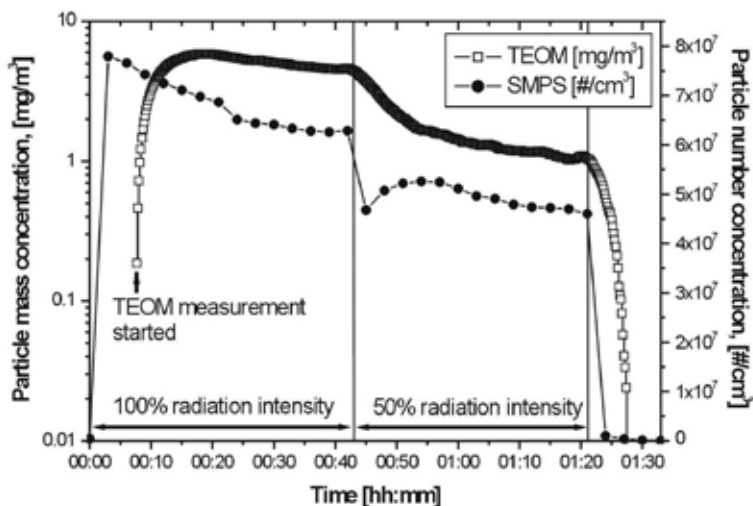
Suojarakennuksen tiiviys on osaltaan riippuva suojarakennuksen läpivientien tiivistämateriaalien kestävyyydestä vakavissa onnettomuuksissa. Suomessa on oltava mahdollisuus tutkia tiivisteinä käytettäviä materiaaleja olosuhteissa (säteily, lämpötila, paine), jotka vastaavat vakavien onnettomuuksien olosuhteita.

EXSI-laitteisto

VTT:llä rakennettu EXSI-koelaitteisto on yksi uusimmista laitteista fissiotuotteiden kemian ja kulkeutumisen tutkimuksessa. Sillä voidaan suorittaa kokeita sekä primääripiiri- että suojarakennusolosuhteissa. Laitteistolla on mahdollista mitata aerosolimudossa olevien fissiotuotteiden ominaisuuksia, kuten kokojakauma ja massapitoisuus, ja analysoida hiukkasten alkuainekoostumusta, rakennetta ja muotoa. Lisäksi laitteistolla voidaan tunnistaa muodostuneet kaasumaiset fissiotuoteyhdisteet ja mitata niiden pitoisuudet. Kokeissa on myös mahdollista tutkia mm. erilaisten pintojen, säteilylajien ja kaasuseoksien vaikutusta fissiotuotteiden käyttäytymiseen. Laitteisto ja sen automatisoitu näytteenotto ovat ainutlaatuisia fissiotuotteiden kulkeutumisen tutkimuksen alalla. VTT on valmistanut vastaavan tyyppisen näytteenottolaitteiston myös IRSN:n CHIP-koelaitteistoon, jolla tutkitaan jodin kaasufaasin reaktioita.

VTT:n EXSI-laitteistolla on tähän mennessä tutkittu kaasumaisen orgaanisen ja epäorgaanisen jodin radiolyttistä oksidoitumista suojarakennusolosuhteissa. Kokeissa on käytetty gamma-, beeta- ja UV(c)-säteilyä. Kuvassa 5.10 on esimerkki mittaustuloksista, kun kaasumainen orgaaninen jodi altistettiin UV(c)-säteilylle ilmassa. Kokeessa mitattiin mm. muodostuneiden jodioksidihiuksien massa- ja lukumääräpitoisuudet säteilyn intensiteettiä vaihdettaessa. Jodin kemiaa on tutkittu myös primääripiiriolosuhteissa. Korkeissa lämpötiloissa tehdyissä kokeissa selvitettiin mm. erilaisten pintojen (esim. teräs, oksidi) sekä muiden fissiotuote- ja säätösäilyvämateriaalien vaikutusta jodin kulkeutumiseen.

Kuva 5.10. Kuvassa on jodioksidihiuksien mitattuja lukumäärä- ja massapitoisuuksia esittävät kuvaajat ajan funktiona. Kokeessa kaasumainen orgaaninen jodi altistettiin UV(c)-säteilylle ilmassa. Säteilyn vaikutuksesta osa kaasusta hapettui ja muodosti aerosolihiukkasia. Hiukkasten massapitoisuus mitattiin TEOM:lla ja lukumääräpitoisuus SMPS:llä. Molemmat pitoisuudet kasvoivat, kun säteilyn intensiteetti voimistui. Mittaus suoritettiin VTT:n EXSI-koelaitteistolla.



DIANA-laitteisto

Vakavassa onnettomuudessa aerosolihiukkaset pidättyvät suojarakennuksen seinille monilla eri mekanismeilla riippuen mm. hiukkasten koosta sekä virtauksista. Eräs tällainen heikosti tunnettu mekanismi on turbulenssi luonnonkiertovirtauksessa. Kyseistä ilmiötä voidaan mallintaa tarkasti suoralla simuloinnilla (DNS - Direct Numeric Simulation) sekä suurten pyörteiden simuloinnilla (LES - Large Eddy Simulation), mutta mallien validointiin tarvittavaa kokeellista aineistoa ei aikaisemmin ole ollut tarjolla.

VTT:llä on käytössään korkean resoluution hiukkasten nopeuden kuvantamislaite (PIV - Particle Imaging Velocimeter) vakavien onnettomuuksien tutkimuksessa. Sen avulla voidaan tarkasti mitata kaasun ja hiukkasten liike luonnonkiertovirtauksessa, joka syntyy kylmän ja kuumen seinän välisessä tilassa. Kokeiden tuloksia käytetään ensi vaiheessa DNS ja LES-mallien validointiin. Kyseisistä malleista voidaan johtaa hiukkasten pidättymistä kuvaavat korrelaatiot myös perinteisempään CFD-laskentaan (Computational Fluid Dynamics). Tietokoneiden tehon kasvaessa CFD-laskentaa käytetään yhä enemmän ydinvoimaloiden onnettomuusmallinnuksessa.

5.1.8 Todennäköisyyspohjaiset riskianalyysit (PRA)

Tarve ja nykytila

Ydinvoimalaitoksen turvallisuutta arvioitaessa deterministisiin oletuksiin perustuvia onnettomuusanalyysieja ja todennäköisyyspohjaista riskianalyysia käytetään rinnakkain niin, että menetelmät täydentävät toisiaan. Todennäköisyyspohjaisten riskianalyysien (PRA) tekemiseen käytetään tähän tarkoitukseen kehitettyjä laskentaohjelmia. Viranomaismääräysten mukaan luvanhakijan tulee osallistua suunnitteluvaiheen PRA:n tekemiseen ja sen täydentämiseen rakentamisvaiheessa sekä hoitaa PRA:n käyttäminen ja ylläpito ydinvoimalaitoksen käytön aikana. Voimalaitosten lisäksi PRA laskentaohjelmia käytetään STUKin viranomaistyössä sekä VTT:n tutkimus- ja kehitystyössä ja toimeksiantoissa.

Todennäköisyysperusteisten riskianalyysien tutkimus ja kehitys Suomessa sai alkunsa 1970-luvulla, jolloin VTT:llä alkoi järjestelmien luotettavuuden laskenta- ja analyysimenetelmien selvittely ja kehittäminen, tarvittavien tilasto- ja muiden tietojen hankinta sekä menetelmien soveltaminen erityisesti Suomeen hankittavien ydinvoimalaitosten luotettavuustutkimuksiin. Kuluneiden vuosikymmenten aikana laskentamenetelmät ja -työkalut ovat kehittyneet merkittävästi.

1980-luvun lopulta lähtien Säteilyturvakeskus on panostanut huomattavasti oman PRA-työkalun kehittämiseen. STUKin kehittämä SPSA / FinPSA -työkalu on käytössä TVO:lla. Fortumilla on käytössään Risk Spectrum PSA proferssional -työkalu, joka on maailmanlaajuisesti yksi käytetyimpiä PRA-ohjelmistoja. VTT tekee PRA:n sovellustyötä näillä molemmilla työkaluilla.

Lähitulevaisuudessa ajankohtainen kysymys on SPSA / FinPSA -työkalun ylläpidon ja edelleen kehittämisen organisointi.

Esimerkkejä tutkimushankkeista

VTT tekee PRA:n kehitykseen ja soveltamiseen liittyvää tutkimusta mm. SAFIR2014-ohjelmassa sekä erityisesti pohjoismaisena yhteistyönä (NPSAG). Kansainvälisistä hankkeista voidaan mainita EU-ASAMPSA2 ja NEA:n WGRISK työryhmätyöskentely.

5.1.9 Ydinjätetutkimuksen infrastruktuuri

Ydinjätehuollon järjestämisessä on erotettavissa kolme päävaihetta: ydinjätteen käsittely, välivarastointi ja loppusijoitus. Ydinjätehuollon tutkimus ja tutkimuksen infrastruktuuri kohdistuu matala (MAJ)- ja keskiaktiivisen (KAJ) voimalaitosjätteen (VLJ) ja käytöstäpoistojätteen tutkimukseen sekä käytetyn polttoaineen (KPA) ja sen loppusijoituksen tutkimukseen ydinjätehuollon eri päävaiheissa.

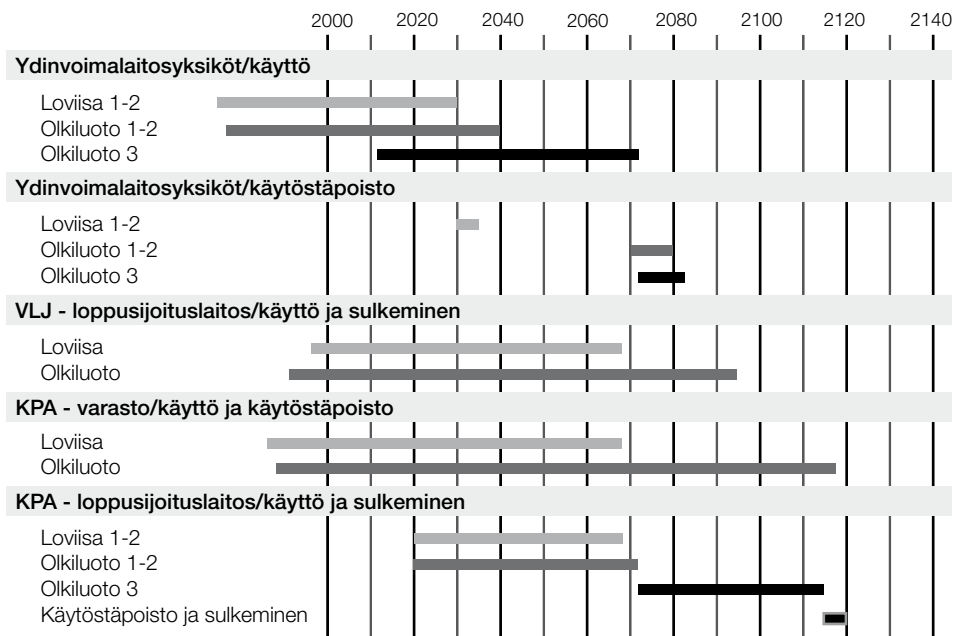
Kaikista matala- ja keskiaktiivisten voimalaitosjätteiden käsittelyyn ja loppusijoitukseen sekä voimalaitosten käytöstä poistoon liittyvistä toimenpiteistä TVO ja Fortum huolehtivat erikseen. Molemmilla voimayhtiöillä on laitospaikkakunnallaan voimalaitosjätteen loppusijoituslaitokset.

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen tähtäävästä tutkimus- ja kehitystyöstä huolehtivat TVO:n ja Fortumin yhdessä omistama Posiva sekä TEM:n hallinnoima, julkinen KYT2014-tutkimusohjelma. Posiva tulee myöhemmin huolehtimaan kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen rakentamisesta ja käytöstä.

KYT2014 -tutkimusohjelma vastaa Säteilyturvakeskuksen (STUK) ohella myös viranomaistoimintaan liittyvän tutkimustiedon tuottamisesta ja sisältää erilaisten prosessien mallintamista ja laskentaa sekä niihin liittyvää kokeellista tutkimusta. Ohjelmaan osallistuvat Aalto-yliopisto, Geologian tutkimuskeskus (GTK), Helsingin yliopisto (HY), Itä-Suomen yliopisto, Jyväskylän yliopisto (JY), Ludus Mundi Oy, Numera Oy ja VTT.

Nykyisten ja rakenteilla olevien ydinlaitosten ydinjätehuollon toteuttamisen aikataulu on esitetty kuvassa 5.11.

Kuva 5.11. Nykyisten ja rakenteilla olevien ydinlaitosten toteuttamisen aikataulu (Posiva 2009).



Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen tutkimusinfrastruktuuri

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksen tutkimuksen tutkimusohjelmistoja, tutkimuslaitteistoja ja maanalaisia tutkimustiloja on seuraavilla organisaatioilla Suomessa:

- VTT (materiaalien käytettävyyden ja eliniänhallinnan tutkimusvalmiudet, ml. NDT, sekä bentoniitin karakterisointivalmiudet)
- Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorio
- Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos (tomografia- ja virtauslaboratoriot)
- B+Tech (bentoniittilaboratoriot, tutkimusohjelmistot ja instrumenttiikka)
- Posiva.

Lisäksi ydinjätetutkimukseen voidaan käyttää myös ei-ydinenergiäspesifisten organisaatioiden tutkimuslaboratorioita, kuten Patrian Aviationin EB-hitsauslaitteistoa.

Posivalla on mahdollisuus käyttää yhteistyösopimuksen kautta ruotsalaisen SKB:n Oskarshamnissa sijaitsevaa kapselilaboratoriota ja Äspön HRL maanalaista kovan kiven tutkimuslaboratoriota sekä Äspössä sijaitsevaa SKB:n bentoniittilaboratoriota. Lisäksi mm. Grimselin kalliolaboratoriota Sveitsissä on mahdollista hyödyntää yksittäisissä yhteistyöprojekteissa.

Posivan omaan käyttöön on rakennettu varmentavia paikatutkimuksia varten maanalainen kallioperän tutkimustila ONKALO, jolla hankitaan tarkkaa tietoa loppusijoitustilojen yksityiskohtaista suunnittelua sekä turvallisuuden ja rakennus-tekniisten ratkaisujen arviointia varten, kuva 5.12. ONKALO tekee mahdolliseksi

loppusijoitustekniikan testauksen aidoissa olosuhteissa. ONKALOn rakentaminen aloitettiin kesäkuussa 2004. Nyt käynnissä olevassa rakennusvaiheessa on edetty loppusijoitusvyvyydelle, joka on -420 m. Tälle tasolle louhitaan demonstraatiotilaan myös kaksi erillistä tunnelia, joissa selvitetään varsinaista loppusijoitusta sekä siihen liittyviä menettelytapoja. Loppusijoituksessa tarvittavien teknisten aputilojen louhinta tasolle -437 m valmistui vuonna 2011. Tutkimuksia ONKALossa on tehty rakentamisen alusta lähtien ja ONKALOn ajotunnelin yhteyteen tason -300 m alapuolelle on rakennettu neljä tutkimustilaa (tutkimussyvennystä), joissa tehdään puskuri-, kalliomekaanisia, hydrologisia ja hydrogeokemiallisia tutkimuksia loppusijoitusta vastaavissa olosuhteissa.

Kuva 5.12. ONKALO, maanalainen tutkimustila Olkiluodossa, Eurajoella. Olkiluodon tutkimusalueen maanpäällisiä rakenteita kesällä 2007. Kuvassa vasemmalla on ONKALOn ajotunnelin suuaukko, tunnelitekniikkarakennus sekä varasto- ja korjaamohalli. Tutkimustila ulottuu -420 m syvyyteen. (c) Posiva Oy. (Kuva: Helifoto)



Kuva 5.13. Posiva Oy:n paikkatutkimusta. Olkiluodon kallioperästä otettuja kairanäytteitä ja muita loppusijoitustutkimusta varten kerättyjä kairanäytteitä kartoitetaan ja käsitellään Olkiluodon tutkimusalueella sijaitsevassa tutkimushallissa. Kuvassa kairanäytteiden käsittelyä 2007. (c) Posiva Oy.
(Kuva: Sari Ojala)



Posivan paikka- ja ONKALO-alueen tutkimusten yhteydessä on kehitetty omia patentoituja laitteita kuten PAVE paineistettujen pohjavesinäytteiden ottoon ja Posivan Flowlog mittauslaitteistoperhe (PFL DIFF ja PFL TRANS) pohjavedenvirtausmittauksiin. Lisäksi latauspotentialimittausta sovelletaan Flowlog laitteessa uudella tavalla. Olkiluodon alueella ja sen välittömässä läheisyydessä on myös kattava mikroseisminen mittausverkosto (18 asemaa) sekä biosfääritutkimuksiin liittyvät neljä intensiivimetsäkoealaa.

Kuparikapselin ainetta rikkomatonta tarkastusta (NDT) varten on Posivalla SKB:n (Svensk Kärnbränslehantering AB) kapselointilaboratorion laitteiston lisäksi oma ultraäänitarkastuslaitteisto, joka on sijoitettuna VTT:n tiloihin Otaniemeen. Lisäksi Posivalla on NDT-tarkastusohjelmistolisenssejä ultraääni- ja röntgentarkastuslaitteistoja varten.

VTT:llä on jo usean vuoden ajan panostettu systemaattisesti loppusijoitustilan lähialueen kytkettyjen prosessien tutkimiseen kokeellisesti ja mallintamalla. Tämä johtuu siitä, että lähialueella on heti loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeen samanaikaisia termisiä, hydrologisia, kemiallisia ja mekaanisia gradientteja. Erityisesti

bentoniittipuskurin kytketyt termo-hydro-kemialliset (THC) prosessit ovat olleet tutkimuksen kohteena. Kytkettyjen prosessien tutkimuspanostuksen yhteydessä on koulutettu nuoria tutkijoita aihepiirin asiantuntijoiksi.

VTT:llä on pitkäaikainen kokemus olosuhdekaappien käytössä, joilla voidaan simuloida loppusijoitustilojen hapettomia tai pelkistäviä olosuhteita. Tällä hetkellä ydinjätetutkimuksen käytettävissä on kuusi olosuhdekaappia, joissa käytetään Ar-ilmakehää (aiemmin käytettyyn N₂ ilmakehään liittyy mahdollisen mikrobitoiminnan hallinnan vaikeus). VTT on hankkinut korkean resoluution ICP-MS -laitteiston vaativaa alhaisten alkuainepitoisuuksien analytiikkaa varten. Olosuhdekaapeissa on tutkittu mm. uraanipolttoaineen liukoisuutta eri olosuhteissa ja esim. sementtibentoniitti -vuorovaikutusta. VTT on juuri suunnitellut ja testannut prototyyppilaitteiston bentoniitin sementoitumisen tutkimiseksi. Sementoitumisella tarkoitetaan liuenneiden (pii ja alumiini) yhdisteiden saostumista bentoniitissa ja se pienentää bentoniitin paisuntapainetta ja -kapasiteettia.

VTT:n tutkimuslaitteistoa käytetään Posivan tutkimusohjelmassa, KYT2014-tutkimusohjelmassa ja EU:n tutkimushankkeissa. Parhaillaan VTT on mukana kahdessa ydinjätehuollon tutkimushankkeessa, jossa EU on rahoittajana: CROCK (Crystalline rock retention processes, radionuklidien sorptio) ja REDUPP (REDucing Uncertainty in Performance Prediction, käytetyn polttoaineen liukenemisnopeudet). Kolmas hanke on BELBaR (Bentonite Erosion: effects on the Long term performance of the engineered Barrier and Radionuclide Transport, bentoniitin turvallisuustoimintoja heikentävät ilmiöt) on neuvotteluvaiheessa. Erityisesti KYT2014-ohjelman BOA-hankkeessa (bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi) tehdään systemaattinen kartoitus tutkimuskonsortion käytettävissä olevien kokeellisten menetelmien käytettävyydestä bentoniitin mikrorakenteen tutkimuksessa. BOA-hankkeessa ovat mukana VTT (hankkeen koordinaattori), GTK, HYFL, JYFL, Ludus Mundi Oy ja Numerola Oy. Mikrorakennetutkimukseen liittyy kiinteästi kytkettyjen prosessien tutkimus, koska bentoniittipuskurin prosessien vaikutuksen luotettava arvioiminen edellyttää luotettavan kuvan saamista bentoniittipuskurin rakenteesta.

B+Tech Oy on erikoistunut loppusijoituksessa käytettävien EBS (engineered barrier systems) komponenttien, erityisesti bentoniittien ja muiden paisuvahilaisten savien kokeelliseen tutkimiseen ja mallintamiseen sekä suunnitteluun, valmistamiseen, laadunvarmistuksen ja toimitusketjun hallintaan tuottajilta loppukäyttöön. B+Techilla Oy:llä on tällä hetkellä 3 erillistä laboratoriotilaa. Yhdessä näistä tutkitaan bentoniitin kemiallisia, mineralogisia ja fysikaalisia ominaisuuksia ns. perinteisessä laboratoriomittakaavassa. Esimerkkinä bentoniitin paisuntapainemittaukset mittakennoilla, joiden sisähalkaisija vaihtelee välillä 24–100 mm sekä kemialliset vuorovaikutuskokeet. Lisäksi B+Tech Oy:llä on kaksi laboratoriota isomman mittakaavan kokeille ja testeille. Näistä kokeista esimerkkinä on bentoniittipuskurin saturoitumiseen liittyvä termo-hydro-mekaaninen koe koekennossa, jonka halkaisija on 35 cm ja pituus 80 cm. Lisäksi B+Techissä on valmius tutkia myös savien mekaanisia ominaisuuksia perinteisillä geoteknisillä tutkimusmenetelmillä, kuten ödometrikokeella.

Helsingin yliopiston Radiokemian laboratoriossa (HYRL) tutkitaan ydinpolttoaineesta peräisin olevien radionuklidien kulkeutumista ja pidättymistä maa- ja kallioperässä, luku 5.1.5. Tutkimuksessa käytetään muun muassa laitteistoa kivien huokoisuuden määrittämiseksi, jolla saadaan näkyviin huokosrakenne ja -jakauma.

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen (JYFL) tomografialaboratoriossa (kuva 5.14) on kolme röntgentomografialaitetta, joiden resoluutio vaihtelee n. 20 mikrometristä 50 nanometriin, ja tarvittavat näytteidenkäsittelylaitteet. Tomografiakuvausta käytetään esimerkiksi kallioperänäytteiden rakenneanalyysiin sekä bentoniitin hydromekaanisten ominaisuuksien tutkimukseen. Virtauslaboratoriossa on laitteistot kallioperässä ja bentoniitissa tapahtuvan kulkeutumisen (virtaukset ja diffuusio) tutkimukseen sekä bentoniitin ödometrisiin mittauksiin. Laboratoriossa on lisäksi laitteisto kivinäytteiden johtavan huokoisuuden mittaamiseen (pyknometri). JYFL:n kokeellisen tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa erityisesti kulkeutumiseen vaikuttavista rakenneparametreista sekä matriisidiffuusion ja bentoniittipuskurin ominaisuuksien arvioimiseksi jo kehitettyä tai kehitettävää mallinnusta varten.

Kuva 5.14. Näkymä JYFL:n Tomografialaboratoriosta. Oikealla Xradia MicroXCT 400 -mikrotomografialaite ja vasemmalla Xradia NanoXCT -nanotomografialaite.



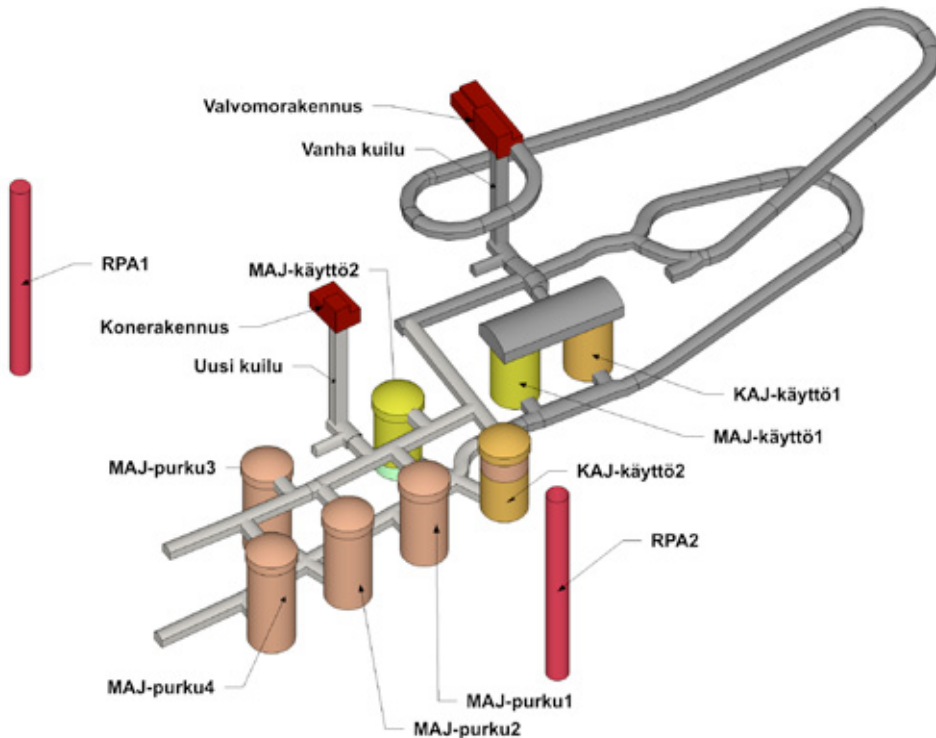
Olkiluodon VLJ-luolassa tehtävä tutkimus

VLJ-luolan käyttö, laajentaminen sekä tuleva luolan sulkeminen edellyttävät jatkuvaa seuranta- ja tutkimustyötä. Käytönaikainen seuranta tapahtuu kalliomekaanisin

sekä hydrologisin ja geokemiallisin mittauksin. Jätteen käyttäytymistä sulkemisen jälkeen ja rakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä tutkitaan erillisin koesarjoin, joita toteutetaan sekä pilot-mittakaavan laitteistoilla että kallioperässä tehtävillä pitkäaikaiskokeilla. Kaikki koetoiminta on vuoden 2010 aikana siirretty VLJ-luolan tiloihin.

Olkiluodon VLJ-luolan yleisrakenne, huomioiden suunnitellut laajennukset, on esitetty kuvassa 5.15. Laitos koostuu maanpäällisestä valvomorakennuksesta, ajotunnelista, louhintatunnelista, kuilusta, matala-aktiivisten jätteiden siilosta (MAJ-siilo), keskiaktiivisten jätteiden siilosta (KAJ-siilo), siilojen yläpuolisesta nosturihalista sekä aputiloista.

Kuva 5.15. VLJ-luolan rakenne ja muutossuunnitelmat. VLJ-luolan käytössä olevaan osaan (Häyttö1) kuuluu kaksi siiloa. OL3:n ja OL4:n käytön aikana rakennetaan kaksi uutta siiloa (Häyttö2). Kun voimalaitosyksiköitä poistetaan Häytöstä, rakennetaan purkujätteille ja reaktoripaineastioiden loppusijoitukselle erilliset pystysiilot (purku).



Voimalaitosjätteiden loppusijoitustilan kalliotilojen käytönaikainen kalliomekaaninen ja hydrologinen seuranta toteutetaan vuosille 2006-2017 laaditun kalliooperän tutkimus- ja seurantaohjelman mukaisesti. Tämän avulla varmistetaan tietoja VLJ-luolan turvallisuusanalyysiä varten ja seurataan kallion käytönaikaista pysyvyyttä.

Tulokset VLJ-luolan kalliomekaanisesta ja hydrologisesta monitoroinnista raportoidaan vuosittain:

- Kallioperän pysyvyyttä on seurattu VLJ-luolan louhintatöiden alkuvaiheista lähtien jatkuvilla kalliomekaanisilla mittauksilla.
- Keväällä 1993 VLJ-luolan tutkimustunneliin asennettiin kymmenen tutkimuspulttia kallion lujitukseen käytettyjen pulttien korroosionopeuden selvittämiseksi. Tutkimuksen tavoitteena on saada tietoa sinkittyjen kallion lujituspulttien korroosion kestosta. Tulosten perusteella korroosionopeus on toistaiseksi todettu mitättömäksi.
- VLJ-luolan hydrologista seuranta toteutetaan vuosittain tarkkailemalla poistopumppujen ja mittapatomittausten avulla luolasta ulospumpattavan vuotovesisvirtaaman määrää ja laatua. Pitkän ajan tulokset osoittavat kokonaisvuotovesisvirtauksen olevan laskusuunnassa.
- Myös ilmanlaatua tutkitaan VLJ-luolassa. Mittaukset käsittävät radon-, lämpötila-, kosteus- ja CO₂-mittaukset. Lisäksi seurataan luolan poistoilman radioaktiivisuutta.

VLJ-luolaan on rakennettu erillinen koelaitteisto, jolla voidaan simuloida tilannetta MAJ-siilossa luolan sulkemisen jälkeen, jolloin koko luolasto on suljettu ja täyttynyt vedellä. Tällä kaasunkehityskokeella on tutkittu matala-aktiivisen jätteen mikrobiologista hajoamista loppusijoitusolosuhteissa vuodesta 1997 alkaen. Kokeessa jäte on sijoitettu tilavuudeltaan noin 20 m³ kokoisen vesitäytetyn koetankin sisälle teräksiin tynnyreihin ja betonilaatikkoon pakattuna.

Tutkimuksella saadaan tietoa huoltojätteessä muodostuvan kaasun määrästä ja muodostumisnopeudesta sekä lisätään tietämystä mikrobien toiminnan vaikutuksesta hajoamistapahtuman olosuhteissa. Lisäksi tutkimuksessa seurataan aktiivisuuden siirtymistä jätetynnyreistä ympäröivään veteen. Tuloksia on käytetty VLJ-luolan turvallisuusanalyyseissä, jossa tarvitaan tietoa huoltojätteen kaasunkehitysnopeudesta. Pitkällä aikavälillä kaasunkehitysnopeus on ollut luokkaa 60–90 dm³/kk, mikä on noin kertaluokkaa alhaisempi kuin alkuperäisessä turvallisuusanalyyseissä arvioitiin.

TVO ja Fortum Power & Heat Oy käynnistivät yhteistyönä vuonna 1997 betonirakenteiden pitkäaikaiskäyttämistä tutkivan hankkeen, joka on VLJ-luolan tutkimustilassa. Tutkimuksen perusteella arvioidaan betonin pitkäaikaiskäyttämisen vaikutusta radionuklidien liukoisuuteen ja kulkeutumiseen loppusijoitusolosuhteissa sekä rapautumista käyttöolosuhteita vastaavissa kalliopohjavesiolosuhteissa. Tavoitteena on selvittää vallitsevissa olosuhteissa parhaiten kestävät betonikoostumukset, joilla pystytään täyttämään VLJ-luolalle asetetut 60 vuoden käyttöikävaatimukset. Lisäksi luodaan tietoa betonimateriaalien pitkäaikaiskestävyyden mallinnukseen.

Merkittävimmät betonin vauriomekanismit ovat karbonatisoituminen, rapautuminen ja loppusijoitustilojen sulkemisen jälkeinen pohjaveden aggressiivisten ionien aiheuttama betoni-teräskorroosio.

Voimalaitosjätetutkimusinfrastruktuuri

Ydinjätehuollon vaatimusten lähtökohtana on turvallisuus siten, että jätteet voidaan eristää elollisesta luonnosta. Ydinjätteiden loppusijoitus suunnitellaan siten, että loppusijoituksen turvallisuus ei edellytä valvontaa. TVO on saanut luvan voimalaitosjätteen loppusijoitukselle (VLJ) Olkiluotoon v. 1992. Nyt varaudutaan uusien laitojen OL3 ja OL4 tarpeisiin. Sekä loppusijoitustoiminta että sen laajentaminen edellyttävät suunnitelmallista tutkimusohjelmaa ja sen toteuttamista.

Ydinvoimalaitoksilla syntyy käytetyn polttoaineen lisäksi matala- ja keskiaktiivis-jätettä (matala-aktiivinen jäte, MAJ ja keskiaktiivinen jäte, KAJ). Jäte syntyy kunnossapidon ja korjaustöiden yhteydessä, käsittäen erilaisia materiaaleja (muovi, paperi, metalli, puu ja erityyppiset henkilökohtaisiin suojaimiin käytetyt materiaalit). Lisäksi jätettä syntyy erilaisista vedenkäsittelyjärjestelmistä (ioninvaihtohartsit ja haihdutuksessa muodostuvat tiivisteet). Tyypillinen käytöstä syntyvän jätteen vuosikertymä nykyisiltä laitoksilta on 100–200 m³.

5.1.10 Ihminen ja organisaatio

Ydinvoimateknisen infrastruktuurin rakentamista voidaan ainakin välillisesti perustella myös käyttäytymis- ja sosiaalitieteellisestä lähtökohdista nousevin argumentein. Näistä ensimmäinen liittyy siihen perusasiaan, että ydinenergian turvallinen ja tehokas tuotanto vaatii korkean tasoista teknis-tieteellistä tietoa sekä teoreettisia, kokeellisia ja laskennallisia käytäntöjä. Näiden osaamisten kehittämistä ja jatkuvaa ylläpitoa ydinvoimatuotantoa harjoittavassa maassa edellytetään kansainvälisissä normeissa, ja niistä huolehtiminen on osa hyvää turvallisuuskulttuuria tällä toimialalla. Osaamisen omaksumisen ja tieteellisen opetuksen sekä tiedontason ylläpidon tärkeä edellytys on tutkimustyö ja erityisesti kokeellinen toiminta, jossa uutta tietoa aktiivisesti luodaan. Oman tutkimustyön tulokset ovat myös välttämättömiä pitkäaikaisen ja syvällisen yhteistyön kehittämiseksi kansainvälisten tieteellisten ja kaupallisten toimijoiden kanssa.

Toinen sosiaali- ja käyttäytymistieteellisestä perspektiivistä nouseva perustelu ydinteknisen infrastruktuurin tarpeelle on, että infrastruktuurin mahdollistama tutkimus on kiinteässä yhteydessä kykyyn ja kiinnostukseen uusien ydinvoimalaitosten konseptisuunnitteluun. Konseptisuunnittelun yhteydessä muodostetaan käsityksiä ja tehdään ratkaisuja perustavista ydin- ja prosessiteknisistä suuntaviivoista, joiden varassa tulevia voimalaitoksia myöhemmin yksityiskohtaisemmin suunnitellaan. Konseptointivaiheessa määritellään lähtökohdat sille, miten prosessia voidaan hallita.

Suunnitteluperusteiden tarkastelussa olisi tärkeä määritellä suureita, jotka tulevat vaikuttamaan järjestelmän hallittavuuteen, kun järjestelmää käytetään sen eri elinkaaren vaiheissa. Esimerkiksi järjestelmän kompleksiteetti tai sen prosessitapahtumien ajalliset ominaisuudet ovat erittäin olennaisia hallittavuuteen vaikuttavia tekijöitä, joiden perusteella ratkaistaan automaation ja ihmisen työnjakoon

sekä erilaisissa tehtävissä tarvittavien töiden vaatiman asiantuntemuksen laatuun ja määrään sekä yhteistyöhön liittyviä kysymyksiä. Monitieteinen ja integroitu suunnittelu tuottaa perustaltaan turvallisemman lopputuotteen. Tällaiseen tähtäävää suunnittelukäytäntöä voidaan synnyttää ydinvoimalaitosten perusilmiöitä ja toimintaperiaatteita kartoittavassa kokeellisessa työssä ja sitä tukevassa tutkimusympäristössä.

Kaikkein välittömimmin käyttäytymistieteelliseen ydinvoiman tutkimus- ja kehittämistoimintaan suunnitteilla oleva tutkimusinfrastruktuuri liittyy sikäli, että sen puitteissa voisi tarjoutua mahdollisuuksia kokeelliseen virtuaaliodellisuutta ja muuta simulaatiota hyödyntävään valvomo- tai vastaavien ohjauskeskusten tai monimutkaisten manipulointivälineiden tutkimukseen, kehittämiseen ja testaamiseen. Tällä tutkimusalueella keskeinen toimija on HRP:n HAMLAB, jonka tulevaisuussuuntautuneeseen tutkimustyöhön suomalaisia human factors -alan tutkijoita on osallistunut. Muita mahdollisuuksia ei toistaiseksi ole ollut tulevaisuuden valvomo- ja välinekehitykseen osallistumiseen. Tällaisen kokeellisen ja futuristisemmän tutkimuksen tarpeellisuuteen kiinnitettiin myös huomiota edellisessä SAFIR-ohjelman kansainvälisessä arviossa.

5.1.11 Automaatioon ja tietotekniikkaan liittyvä tarkastustoiminta

Tietotekniikan käyttö on laajentunut lähes kaikkiin laitteisiin. Tietotekniikan osaminen korostuu tulevaisuudessa niin ydinlaitosten suunnittelussa, rakentamisessa kuin myös käytössä. Tämä merkitsee ohjelmoidun turvallisuusautomaation osaamisen hyödyntämistä ydinlaitoksen kaikissa elinkaaren vaiheissa kuin myös monenlaisten laitteiden suunnittelussa, valmistamisessa, käytössä ja käytöstä poistossa. Haasteita synnyttää uuden tekniikan elinkaaren lyhyys verrattuna aikaisemmin käytettyyn turvallisuusteknologiaan.

Suomessa ei ole tällä hetkellä käytettävissä kansallista infrastruktuuria, joka mahdollistaa laaja-alaisen vaatimustenmukaisuuden arvioinnin automaation alueella. Puute ei koske ainoastaan ydinteknistä osaamista vaan myös konventionaalista teknologiaa. Tällä asiantuntemusalueella on ydinenergian lisäksi vahva kytkentä muuhun teollisuusosaamiseen. Konventionaalisella puolella on vuoden 2010 alusta tullut voimaan EU-tasolla uusi menettely, joka tähtää eurooppalaisiin yhteismarkkinoihin tarkastuslaitosten osalta. Direktiivit esitetään yleisellä tasolla ja yksityiskohtaiset vaatimukset kirjataan direktiiveihin liittyvissä EN-standardeissa. Suomessa direktiivien vaatimukset on viety valtioneuvoston asetuksiin.

Uuteen lähestymistapaan konventionaalisen tekniikan alueella liittyy myös akkreditointielinten ja akkreditoitujen tarkastuslaitosten entistä tiukempi valvonta. Tulevaisuudessa tarkastuslaitosten akkreditointi vaatii aihepiiriä vastaavien standardien olemassaolon. Nämä muutokset vaikuttavat myös STUKin valvontamenetelyjen kehitykseen.

STUKin YVL -ohjeiden uudistuksen yhteydessä tarkastuslaitosten käyttöä tullaan laajentamaan muillekin alueille kuin painelaitteet. Muutoksen toteutumisen kannalta on välttämätöntä, että Suomeen syntyy riittävä infrastruktuuri pätevine tarkastuslaitoksineen ja niitä tukevine laboratorioineen. Tällä osaamisella on laajalti sovellutuksia myös ydinteknisen alueen ulkopuolella ja osaamisella on merkitystä kansallisen kilpailukyvyn kannalta.

Tarkastuslaitoksia tukevien laboratorioiden tulee olla kansainvälisen tason toimijoita ja niitä tulee olla riittävästi kaikilla tekniikan alueilla. Erityisalueita, joilla ei vielä ole moderneja kansainvälisen tason kansallisia laboratorioita, ovat muun muassa tietotekniikka, tietoturvallisuus ja polttoaine - sekä materiaalitekniikka.

Moderniin, ohjelmistopohjaiseen automaatioon liittyvälle tutkimukselle on erittäin suuri tarve. Tarve ei koske pelkästään ydinlaitoksia, vaan myös muita kriittisen infrastruktuurin alueita kuten energianjakelua ja erilaisia poikkeustilanteen kannalta olennaisia tuotantolaitoksia (esimerkiksi elintarviketeollisuus).

Toimintakyvyn varmistaminen edellyttää sekä osaamista että testaus- ja tutkimusinfrastruktuuria. Asianmukaista automaatiotekniikan testaus ja tutkimusinfrastruktuuria objektiivisen testauksen suorittamiseen ei Suomessa tällä hetkellä ole.

5.2 Valmiustoiminta, säteilysuojelu

STUKin Säteilybiologian laboratoriossa tutkitaan sekä ionisoivan että ionisoimattoman (lähinnä matkapuhelin-) säteilyn biologisia vaikutuksia ja terveyshaittojen mekanismeja. Erityisinä tutkimuskohteina ovat pienten säteilyannosten riskit, yksilöllinen herkkyys, säteilyn epäsuorat soluvaikutukset ja biologinen säteilyannoksen määrittäminen (biodosimetria). Laboratoriossa on käytössä laitteistot kudosten ja solujen altistamiseen sekä laitteistot ja tekniikat säteilyn vaikutusten havainnoimiseen. Esimerkkeinä mainittakoon solujen ja kudosten analyysiin ja kuvantamiseen tarvittavat mikroskoopit ja tietokoneohjelmistot sekä proteiinianalytiikkalaitteistot. Biodosimetria-menetelmät perustuvat pääasiassa veren valkosoluihin muodostuvien biomarkkereiden analyysiin mikroskoopissa.

Laboratoriossa on käytössä tekniikat sekä lyhyen aikavälin (altistusmittaus) biodosimetriaan että pitkän aikavälin annosmäärittämiseen. Rutiinimenetelmänä suoritettavaa disentrissiini kromosomeihin perustuvaa analyysiä käytetään yliannostapausten ja varsinaisten onnettomuustapausten annosarviointiin ja sitä suoritetaan myös palvelutoimintana. Menetelmällä pystytään määrittämään matalimmillaan noin 100 mGy kokokehoannos harvaan ionisoivaa säteilyä. Laboratorion kapasiteetti nopean annosmäärittämiseen ("triage"-menetelmä) osalta on noin 60 tapausta viikossa. Pitkän aikavälin biodosimetria perustuu stabiilien kromosomivaurioiden analyysiin ja sitä käytetään tapauksissa tai populaatioissa, joissa altistus on tapahtunut kauan sitten tai se on ollut krooninen – esim. Tshernobylin asukkaat ja puhdistustyöntekijät, ydinlaitostyöntekijät, ja sillä pystytään määrittämään muutaman sadan mGy annoksia.

5.3 Testaus- ja tarkastuslaitokset

5.3.1 Säteilyturvakeskuksen dosimetrialaboratorio

STUK pitää yllä säteilyn kansallisia mittanormaaleja. Lainsäädännön mukaisesti STUKin vastuulle kuuluvat ionisoivan säteilyn mittaussuureet sekä suojelun kannalta oleelliset ionisoimattoman säteilyn suureet. Näitä ionisoivan säteilyn suureita ovat absorboitunut annos, kerma (kinetic energy released in matter) ja annos-ekvivalentti. Myös mittaustoiminnan kannalta oleellisille muille annossuureille ylläpidetään mittanormaaleja, joista esimerkkeinä tykösädehoidon mittaussuureet, beetasäteilyn ja neutronidosimetrian annossuureet. Annossuureiden kalibroi- ja mittausspalvelujen osalta tärkeimmät asiakkaat ovat STUKin säteilyn käytön valvonnan ja biologian tutkimuksen yksiköt, yliopistosairaalat, ydinvoimalaitokset, säteilylaitteiden ja säteilymittareiden valmistajat ja maahantuoja. Alla on lueteltu keskeiset säteilytyslaitteistot, joita käytetään kalibrointi- ja säteilytyspalvelujen tuottamiseen.

Annossuureiden mittanormaalityönnä koskevia laboratoriotiloja on n. 230 m², jotka jakautuvat kolmeen säteilytyshuoneeseen sekä yhteiseen ohjaushuoneeseen, josta säteilytyslaitteita ohjataan. Laboratorion säteilysuojausseinät ovat 70–120 cm paksua betonia. Suojauksilla varmistetaan sekä mittaustekninen luotettavuus että työntekijöiden säteilyturvallisuus. Säteilytyshuoneissa on koneellisesti avattavat ovet sekä kattava turvallisuuslaitteisto vahinkoaltistusten ja tahattoman käytön estämiseksi. Tiloissa on vakioilmastointi, jolla lämpötila ja kosteus pidetään haluttuissa rajoissa.

Gammabeam X200 on mittanormaalityönnä uusin (asennus kevään 2011 aikana) ja suurimman annosnopeuden tuottava ⁶⁰Co -säteilytyslaitte, säteilylähteen aktiivisuus on 400 TBq, kuva 5.16. Sädehoidon annosmittareiden kalibroitteometriaassa 10 x 10 cm² kenttäkoolla yhden metrin etäisyydellä laitteen tuottama annosnopeus on noin 1.5 Gy/min.

Kuva 5.16. ^{60}Co -gamma-säteilytin GBX200, säteilylähteen aktiivisuus on 400 TBq.



Revolver-säteilytyslaitetta käytetään lähinnä säteilysuojelumittareiden kalibrointiin ja tarkistuksiin. Laitteessa on kahdeksan erillistä aktiivisuudeltaan erikokoista gamma-säteilylähdettä (^{137}Cs ja ^{60}Co). Lähteet voidaan tuoda säteilytysasemaan yksi kerrallaan, jolloin laitteesta saadaan ulos poikkileikkaukseltaan pyöreä säteilykeila. Ilmakermanopeudet yhden metrin etäisyydellä ovat 0,7–140 mGy/h (^{137}Cs) ja 6–410 mGy/h (^{60}Co). Lähteen valinnan lisäksi annosnopeutta voidaan säätää muuttamalla säteilytyspisteen etäisyyttä lähteestä – etäisyydet aina 10 m saakka ovat mahdollisia. Sekä Revolver että Gammabeam -säteilytyslaite on asennettu kiskoille, jotta niitä voidaan käyttää eri säteilytyshuoneissa.

Seifert ISOVOLT HS Röntgenlaitetta käytetään sekä röntgendiagnostiikan, säteilysuojelun ja sädehoidon annosmittareiden kalibrointiin. Laite on erityisesti suunniteltu pitkäkestoisiin säteilytyksiin. Seifert ISOVOLT HS korkeajännitegeneraattoriin on kytketty kaksi erillistä röntgenputkea, joiden käyttöjännitteet ovat 5–160 kV ja 5–320 kV, suurin käyttöteho on 3 kW. Röntgenlaitteistosta ulos otettavien fotonien energiajakaumaa säädellään säteilykeilaan laitettavilla suodattimilla, jolloin käyttöön saadaan eri säteilylaatuja. Dosimetrialaboratoriossa on käytössä ISO Narrow, ISO H, BIPM, RQR, RQT, MAM ja DAP -säteilylaadut.

Diagnostista röntgenlaitetta (korkeajännitegeneraattori CPI Indico 100, röntgenputki Comet DI 10 HS 22/52-150) käytetään mm. biologisten näytteiden säteilytyksiin,

STUKin omien säteilymittalaitteiden tarkistuksiin ja röntgenputkien jännitemittalaitteiden kalibrointiin. Laite on asennettu kattotelineeseen, jolloin säteilykeilan voi suunnata melko vapaasti. Laitteen käyttöjännitealue on 40–150 kV ja suurin teho on 50 kW (100 ms kuvausajalla). Pitkillä säteilytysajoilla suurin teho on huomattavasti pienempi. Röntgenputkea voidaan käyttää kahdella eri fokuskoolalla.

5.4 Standardointityö, osaamisen kehittäminen

Standardit ovat yhä useammalla alueella osa säännöstöä. Asetustasoisissa säädöksissä asetetaan vain olennaiset ylempien tason vaatimukset ja tekniset vaatimukset saadaan kyseiseen säädökseen liittyvistä standardeista. Vahvasti tämä näkyy EU:n alueella, jossa vuoden 2010 alusta otettiin käyttöön nk. uusi lähestymistapa kymmenen konventionaalisen direktiivin alueella. Nämä konventionaalisen puolen direktiivit kattavat muun muassa painelaitteet, koneet, nostolaitteet sekä sähkö- ja automaatiolaitteet. Niissä esitetty vaatimustaso muodostaa perustason, jonka päälle asetetaan ydintekniset laitteita koskevat vaatimukset. Joillekin alempiin turvallisuusluokkiin kuuluville laitteille konventionaalisen puolen vaatimukset ovat riittäviä sinällään.

Ydinvoimalaitoksia koskevat vaatimukset ovat harmonisoitumassa ja niiden vaatimustaso on edelleen aiempaa tiukempi. IAEA hyväksyi toukokuussa 2011 uudet vaatimukset ydinvoimalaitoksille. Nämä vaatimukset ovat yhdenmukaiset uusien WENRAn (Western European Nuclear Regulators' Association) asettamien turvallisuustavoitteiden kanssa. Uudet ydinvoimalaitokset edellytetään suunniteltaviksi varautumaan perinteisten suunnitteluperusteisten onnettomuuksien lisäksi niin kutsuttuihin onnettomuuksien laajennuksiin, jotka kattavat muun muassa äärimmäiset sääilmiöt ja muita harvinaisia tapahtumia sekä reaktorin sydämen sulamisen. Nopeita evakuointitoimia ei edellytetä tarvittavan ja pitkäaikaisten ympäristövaikutusten tulee rajoittua laitosalueelle.

Ydinenergian käyttöön liittyvään standardointityöhön on Suomessa osallistuttu matalalla profililla. Perusteena tälle on pidetty sitä, ettei Suomessa ole valmistavaa teollisuutta tai laitetoimittajia. Uuden tyyppinen sitovuus standardeilla konventionaalisisessa teollisuudessa ei enää tue tämän tyyppistä perustetta, koska käytännössä standardit ovat osa säännöstöä.

Ydinlaitosten laitos- ja järjestelmätason vaatimuksia esitetään IAEA:n ohjeistossa ja kansallisessa ydinalan säännöstössä, Suomessa YVL-ohjeissa. Standardointityöhön osallistuminen on vaikuttamista siihen, minkälaisia yksityiskohtaisia vaatimuksia ydinlaitosten järjestelmille, rakenteille ja laitteille asetetaan. Standardointityöllä on ydinteknisin termein myös suuri vaikutusala, koska globaalissa standardointityössä Suomella on yksi ääni, vastaavasti kuin suurilla ydinlaitoksia tuottavilla mailla.

Standardointityö on osaamisen kehittämistä ja työhön osallistuvat pystyvät tehokkaasti ennakoimaan tulevat muutokset.

Alan teknisen kehityksen kannalta on ensiarvoisen tärkeätä, että ryhdytään laatimaan erityyppisiä Best Available Technology (BAT) -raportteja. Nämä raportit antavat katsauksen teknologian nykytilaan ja taustatietoa niin tarkastuslaitosten kuin myös luvanhaltijan ja viranomaisen toimintaan. Itse raporttien laatiminen edistää asiantuntijuutta kyseisen raportin alueella. Vastaava menettely on käytössä useilla konventionaalisen teollisuuden alueilla, joilla edellytetään BAT-teknologian soveltamista.

Suomessa tulisikin organisoida standardointityöhön osallistuminen ja BAT-raporttien valmistelu aikaisempaa laajemmin ydinteknisiin sovellutuksiin. Useaan tuoteryhmään soveltuu esimerkiksi Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistyksen (MetSta) -työryhmien toiminta tai SFS:n vetämät ryhmät, mutta edelleen on tarvetta laajentaa ja systematisoida ydinteknistä standardointityötä.

5.5 Suunnitella oleva kotimainen infrastruktuuri

5.5.1 Ydinturvallisuustalo

Keskeinen osa VTT:n kokeellisesta ydinteknisestä tutkimuksesta sijaitsee Otakaari 3:n kiinteistössä. Tutkimusaihepiirejä ovat aktiivisten rakennemateriaalien karakterisointi ja murtumismekaniikka (Hot Cell eli kuumakammio), radiokemia, ydinjätteen loppusijoitus, dosimetria ja muu ydintekninen koetoiminta, fuusioreaktorien ensiseinäamateriaalitutkimus ja jodisuodatintestaus. Ydinjätetutkimuksen ja fuusion mallintajat ovat myös talossa, minkä lisäksi tutkimusreaktori FIR 1 tukeutuu talon toimintoihin. Tilat on rakennettu 1970-luvulla erityisesti ydintekniikan tarpeisiin, mutta talon yleiskunto, nykytoimintaan huonosti sopivat huoneratkaisut ja yleinen ahtaus ovat johtaneet uusien tilojen selvitykseen. Samalla on tarve uudistaa erityisesti kuumakammio toiminnan laitteistot.

VTT on viime vuosien kuluessa teettänyt selvityksiä toimintojen siirtämisestä muihin tiloihin, kunnes päätettiin perusteellisesti tutkia vaihtoehto uudisrakentamisesta ja tutkimuslaitteistojen ajanmukaistamisesta. Senaatti Kiinteistöt Oy:n tilatarve- ja hankesuunnitelmissa yhteistyössä VTT:n kanssa päädyttiin ensisijaisena vaihtoehtona sijoittamaan sekä yllämainitut kokeelliset tilat, niitä operoiva henkilöstö ja ydinturvallisuuden laskennallista työtä tekevä henkilöstö, yhteensä noin 150 henkilöä, samaan kiinteistöön, joka rakennettaisiin Otaniemeen Kivimiehentielle. Tilojen sijaintia puoltaa synergia VTT:n muuhun tutkimukseen sekä läheisyys Aalto-yliopistoon ja alan muihin toimijoihin.

Tilojen suunnittelussa on kiinnitetty huomiota muunneltavuuteen ja huoltojen toteutettavuuteen. Tiloissa pyritään varautumaan myös uusiin kokeellisiin tutkimustarpeisiin, jotka eivät vielä ole tiedossa. Tilojen koko päävaihtoehdossa on noin 4500 m^2 ja bruttoalaltaan noin 8400 m^2 . Tilojen kustannukset vuoden 2010 kustannustasolla ovat noin 25 miljoonaa euroa, minkä lisäksi uudistettavan kuumakammion

varustelu vaatii noin 8–10 miljoonaa euroa. Kokeellisten tilojen normaalia korkeamat kustannukset johtuvat säteilyturvallisuuden vaatimuksista. Tilat pyritään suunnittelemaan kymmenien vuosien käyttöön, mikä vastaa Suomen tiedossa olevan ydinvoimaohjelman kestoa.

Uuden infrastruktuurin rakentamisaika tilojen osalta on noin neljä vuotta rakentamispäätöksestä. Kuumakammioihin tuleva varustelu, itse kammiot, manipulaattorit ja tutkimuslaitteet, on tarkoitus hankkia pääosin ennakoidusti niin, että toiminta vanhoista tiloista voidaan siirtää ilman merkittävää keskeytystä. Muiden kokeellisten toimintojen laitteistot pyritään siirtämään pääosin sellaisinaan nykyisistä tiloista.

Tutkimusinfrastruktuurin uudistus johtaa myös merkittävään uuden henkilökunnan rekrytointiin ja koulutustarpeeseen. VTT panostaa tähän aihepiiriin jo nyt merkittävästi ja lisääntyvästi hankkeen edetessä. Tarkoitus on palvella erityisesti alan keskeisiä kotimaisia toimijoita, mutta myös kansainvälistä toimintaa pyritään kasvattamaan markkinatilanteen mukaan.

Alan toimijoiden välisissä keskusteluissa on työ- ja elinkeinoministeriön ohjauksessa päädytty lisäkustannusten kattamiseen käyttäen pääosin valtion ydinjätehuoltorahaston tutkimukseen suunnattua osiota, jota joudutaan tilapäisesti kasvatamaan ydinenergialain muutoksin. Merkittävä osa kustannusnoususta jää kuitenkin VTT:n hoidettavaksi tutkimustoimintaa tehostamalla ja kasvattamalla. Hankkeen teknis-tieteellinen ohjaus on kytketty reaktoriturvallisuuden tutkimusohjelmaan (SAFIR2014).

VTT on tätä raporttia kirjoitettaessa tehnyt Ydinturvallisuustalon alustavan rakentamispäätöksen.

5.5.2 LUT

Lappeenrannan teknillisen yliopiston ydinvoimalaitosten kokeellisen lämpö- ja virtaustekniikan tutkimukseen valmistui uudet laboratoriotilat, jotka mahdollistavat uusien, myös pystysuunnassa paljon tilaa vievien koelaitteiston rakentamisen. Käytössä on edelleenkin aiempi laboratoriotila, jonka PACTEL, PWR-PACTEL ja PPOO-LEX -koelaitteistot käytännössä täyttävät kokonaan.

LUT:n kokeellisia tutkimusvalmiuksia ollaan parantamassa mm. PIV-laitteiston ja ajanmukaisen suurnopeuskameran hankinnoilla. Myös muuta mittausräjäntämentointia on täydennetty silmällä pitäen erityisesti välineiden joustavaa käyttöä eri tutkimuslaitteistoissa. Näiden laitetäydennysten tekemisen on mahdollistanut Suomen Akatemian ja SAFIR2014 tutkimusohjelman infrastruktuurirahoitus. Myös tulevana vuosina tutkimusvälineitä tullaan monipuolistamaan ja ajanmukaistamaan tavoitteena korkealuokkainen mittausdata muun muassa CFD-ohjelmistojen mallien kehittämiseen erityisesti ydinvoimalaitossovelluksiin.

LUT:lla on myös osaaminen erilliskoelaitteistojen tarvittaessa nopeaankin kehittämiseen ja valmistamiseen, mitä ovat hyödyntäneet viranomaiset, voimalaitokset ja voimalaitostoimittajat kehityshankkeissaan ja turvallisuustarkasteluissaan.

Kuva 5.17. Lappeenrannan teknillisen yliopiston uusi ydinvoimalaitosten kokeellisen lämpö- ja virtaustekniikan tutkimuslaboratorio. (Kuva: Timo Mikkola)



5.6 Käytettävissä oleva ulkomainen infrastruktuuri

Reaktoriturvallisuuksiinsa Suomessa on paljon kytkentöjä kansainvälisiin tutkimushankkeisiin ja -laitteistoihin. Näistä voidaan mainita esimerkiksi OECD:n Haldenin tutkimusreaktoriasema, jossa on mahdollisuus osallistua kansainvälisiin polttoaine- ja reaktorimateriaalitutkimuksiin että ihminen-tekniikka-organisaatiotutkimuksiin. Studsvikin polttoainekuumaammiovalmiuksia hyödynnetään suojakuoritutkimusohjelmassa SCIP. OECD/NEAn lukuisat kokeelliset tutkimusprojektit hyödyntävät tutkimuslaitteistoja maailmanlaajuisesti.

CEA:lla Cadarachessa on neljä laitteistoa, joilla tutkitaan vakavien onnettomuuksien ilmiöitä oikeilla reaktorimateriaaleilla. VULCANO-laitteistolla pystytään sulattamaan jopa 100 kg coriumia ja tutkimaan esimerkiksi sydänsulan vuorovaikutusta betonin kanssa tai leviämistä sydänsiepparissa. KROTOS-laitteistolla tehdään höyryräjähdykskokeita. COLIMA (muutama kg) ja VITI (max. 0,1 kg) on rakennettu sulien aineiden fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien sekä aerosolien mittaamiseen. Cadarachen laitteistot ovat myös suomalaisten käytettävissä. VTT on tehnyt VULCANO-laitteistolla yhden EU- ja SAFIR-rahoitteisen kokeen sydänsulan vuorovaikutuksesta EPR:n betonin kanssa. CEA on jatkossa entistä merkittävämpi yhteistyökumppani Cadaracheen valmistuvan Jules Horowitz -materiaalitutkimusreaktorin (JHR) ansiosta.

Jules Horowitz materiaalien tutkimusreaktori (JHR)

Suomi osallistuu VTT:n johdolla uuden eurooppalaisen materiaalien tutkimiseen tarkoitetun ydinreaktorin, Jules Horowitz -reaktorin, suunnitteluun ja toteutukseen. JHR:n on tarkoitus korvata vanhentuneita tutkimusreaktoreita sekä luoda tutkimusvalmiuksia tulevaisuuden reaktoriteknologioille. JHR rakennetaan Cadaracheen, Ranskaan vuosina 2008–2015. Reaktorin teho on 100 MW. Reaktorin rakennuttaa ranskalainen tutkimusorganisaatio CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives). VTT on osana kansainvälistä konsortiota tuottamassa tutkimuslaitteita reaktoriin ns. in-kind hankkeessa. Konsortion muut tutkimusosapuolet ovat CIEMAT (Espanja), SCK (Belgia), NRI (Tsekki), DAE (Intia) ja JAEA (Japani). Lisäksi hankkeeseen osallistuvat EDF ja AREVA Ranskasta, Vattenfall Ruotsista sekä Euroopan komissio.

Suomen in-kind projekti toteutetaan Tekes-projektina, jossa rahoittajina toimivat Tekesin ja VTT:n lisäksi Teollisuuden Voima, Fortum, Fennovoima ja Posiva. Lisäksi projektiin osallistuvat Oxford Instruments Analytical laitteistosuunnittelun ja VTT:n alihankinnan kautta sekä Säteilyturvakeskus ja työ- ja elinkeinoministeriö asiantuntijaorganisaatioina.

VTT toimittaa mittalaitteita reaktoriin 10 M€:n arvosta vuoden 2005 valuutassa. VTT:n ja CEA:n yhteistyönä on sovittu suunniteltavaksi ja toimitettavaksi kolme mittalaitetekonaisuutta:

- 1 Vedenalaiset gammaspektrometria- ja röntgenradiografiamittauslaitteet sekä reaktorialtaaseen että käytetyn polttoaineen varastoaltaalle. Nämä mittaukset ovat JHR:n keskeisimpiä mittauksia, joilla hankitaan tietoa erilaisten polttoainesten palamista ja radioaktiivisuuksista. Mittausten avulla selvitetään miten polttoaine käyttäytyy tietynlaisessa konstruktiossa, joka voi olla esim. tulevaisuuden reaktoreihin ajateltu, tai millaisia radioaktiivia hajoamistuotteita polttoaineessa syntyy.
- 2 Gammaspektrometria- ja röntgenradiografiamittauslaitteet kuumakammioihin. Kuumakammioissa eli hot cell:ssa tehdään vastaavia mittauksia kuin reaktorialtaassakin, mutta hot cell:ssa voidaan tutkia yksittäisiä polttoainesauvoja polttoainenipun sijasta.
- 3 Mekaaninen aineenkoestuslaitteisto materiaalien ominaisuuksien tutkimiseksi reaktorin sydämessä. Servopneumaattisesti ohjatulla aineenkoestuslaitteistolla voidaan tutkia materiaalien mekaanisia ominaisuuksia reaktorin sydämessä säteilyn alaisissa olosuhteissa. Näin saadaan selville miten säteily vaikuttaa materiaalin kestävyYTEEN, mikä taas on keskeinen tieto reaktoreita tai niiden komponentteja suunniteltaessa ja ikääntymistä arvioitaessa.

Toimitettavat laitteistot suunnitellaan VTT:n, CEA:n ja molempien organisaatioiden valitsemien alihankkijoiden yhteistyönä. Vuosina 2008–2011 toteutettiin in kind projektin ensimmäinen ns. feasibility -vaihe, jossa in kind toimituksen tarkempi tekninen sisältö sovittiin ja tehtiin ns. esisuunnittelu. Vuosina 2011–2013 toteutetaan projektin seuraava eli design -vaihe, jolloin lopulliset tekniset suunnitelmat laitteistoille tehdään. Vuosina 2013–2015 laitteistot valmistetaan, testataan toimitetaan ja asennetaan reaktoriin.

Suuri osa suunnittelu- ja valmistustyöstä kilpailutetaan kansainvälisessä kilpailussa. Tavoitteena on saada in-kindiin mahdollisuuksien mukaan suomalaisia toimittajia, mutta projektissa noudatettavat ranskalaiset ydinturvallisuussäädökset saattavat vaikuttaa kilpailuhaluukkuuteen.

Suomi saa tämän osallistumisen kautta 2%:n käyttöoikeuden reaktorin tutkimuskapasiteettiin ja pääsyn konsortion tutkimusohjelmiin. Osallistuminen tällaiseen hankkeeseen parantaa suomalaisen ydinvoimateknologian kilpailukykyä ja antaa suomalaisille toimijoille tietoa, jota muuten ei olisi saatavissa.

Polttoainetutkimus edellyttää sekä siihen soveltuvaa koereaktorivalmiutta että polttoaineiden tutkimukseen soveltuvia kuumakammioita. Suomelle lähin koereaktori sijaitsee Norjassa Haldenissa (www.ife.no/hrp), jonka yhteydessä ei kuitenkaan ole kuumakammioita vaan tutkittavat polttoainesauvat kuljetetaan esimerkiksi Studsvikissa olevaan kuumakammio-tilaan (www.studsvik.se) tai muualla sijaitseviin vastaaviin tutkimuslaboratorioihin. Polttoaineiden tutkimus edellyttää sekä kuumakammio-tilojen suojaukselta että analyysilaitteilta erityisvalmiuksia ja osaamista, joita ei ole suunniteltu rakennettavan Suomeen niiden erittäin korkean hinnan ja suhteellisen pienen kotimaisen tarpeen takia. Verkostoituminen kansainvälisten tutkimuslaitosten kanssa on hyvä ratkaisu ja mahdollista myös siksi, että

polttoainenäytteiden tutkimus voidaan tehdä suunnitelmallisesti, lisäksi näytteiden kuljetuskysymykset on pystytty ratkaisemaan. Myös esimerkiksi Ranskassa, Saksassa ja Sveitsissä on varsin hyvät tutkimusvalmiudet polttoaineille. Polttoainetutkimuksen kustannukset ovat korkeita, joten tutkimusta varten kootaan useimmiten laajempi konsortio, jossa myös polttoainevalmistajat ovat mukana.

5.7 Suositukset

Kansallinen ydinenergian käyttöön liittyvä tutkimustoiminta ja siihen liittyvä osaaaminen on oleellinen perusta turvalliselle ydinenergian käytölle.

Kansallisten valmiuksien kehittäminen ja niiden riittävän laaja-alainen käyttö edellyttää pitkän tähtäimen suunnittelua ja sitoutumista sekä riittävää alan tuntemusta ja kansainvälistä yhteistyötä. Valmiuksien kehityksessä kansallinen koordinaatio parantaa monipuolisen käytön mahdollisuuksia.

Tutkimusohjelmat ja laajat tutkimushankkeet, joihin eri toimijat osallistuvat tukevat koordinaatiota ja luovat luontevat puitteet kehitykselle.

Ikääntyvän tutkimusinfrastruktuurin uudistaminen vaatii merkittävää kansallista panostamista. Kriittisimmässä tilanteessa ovat VTT:n kokeellisen ydinteknisen tutkimuksen tilat ja laitteistot, joissa toiminnan jatkaminen vaatii välittömiä toimia.

Kokeellisen tutkimuksen infrastruktuuriin edelleen panostamalla voidaan varmistaa reagoiminen nopealla aikataululla mahdollisiin ongelmatilanteisiin. Oma tutkimus täydentää kansainvälisesti saatavilla olevia tutkimustuloksia ja mahdollistaa myös oman panoksen turvallisuusjärjestelmien toiminnan varmistamisessa ja kehittämisessä.

Kansainvälinen yhteistyö edellyttää riittäviä resursseja sekä riittävää tutkimus-orientoitumista. Kansainvälinen yhteistyö on kuitenkin tutkimuksen kannalta elintärkeää, sillä sen avulla voidaan laajentaa osaamista, koevalmiuksia ja saada merkittäviä tutkimustuloksia käyttöön. Kansainvälisellä yhteistyöllä pidetään myös huoli oman osaamisen tason riittävydestä ja saadaan tietoa uusista mahdollisuuksista sekä tutkimustarpeista.

Tutkimusvalmiudet ja osaaminen muodostavat perustan myös kansallisesti tarvittaville tutkimuspalveluille ydinvoimalaitosten käytön, modernisointien ja uusien laitosten rakentamisen tarpeisiin ja lisensointiin. Tutkimusvalmiuksien kehityksessä olisi siten otettava huomioon kansalliset piirteet ja vaatimukset riittävässä määrin huomioon.

6 Suomen osallistuminen kansainväliseen tutkimustyöhön

6.1 Osallistumisen päämäärät ja laajuus

Suomi osallistuu kansainväliseen tutkimustyöhön varsin laajalla rintamalla. Pie-nessä maassa kaikkea tutkimusta ei voida eikä ole tarkoituksenmukaistakaan tehdä itse. Ydinturvallisuustutkimukseen kuuluu suuria koelaitteistoja, joita minkään yksittäisen valtion ei olisi järkevää rakentaa yksin ja laitteistoja, jotka ovat jonkun suuren valtion omistuksessa, mutta joita käytetään laajoihin kansainvälisiin koe-ohjelmiin ja joita jonkun yksittäisen tyypillisesti pienen jäsenmaan on mahdollista käyttää omiin kokeisiinsa (ns. transnational access).

Osallistuminen kansainväliseen tutkimustyöhön ja tutkimusverkostoihin tarjoaa suomalaisille ydinenergia-alan toimijoille tehokkaan mahdollisuuden päästä osaksi pohjoismaista, eurooppalaista ja kansainvälistä tutkimus- ja koulutusyhteisöä sekä saada pääsyn uusimpaan tutkimustietoon sekä tutkimusinfrastruktuureihin.

Suomalaiset ovat arvostettuja yhteistyökumppaneita ao. verkostoissa. Tutkimuk- sen vaatimat taloudelliset ja henkilöresurssit ovat niin suuria, että yksin toimimalla haluttuja tuloksia ei saataisi tai ei ainakaan nykyisessä aikataulussa. Kansainväli- sen tutkimuksen arvo on tunnustettu ja suomalaiset toimivat merkittävinä toimi- joina myös uusissa eurooppalaisissa tutkimus- ja teknologiayhteisöissä SNE-TP:ssä (ydinenergia), IGD-TP:ssä (ydinjätehuolto) ja säteilysuojelun teknologia- ja tutkimus- yhteisöissä EURADOS, MELODI, NERIS ja Radioecology Alliance kattaen koko ydin- energia-alan eri osa-alueet.

Suomen osallistumisessa kansainväliseen tutkimustyöhön ydinturvallisuuden alueella OECD/NEA:n ja EU:n Euratom -hankkeilla on ylivoimaisesti suurin merki- tys ja volyymi.

Pohjoismaiset NKS-hankkeet ovat volyymiltään pieniä verrattuina niin edellä mai- nittuihin kansainvälisiin hankkeisiin kuin myös kansallisten ohjelmien tyypilli- siin hankkeisiin.

IAEA-yhteistyössä pääpaino on osallistumisessa erilaisiin työryhmiin ja komitea- työskentelyyn. Myös OECD/NEA:ssa on runsaasti erilaisia komiteoita ja työryhmiä.

Teknologia- ja tutkimusyhteisöiden merkitys kansainvälisessä tutkimusyhteis- työssä on voimakkaassa kasvussa ja niiden myötä kansainvälisen ydinalan yhteis- työn volyymien odotetaan nousevan aivan eri tasolle kuin nykyisen EU Euratomin fis- sioohjelman noin 50 miljoonan euron vuosibudjetti.

Yliopistoilla ja tutkimuslaitoksilla on myös kahdenvälisiä yhteistyösopimuksia, joista tässä on mainittu esimerkkeinä muutamia sellaisia, joiden olemassaolo on jul- kinen tieto. On huomattava, että suuri osa erityisesti yritysten kahdenvälisistä sopi- muksista on luottamuksellisia eikä niitä käsitellä tässä yhteydessä.

Erilaisia työryhmiä ja komiteoita on runsaasti kaikkien yhteistyötahojen hankkeissa. Näitä ei käsitellä yksityiskohtaisesti seuraavassa. SAFIR2010-ohjelman vuosisiraporteissa ylläpidetyllä reaktoriturvallisuuden kansainvälisten yhteyksien listalla tunnistettiin 22 OECD/NEA:n komiteaa ja työryhmää varsinaisten hankkeiden lisäksi, kolme Generation IV International Forumin työryhmää, viisi IAEA:n komiteaa tai työryhmää, 16 EU:n ja Euratomin komiteaa tai työryhmää, sekä luokkaa 70 muuta komiteaa, työryhmää tai muuta kansainvälistä yhteyttä.

6.2 OECD/NEA-hankkeet

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) on teollisuusmaiden hallitusten välinen järjestö, jonka alaisena toimii ydinennergia-asioihin erikoistunut yksikkö Nuclear Energy Agency (NEA). Yksikköön kuuluu 30 jäsenmaata ja se sijaitsee Pariisissa, Ranskassa.

Taulukossa 6.1 on esitetty merkittävimmät OECD/NEA-tutkimushankkeet, joissa jokin suomalainen organisaatio on tällä hetkellä mukana. Ydinjätehuollon alueella on menossa yksi hanke ja säteilysuojelun alueelle niin ikään yksi hanke. Suurin osa taulukon 6.1 hankkeista liittyy ydinturvallisuuteen. VTT on niissä mukana virallisena sopijaosapuolena, joka raportoi muille kotimaisille tahoille. Suurin osa hankkeista on TEM:n osallistumisvaltuutuksessa kiinnitetty johonkin SAFIR2014-ohjelman tutkimushankkeeseen, jossa pelkän seurannan lisäksi osallistutaan myös esimerkiksi benchmark-laskuihin ja raportointi muille kotimaisille osapuolille tapahtuu tutkimusohjelman kautta. Näiden hankkeiden osallistumismaksut tulevat joko suoraan TEM:ltä, VYR-rahoituksesta tai muusta voimayhtiöiden rahoituksesta ja VTT osallistuu seurannan rahoitukseen. Tyypillisessä OECD/NEA-hankkeessa tehdään kokeita massiivisella koelaitteistolla ja osallistujat käyttävät koetuloksia omien laskeutamenetelmiensä kehitykseen ja varmentamiseen.

Taulukko 6.1. OECD/NEA-hankkeet

Alue	Lyhytnimi	Aihe	Suomalaiset osallistujaorganisaatiot	Raportoidaan SAFIR2014-ohjelmassa
Säteilysuojelu	WPMM PRD	Säteilyvauriot	VTT	Ei
Ydinjäte	Sorption-project III	Radionukliensorptio kallioperässä	Posiva/HYRL	Ei
Ydinturvallisuus	BIP-2	Fissiotuotteiden käyttäytyminen	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	Halden (useita hankkeita)	Polttoaine, materiaalit, valvomo ja inhimilliset tekijät	VTT, voimayhtiöt	Kyllä
Ydinturvallisuus	IAGE	Betonirakenteiden ikääntyminen	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	IRIS Benchmark	Rakennustekninen turvallisuus	VTT	Osin
Ydinturvallisuus	PKL-2	Termohydrauliikka	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	PRISME	Paloturvallisuus	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	ROSA-2	Termohydrauliikka	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	SCIP-II	Polttoaineen suojakuori	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	SERENA-2	Vakavat onnettomuudet	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	SETH-2	Vakavat onnettomuudet/ vedyn hallinta	VTT	Kyllä
Ydinturvallisuus	THAI-2	Vakavat onnettomuudet (hanke ei vielä käynnistynyt)	VTT	Kyllä

OECD/NEA:n piirissä toimii myös useita tietokantahankkeita, joissa myös suomalaiset osapuolet ovat mukana. Nämä on koottu taulukkoon 6.2. Hankkeissa kerätään tietoa erilaisista voimalaitostapahtumista ja komponenttivaurioista. Koottava tieto on tyypillisesti luottamuksellista. Useimmissa hankkeissa virallinen suomalainen sopijapuoli on STUK. Tietokannoista tietoa saavat myös niihin omia tietojaan toimittavat voimayhtiöt. Tutkimuslaitosten pääsy tietoon määritellään pääsääntöisesti tapauskohtaisesti.

Taulukko 6.2. OECD/NEA-tietokannat

	Lyhytnimi	Aihe	Suomalaiset osallistujat	Raportoidaan SAFIR2014-ohjelmassa
Ydinjätehuolto	TDB	Termokemiallinen tietokanta	Posiva	Ei
Ydinturvallisuus	COMPSIS	Käyttökokemukset turvallisuudelle tärkeistä tietokonepohjaisista järjestelmistä	STUK, voimayhtiöt	Osin
Ydinturvallisuus	FIRE	Paloturvallisuus	STUK	Osin
Ydinturvallisuus	ICDE	Yhteisviat	STUK, voimayhtiöt	Osin
Ydinturvallisuus	ISOE	Informaatiojärjestelmät ja säteilyannokset	STUK	Osin
Ydinturvallisuus	OPDE	Putkistovauriot	STUK/VTT, voimayhtiöt	Osin
Ydinturvallisuus	SCAP	Jännityskorroosio ja kaapeleiden ikääntyminen	STUK, voimayhtiöt	Osin
Ydinturvallisuus	EXFOR	Neutronien ja varattujen partikkelien reaktiot	VTT	Ei
Ydinturvallisuus	NEA Data Bank	NEA:n tietokoneohjelmistot	VTT	Osin
Ydinturvallisuus	ICSBEP	NEA:n kriittisyysturvallisuustietokanta	VTT	Osin

OECD/NEA:n piirissä toimii myös useita komiteoita, joilla saattaa olla alaisuudessaan useampiakin työryhmiä. Taulukossa 6.3 on lueteltu keskeisimmät komiteat, joissa on suomalaisedustus.

Ydinjätehuollon alueella OECD/NEA:ssa toimii erilaisia yhteistyöryhmiä Radioactive Waste Management Committee (RWMC) alaisuudessa. Tärkeimmät näistä ovat sidosryhmäluottamuksen rakentamiseen tähtäävä Forum on Stakeholder Confidence (FSC), turvallisuusperustelutyöryhmä Integration Group for Safety Case (IGSC) sekä käytöstäpoistotyöryhmä Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD). Ydinturvallisuuden osalta CNRA:lla, CSNI:llä, NDC:llä ja NSC:llä on lukuisia työryhmiä. OECD/NEA:n ryhmiin osallistuvat Suomesta TEM, STUK, VTT, Posiva, Fortum ja TVO.

Taulukko 6.3. Keskeiset OECD/NEA:n komiteat, joissa suomalaiset ovat mukana.

Alue	Lyhytnimi	Aihe	Suomalaiset osallistujat	Työryhmien lukumäärä
Ydinturvallisuus	SC	NEA Steering Committee	TEM	0
Ydinjätehuolto	WPDD	RWM Working Party on Decommissioning and Dismantling	TVO, Fortum, STUK	0
Ydinjätehuolto	RWMC	Radioactive Waste Management Committee	TEM, STUK, VTT, Posiva	3
Ydinturvallisuus	CNRA	Committee on Nuclear Regulatory Activities	STUK	4
Ydinturvallisuus	CSNI	Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI)	STUK, VTT	8
Ydinturvallisuus/ Säteilynsuojelu	CRPPH	Committee on Radiation Protection and Public Health	STUK	0
Ydinenergia	NDC	Nuclear Development Committee	TEM, STUK, Fortum, GTK	4
Ydinturvallisuus	NSC	Nuclear Science Committee	STUK, VTT	5
Ydinturvallisuus/ Säteilynsuojelu	ISOE	Information System on Occupational Exposure	STUK	0

Lisäksi OECD/NEA voi käynnistää uusia erillishankkeita tietyistä osa-alueista kuten erilaisista teknisistä tietokannoista, järjestää tietokoneohjelmistojen kelpoistusta palvelevia ns. benchmark-hankkeita sekä kutsua koolle eri alueiden tiedonvaihtoja kehitystyöryhmiä, joiden tulokset julkaistaan OECD:n julkaisuina (www.nea.fr).

6.3 EU Euratom-hankkeet

Suomalaisten osallistuminen EU:n fuusiotutkimukseen on kuvattu luvussa 4.1.3. Suomalaisten osallistumisella Euratomin hankkeisiin on pitkät perinteet jo 4. puiteohjelmasta lähtien.

Paraikaa suomalaiset organisaatiot osallistuvat 36 meneillään tai neuvotteluvaiheessa olevaan 7. puiteohjelman Euratom fissio-hankkeeseen.

Hankkeet jakautuvat seuraavasti:

Osa-alue	Hankelukumäärä	Osallistuja-organisaatiot
Säteilynsuojelu	9	STUK
Ydinjätehuolto	10	Posiva, VTT, HYRL
Ydinturvallisuus	15	VTT, LUT, JY, HY, Aalto
Muu ydinenergiaan liittyvä	2	HYRL, JYFL

Osaamistyöryhmän kyselyssä tunnistetut EU:n Euratom-hankkeet on lueteltu taulukossa 6.4. Fissiopuolen Euratom-budjetti on vain luokkaa 50 miljoonaa euroa katuen ydinjätetutkimuksen, säteilynsuojelun, ja sekä nykyisten että uuden sukupolven

GenIV reaktoreiden turvallisuuskysymykset. Hankkeet ovat täten tyypillisesti partnereiden määrään suhteutettuna varsin pieniä erityisesti nykyisten laitosten turvallisuuden osalta.

Hankkeiden aikatauluja on myös kokemuksen mukaan ollut vaikea ennustaa ja sopeuttaminen muihin aikatauluihin ja vaatimuksiin, etenkin VYR-rahoitusehtoihin, on koettu hankalaksi ja hankkeet on tästä syystä pääsääntöisesti pidetty hallinnollisesti erillään kansallisista tutkimusohjelmista. Hankkeiden luottamuksellisuusehdot ja erillisuus kotimaisista tiedotusfoorumeista on aikaan saanut sen, että tietämys näissä tehtävästä työstä ja saavutetuista tuloksista on jäänyt suppeampaan piiriin kuin esimerkiksi OECD/NEA-hankkeissa. Euratom-hankkeiden kansallisen tukiryhmän kautta hallinnollinen tieto menossa olevasta kokonaisuudesta on välittynyt jossain määrin, mutta ei tieto hankkeiden substanssista.

Taulukko 6.4. EU Euratom fissiohankkeet, joissa suomalaiset ovat mukana.

Alue	Lyhytnimi	Aihe	Suomalaiset osallistujat	Koordinaattori
Muu ydinenergia	ANDES	Ydinenergiaan liittyvien ytimien ominaisuuksien tutkiminen	JY	CIEMAT, ESP
Säteilysuojelu	DETECT	Säteilyn valvonnan optimointi	STUK	SCK-CEN, BE
Säteilysuojelu	DoReMi	Säteilyn terveyshaitat	STUK	STUK, FI
Säteilysuojelu	EPI-CT	Säteilyn terveyshaitat	STUK	CIDRC, FR
Säteilysuojelu	EpiRadBio	Säteilyn terveyshaitat	STUK	HMGU, DE
Säteilysuojelu	NERIS-TP	Säteilyuhkiin ja onnettomuuksiin varautuminen	STUK	KIT, DE
Säteilysuojelu	NOTE	Säteilyn terveyshaitat/ionisoivan säteilyn vaikutukset	STUK	STUK, FI
Säteilysuojelu	STAR	Radioekologian verkosto	STUK	IRSN, FR
Säteilysuojelu	CARDIORISK	Säteilyn terveyshaitat	STUK	TUM, DE
Säteilysuojelu	RENEB	Biodosimetrian eurooppalainen verkosto	STUK	BfS, DE
Ydinjätehuolto	BELBaR	Bentoniitin eroosio	Posiva, VTT	SKB, SE
Ydinjätehuolto	CROCK	Kiteisen kalliooperan pidätysprosessit	Posiva, VTT	KIT, DE
Ydinjätehuolto	First-Nuclide	Polttoainetutkimus	Posiva, TVO	KIT, DE
Ydinjätehuolto	FORGE	Kaasun kulkeutuminen loppusijoitusolosuhteissa	Posiva	BGS, UK
Ydinjätehuolto	LUCOEX	Suuren mittakaavan maanalaiset demonstraatiot	Posiva	SKB, SE
Ydinjätehuolto	MoDeRn	Loppusijoitustilan monitorointi	Posiva	ANDRA, FR
Ydinjätehuolto	PETRUS II (EFTS)	Geologisen loppusijoituksen koulutushanke	Posiva, Aalto	INPL, FR
Ydinjätehuolto	ReCosy	Redoxreaktioiden vaikutus radionuklidien kulkeutumiseen	Posiva, HYRL	KIT, DE
Ydinjätehuolto	REDUPP	Polttoaineen liukeneminen loppusijoitusolosuhteissa	Posiva, VTT	SKB, SE

Ydinjätehuolto	SecIGD	IGD- TP sihteeristö	Posiva	Posiva, FI
Ydinturvallisuus	ASAMP5A2	Edistyneet turvallisuuden arviointi- netelmät, PSA	VTT	IRSN, FR
Ydinturvallisuus	ERINDA	Ydindatan EU -infrastrukturiverkosto	JY	Dresden, DE
Ydinturvallisuus	HARMONICS	Ohjelmiston luotettavuus	VTT	VTT, FI
Ydinturvallisuus	HPMC	Monte-Carlo reaktorianalyysi	VTT	DNC, NL
Ydinturvallisuus	GETMAT	GenIV ja transmutaatiomateriaalit	VTT	MPI, DE
Ydinturvallisuus	MATTER	Materiaalien testaus	VTT	ENEA, IT
Ydinturvallisuus	MULTIMETAL	Monimetallikomponentit	VTT	Areva, FR
Ydinturvallisuus	LONGLIFE	Paineastian säteilyhaurastuminen	VTT	KIT, DE
Ydinturvallisuus	PERFORM60	Säteilyn vaikutusten arviointi paineastia ym. materiaaleihin monimittakaavamallinnuksella	VTT	EdF, FR
Ydinturvallisuus	NULIFE	Ydinvoimalaitoksen iän ennustaminen	VTT	VTT, FI
Ydinturvallisuus	NURISP	YVL Simulointiohjelmisto	LUT, VTT	CEA, FR
Ydinturvallisuus	SARNET-2	Vakavien onnettomuuksien verkosto	VTT	IRSN, FR
Ydinturvallisuus	SCWR	SCWR polttoaineen kelpoistus	VTT	CVR, CZ
Ydinturvallisuus	STYLE	Ikääntymisen hallinta, muut kuin paineastiakomponentit	VTT	Areva, FR
Ydinturvallisuus	THINS	Innovatiivisten reaktorien termohydrauliikka	LUT	KIT, DE
Koulutus	CINCH	Ydin- ja radiokemian koulutuksen kartoittaminen ja suunnittelu	HYRL	CTU, CZ CUT, SE MSU, RU ENSCP, FR NRI, CZ NNL, UK
Koulutus	ENEN-III	Eurooppalainen koulutusverkosto	LUT, Aalto	CEA/INST (ENEN Associa- tion), FR

Säteilysuojelun osalta pääpaino hankkeissa on säteilyn terveyshaitoissa. Säteilyn valvonta ja säteilyuhkiin ja onnettomuuksiin varautuminen kuuluvat myös tutkimuskohteisiin.

Ydinjätehuollon hankkeissa tutkimuskohteina ovat käytetty polttoaine, loppusijoitusolosuhteet, tekniset vapautumisesteet ja niiden luonnonanalogiatutkimukset, monitorointi ja erilaiset suuren mittakaavan demonstraatiohankkeet. Lisäksi ydinjätehuollon puolella EU:n puiteohjelman osarahoituksella rakennetaan geologisen loppusijoituksen koulutusverkostoa PETRUSTa (ks. luku 3.5) sekä geologisen loppusijoituksen teknologiayhteisöä IGD-TP:tä.

Ydinturvallisuuden osalta hankkeet kattavat koko ydinturvallisuuden kentän. Suomalaisten osallistumisen pääpaino on kuitenkin selkeästi materiaalitutkimushankkeissa.

6.4 Muut EU-hankkeet

Muiksi EU:n fissiopoolen ydinenergiahankkeiksi tunnistettiin taulukossa 6.5 luetellut hankkeet. Näissä tyypillisesti kyse on koulutuksesta tai vakavien onnettomuuksien kokonaisuuksista.

Taulukko 6.5. Muita Euratomin fissiohankkeita, joissa suomalaiset ovat mukana.

Alue	Lyhytnimi	Aihe	Suomalaiset osallistujat	Koordinaattori
Säteilysuojelu	MULTIBIO-DOSE	Biologinen dosimetria	STUK	SU
Säteilysuojelu	CEEPRA	Säteilyuhkiin ja onnettomuuksiin varautuminen	STUK	STUK, FI
Säteilysuojelu	Metrometal	Metrologia	STUK	CIEMAT, ESP
Ydinjätehuolto	Posinam/ Marie Curie IAPP	Kivien huokoisuusmäärittämenetelmien kehitys	HYRL	ERM, FR HYDRASA, FR BRGM, FR STUK, FI
Ydinturvallisuus	Phebus FP	Vakavat onnettomuudet	VTT	CEA, FR
Ydinturvallisuus	ISTP	International Source Term Program/ Vakavat onnettomuudet	VTT	IRSN/CEA, FR
Muu: Ydinfysiikan tutkimus	ENSAR	FP7/Integrating activity	JY	GANIL

6.5 NKS-hankkeet

Osaamisryhmän kyselyssä tunnistettiin taulukossa 6.6 luetellut tutkimushankkeet. Tyypillisesti nämä hankkeet ovat varsin pieniä, ja esimerkiksi reaktoriturvallisuuden alueella ne ovat usein osana suurempaa kansallista SAFIR2014-ohjelman hanketta.

Taulukko 6.6. Esimerkkejä NKS-hankkeista, joissa suomalaiset ovat mukana.

Alue	Lyhytnimi	Aihe	Suomalaiset osallistujat	Koordinaattori
Säteilysuojelu	BIONCA	Biologinen dosimetria	STUK	STUK
Säteilysuojelu	PIANOLIB	Dosimetria	STUK	SSM, S
Ydinjätehuolto	Radwaste	Analyttisten menetelmien kehittäminen radionuklidien määrittämiseksi ydinjätteistä	HYRL	DTU, DK
Ydinturvallisuus	ENPOOL	Termohydrauliikka	LUT, VTT	NORTHNET
Ydinturvallisuus	MOREMO, SADE	Turvallisuuskulttuuri	VTT	
Ydinturvallisuus	AIAS	Jodin käyttäytyminen	VTT	Chalmers University of Technology

STUK on mukana säteilysuojeluhankkeissa. HYRL on mukana NKS:n Radwaste II projektissa, joka on jatkoa vuonna 2009 alkaneelle projektille. Siinä kehitetään menetelmiä vaikeasti määritettävien radionuklidien analysoimiseksi ydinjätteistä. VTT:n hankkeet kuuluvat 'perinteisen NKS-yhteistyön' alueille turvallisuuskulttuuriin, termohydrauliikkaan ja vakaviin onnettomuuksiin.

6.6 IAEA-hankkeet

Osaamistyöryhmän kyselyssä ei tunnistettu varsinaisia IAEA:n tutkimushankkeita, vaan IAEA-työn pääpaino oli osallistumisessa erilaisiin komiteoihin ja työryhmiin.

Taulukko 6.7. Keskeiset IAEA-työryhmät.

Alue	Lyhytnimi	Aihe	Suomalaiset osallistujat	Koordinaattori
Ydinturvallisuus	INSAG	Korkean tason turvallisuustavoitteet	STUK	IAEA
Ydinturvallisuusvalvonta	RCF	Ydinlaitosten viranomaisvalvonta	STUK	IAEA
Ydinturvallisuus	NERS	Pienten maiden yhteistyöelin	STUK	IAEA
Ydinturvallisuussäännöstö	CCS	Turvallisuusstandardit	STUK	IAEA
Ydinvoimalaitosten turvallisuus	NUSSC	Turvallisuusstandardit	STUK	IAEA
Ydinjätteiden ja ydinmateriaalin valvonta	WASSC	Turvallisuusstandardit	STUK	IAEA
Säteilyturvallisuus	RASSC	Turvallisuusstandardit	STUK	IAEA
Kuljetusten valvonta	TRANSSC	Turvallisuusstandardit	STUK	IAEA
Ydinturvallisuus	IRS	Kansainvälinen käyttötapauksien rekisteri, käyttökokemukset	STUK	IAEA
Ydin- ja säteilyturvallisuus	INES	Tapahtumaluokitus	STUK	IAEA
Ydin- ja säteilyturvallisuus	IRSRR	Tutkimusreaktoritapahtumat	STUK	IAEA
Ydinturvallisuus	PRIS	Ydinvoimareaktoreiden tietojärjestelmä	STUK, TVO, Fortum	IAEA
Ydinturvallisuus	GNSSN/NNRP	Kansainvälisen ydinturvallisuuden tietoverkkoon kuuluvat kansallisten viranomaisten portaalit	STUK	IAEA
Ydin- ja säteilyturvallisuus	DIRATA	Päästötietojärjestelmä	STUK	IAEA
Ydinturvallisuus, osaamisen kehittäminen		HR-toiminta	TEM, STUK	IAEA
Ydinjätteiden ja ydinmateriaalin valvonta	CEG	Radioaktiivinen jäte	STUK	IAEA
Ydinjätteiden ja ydinmateriaalin valvonta	ASTOR	Geologia	STUK	IAEA
Ydinjätteiden ja ydinmateriaalin valvonta	GEOSAF	Geologisen loppusijoituksen turvallisuus	STUK	IAEA

Ydinjätteiden ja ydinmateriaalin valvonta	EMRAS II	Radioekologia	STUK	IAEA
Ydinjätteiden ja ydinmateriaalin valvonta	PRISM	Radioaktiivisten jätteiden loppusijoitus	STUK	IAEA
Ydinvoimalaitosten turvallisuus	IGALL	Ydinvoimalaitosten ikääntymisen hallinta	STUK	IAEA
Ydin- ja säteilyturvallisuus	ITDB	Turvajärjestelyt, radioaktiivisten aineiden laiton kauppa	STUK	IAEA
Ydinturvallisuusvalvonta	NFCIS	Ydinpolttoainekierto	STUK	IAEA
Ydinjätteiden ja ydinmateriaalin valvonta	NEWMDP	Ydinjätteet	STUK	IAEA
Ydin- ja säteilyturvallisuus	DRCS	Radioaktiivisesti saastuneet alueet	STUK	IAEA
Radioaktiivisen aineen kuljetusten valvonta	EVTRAM	Radioaktiivisten aineiden kuljetustapahtumat	STUK	IAEA
Kansainvälinen seismisen turvallisuuden keskus	ISSC	Ydinlaitokset ja seismologia	STUK	IAEA

Ydinjätehuollon osa-alueella IAEA:n erilaisten teknisten kokousten ja työryhmien toimintaan ovat osallistuneet STUK ja Posiva. Ydinjätehuoltoon liittyvää kansainvälistä kehitystyötä ja vaihtoa tapahtuu sekä ydinturvallisuusyksikön (NSF) että ydinpolttoainekierto ja jätehuoltoyksikön (NEFW) alaisuudessa toimivissa työryhmissä. Teknisten kokousten aihealueina ovat olleet mm. polttoaineasiat, Safeguards, kustannusten hallinta, koulutus, nuclear knowledge management. Teknisten kokousten tavoitteena on kehittää IAEA:n ydinturvallisuuteen liittyvää ohjeistusta ja työryhmämuotoisten verkostojen tavoitteena on tiedonsiirto koulutuksen ja yhteishankkeiden muodossa kokeneemmilta ydinenergian käyttäjämaita aloittaville käyttäjämaita ydinenergian rauhanomaiseen käyttöön tarvittavilla eri osa-alueilla.

6.7 Muut kansainväliset hankkeet

Osaamiskyselyssä tunnistettiin myös jonkin verran muita kansainvälisiä hankkeita. Esimerkkejä näistä on taulukossa 6.8. Peilattuna esimerkiksi ydinturvallisuuden tutkimusohjelmien yhteydessä tehtyihin kartoituksiin voidaan kuitenkin todeta, että kyselyssä ilmi tulleet hankkeet edustavat vain murto-osaa muista kansainvälisistä hankkeista.

Taulukko 6.8. Esimerkkejä muista kansainvälisistä hankkeista.

Alue	Lyhytnimi	Aihe	Suomalainen osallistujajärjestö	Koordinaattori
Ydinjätehuolto	Grimsel	Test site investigations 2003–2013	HYRL, Posiva	Nagra/GTS eli Grimsel Test Site - sveitsiläisten kalliolaboratorio)
Ydinturvallisuus	ARTIST2	Fissiotuotteiden kulkeutuminen	Fortum, VTT	Paul Scherrer Institut (PSI) – Sveitsi
Ydinturvallisuus	JHR	Jules Horowitz Reactor Project – mm. mittausteknologian kehittäminen hankkeeseen	VTT	CEA, FR
Muu	EERA Nuclear materials	Neljän sukupolven ydinlaitosten materiaalitutkimus	VTT	KIT, Saksa
Muu	US-NRC-PARENT	Jäänösjännitykset	VTT	NRC

Edellä olevassa taulukossa esitetyistä hankkeista suurin on JHR. Hanke ei ole OECD/NEA tai EU-hanke, vaan erillinen kansainvälinen konsortio, jossa EU on mukana pienellä osuudella.

Posiva on mukana myös muissa suuremmissa ydinjätehuollon kansainvälisissä hankkeissa. Näistä suurin yksittäinen käynnissä oleva hanke on Greenland Analogue Project (GAP). Lisäksi Posiva osallistuu Sveitsin Grimselin kalliolaboratorion IV ohjelmavaiheen projekteihin Long-term Cement Studies (LCS), FEBEX ja Colloid formation and migration project (CFM) sekä pienempään luonnon savianalogioita Kyp-roksella tutkivaan monikansalliseen tutkimushankkeeseen.

SKB:n Äspön kalliolaboratorion kansainvälisen teknisen yhteistyön puitteissa Posiva osallistuu Äspön tekniseen arviointiryhmään (TEF – Technical Evaluation Forum) sekä Posiva että VTT ovat osallistuneet Äspön kansainvälisiin mallinnusryhmiin (Äspö International Task Force).

6.8 Teknologia- ja tutkimusyhteisöt

Kansainväliset teknologia- ja tutkimusyhteisöt ovat voimakkaasti nousemassa perinteisen yhteisrahoitteisen tutkimuksen rinnalle. Yhteisöt tuovat resurssejaan yhteen ja suuntaavat toimintaa yhteisen strategisen tutkimusagendan mukaan. Euratom-ohjelma tukee voimakkaasti teknologia- ja tutkimusyhteisöjen muodostamista.

6.8.1 Säteilysuojelu

Säteilysuojelun alalla toimivia teknologia- ja tutkimusyhteisöjä ovat EURADOS, MELODI, NERIS ja Radioecology Alliance. STUK osallistuu näihin kaikkiin. Näistä pisimpään on toiminut säteilyn dosimetriaan keskittyvä EURADOS (European

Radiation Dosimetry Group, www.eurados.org), joka perustettiin vuonna 2001. EURADOSissa on nykyään 57 organisaatiota (voting members) ja 200 henkilöjäsentä.

Pienten annosten riskien tutkimukseen omistautunut MELODI (Multi disciplinary European Low Dose Initiative) perustettiin vuonna 2010. STUK oli yksi 15 perustajajäsenestä (ks. www.melodi-online.eu). NERIS-teknologiyhteisö (European Platform for European Nuclear and Emergency Preparedness and Response) perustettiin myös vuonna 2010 edistämään varautumista säteily- ja ydinonnettomuuksissa. Yhteisöön kuuluu 37 organisaatiota ja STUK toimii ensimmäisenä puheenjohtajana. Myös radioekologian alalla on perusteilla eurooppalainen tutkimusyhteisö, Radioecology Alliance. Euroopan komissio rahoittaa MELODIn ja Radioecology Alliancen kehittämistä huippuosaamisen verkostohankkeiden kautta.

6.8.2 Ydinjätehuolto

Vuonna 2009 kymmenen eurooppalaista ydinjätehuolto-organisaatiota (Andra, Covra, Enresa, Nagra, NDA, Ondraf/Niras, Posiva, Puram, RAWRA, SKB) ja ministeriö Saksasta (BMW) perustivat geologisen loppusijoituksen teknologiyhteisön ja muodostavat sen johtoryhmän. IGD-TP:n (Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform) tarkoituksena on vauhdittaa loppusijoituksen tutkimusta sekä kehitys- ja demonstraatiohankkeiden yhteistä toteutusta eri toimijoiden välisenä yhteistyönä. Lisäksi teknologiyhteisön tarkoituksena on tietojen ja kokemusten vaihto eri toimijoiden välillä niin teollisuudesta kuin komissiostakin (DG TREN/RTD, SNETP) ja viranomaisten kanssa (ministeriöt, valvontaviranomaiset ja tekniset tukioorganisaatiot).

IGD-TP:n visiona on, että vuoteen 2025 mennessä ensimmäiset geologiset loppusijoitustilat käytetylle polttoaineelle ja muulle korkea-aktiiviselle jätteelle ovat turvalisesti toiminnassa Euroopassa. Vision toteuttamiseksi teknologiyhteisö on sitoutunut mm. rakentamaan luottamusta geologisen loppusijoituksen turvallisuuteen ja toteutukseen. IGD-TP ei ole hyödyksi ainoastaan ensimmäisten loppusijoitustilan turvallisessa toteutuksessa, vaan myös pidemmän aikavälin jätehuolto-ohjelmille. Useimmilla jätehuolto-ohjelman omaavilla mailla loppusijoituksen tilanne, toteutusaika ja haasteet poikkeavat toisistaan. Ruotsi, Suomi ja Ranska ovat muutamia vuosia muita edellä loppusijoituspaikan toteutuksessa ja luvituksessa.

Teknologiyhteisön vision pohjalta valmistui kesällä 2011 yhteinen strateginen tutkimusohjelma (Strategic Research Agenda - SRA), jonka toteuttamissuunnitelmaa (Deployment Plan - DP) työstetään paraikaa. Strateginen tutkimusohjelma määrittelee yhteiset tutkimusalueet geologisen loppusijoitustilan luvitukselle ja toteutukselle. Jotta tavoitteeseen saada ensimmäiset geologiset loppusijoitustilat käyttöön vuoteen 2025 mennessä päästään ovat teknologiyhteisöön osallistuneet määrittäneet tutkimuksen, kehitystyön ja demonstraatioiden yhteisiksi avainaihealuiksi seuraavat: tieteellinen ja tekninen perusta pitkän aikavälin turvallisuusperustelulle, loppusijoituksen eri osien toiminnallinen demonstrointi, loppusijoitustilan

suunnittelu ja rakentaminen, käytön turvallisuus, loppusijoituksen vaikutusten seuranta (monitorointi) sekä paikan valintaan liittyvä päätöksentekoprosessi ja sidosryhmien osallistuminen siihen.

Oleellinen osa IGD-TP:n toimintaa on eri vaiheessa ja eri aikataulussa etenevien jätehuolto-ohjelmien yhteistyö. Jätehuolto-yhtiöiden yhteinen työ ja eri intressosapuolien aktiivinen osallistuminen yhteisen strategisen tutkimussuunnitelman laatimiseen on jo tuottanut hyötyä kaikille osapuolille. Yksityiskohtaiset ajatustenvaihdot ovat lisänneet keskinäistä ymmärrystä eri jätehuolto-ohjelmien kesken ja tuottaneet lisäarvoa tutkimussuunnitelman kokoamisessa. Nyt tavoitteena on viedä eteenpäin tutkimussuunnitelman toteuttamista, jossa tavoitteena on yhdistää suuria henkilöresursseja ja rahoitusta tehokkaammin Euroopan laajuisesti vision toteuttamiseksi.

Euroopan komissio tukee teknologiyhteisön sihteeristöä 7. puiteohjelman hankkeen muodossa vuosina 2010 ja 2011. Pohjoismainen yhteistyö geologisessa loppusijoituksessa jatkuu myös IGD-TP:ssä, sillä teknologiyhteisön sihteeristö sijaitsee SKB:lla Ruotsissa ja Euroopan komission sihteeristöhanketta koordinoi Posiva Oy Suomesta. Muuten IGD-TP:n rahoituksesta vastaavat sen johtoryhmän jäsenet. Teknologiyhteisössä on jo yli 80 osallistujaa eri puolilta Eurooppaa. Suomesta teknologiyhteisöön osallistuvat Posivan lisäksi mm. VTT, Aalto-yliopisto ja Insinööritoimisto Saanio & Riekkola.

6.8.3 Ydinturvallisuus

Syyskuussa 2007 perustettiin teknologiyhteisö Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP; <http://www.snetp.eu>). Nykyisin SNETP:n toimintaan osallistuu noin 80 eurooppalaista toimijaa, jotka edustavat muun muassa ydinennergiateollisuutta, tutkimuslaitoksia, korkeakouluja sekä ydinturvallisuusviranomaisen tukiorganisaatioita. Suomesta SNETP-teknologiyhteisöön osallistuvat VTT, TVO, Fortum ja Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

SNETP:n tavoitteena on edistää ydinfissioteknologiaan liittyviä tutkimus-, kehitys- ja demonstraatiohankkeita Strategisessa energiateknologiasuunnitelmassa (SET-Plan) esitettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi liittyen erityisesti kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Erityisesti SNETP:n tavoitteena on vuoteen 2020 mennessä ylläpitää fissioteknologian turvallisuutta ja säilyttää teknologia taloudellisesti kilpailukykyisenä. Vuoteen 2050 mennessä tavoitteena on 1) osoittaa rakennettavien demonstraatiolaitosten myötä uuteen fissioenergiateknologiaan (Gen IV) perustuvien uusien teknologioiden toteutettavuus siten, että edistetään kestävä kehityksen mukaisten tavoitteiden toteutumista. Lisäksi tavoitteena on laajentaa fissioenergiateknologiaan perustuvien laitosten käyttösovelluksia kattamaan sähköntuotannon ohella myös prosessilämmön ja vedyn tuotto.

SNETP:n alle on v. 2011 rakentunut kolme työryhmää, joista kaksi ensimmäistä toimivat jo aktiivisesti:

- **ESNII** – neljännen sukupolven eurooppalainen teollisuusaloite (Tekes koordinoi Suomen osallistumisesta)
- **GenII/III** toiminta organisoidaan **NUGENIA** yhteistyöksi (Euratomin Nulife ja Sarnet verkostot sekä ETSON yhteistyö), jolla on 7 aihepiiristä koostuva agenda, kullekin aihepiirille on jo tehty laajempi kuvaus:
 - 1 Fuel, waste management (all but GD) and dismantling
 - 2 Integrity assessment and ageing of Structures-Systems-Components
 - 3 Plant safety and risk assessment
 - 4 Severe accidents
 - 5 Core and Reactor performance
 - 6 Innovative Gen III design
 - 7 Harmonisation
- **Co-generation** yhteistyö on edelleen suunnitteluvaiheessa, tavoitteena vedyn ja lämmön yhteistuotantoa tukevan T&K työn koordinointi.
- SNETP:ssä muodostettu **Fukushima** työryhmä on laatinut ohjelman tutkimus-agendaa varten ja tätä on tarkoitus soveltaa GenII/III työryhmässä.

SNETP:n puitteissa on tavoitteena kehittää edistyskellisiä kevytvesireaktoreita, suljettuun polttoainekiertoon perustuvia nopeita reaktoreita sekä erityisesti prosessiteollisuuden tarpeisiin erittäin korkeissa lämpötiloissa toimivia reaktoreita. Näiden peruskonseptien kehittämisen ohella teknologiayhteisön yleistavoitteisiin kuuluu teknologioiden kehittäminen, jotka soveltuvat yleisesti eri konseptien kehitystyöhön. Näitä kohteita ovat muun muassa: innovatiivisten rakennemateriaalien ja polttoainetyyppien kehitys, reaktorien suunnittelua, turvallisuutta, materiaalivalintaa ja polttoainekehitystä tukevien simulointimenetelmien ja koelaitteistojen kehittäminen ja soveltaminen sekä yleisesti T&K infrastruktuurin kehittäminen sekä ydin-turvallisuussäännösten kehittäminen.

Edellä mainittujen lisäksi teknologia- ja tutkimusyhteisöksi voidaan laskea jo runsaat 30 vuotta toiminut alun perin VVER-teknologiaa käyttävien maiden tutkimuslaitosten ja voimayhtiöiden epävirallisena ja tilapäisenä alkanut VMK-yhteistyö, joka virallistui 1990-luvulla AER-yhteisöksi, johon on vuosien varrella liittynyt myös muita kuin VVER-teknologiaa tutkivia tai hyödyntäviä organisaatioita. AER:ssä on useita pysyviä aktiivisesti toimivia tieteellisiä työryhmiä, vuosittainen seminaari ja se järjestää OECD/NEA:n tapaan kansainvälisiä benchmark-hankkeita, jotka keskittyvät pääosin VVER-reaktoreihin.

6.9 Merkittävät organisaatioiden kahdenväliset sopimukset

Yliopistoilla ja tutkimuslaitoksilla on myös kahdenvälisiä yhteistyösopimuksia, joista seuraavassa on mainittu esimerkkeinä muutamia sellaisia, joiden olemassaolo on julkinen tieto. On huomattava, että suuri osa erityisesti yritysten kahdenvälisistä sopimuksista on luottamuksellisia eikä niitä käsitellä tässä yhteydessä.

Esimerkkejä kahdenvälisistä sopimuksista ovat mm. Aalto-yliopiston ja LUT:n sopimukset ENEN Associationin kanssa, Jyväskylän yliopiston yhteistyösopimukset USAn Brookhaven National Laboratoryn ja Japanin RIKEN-instituutin kanssa. VTT:llä on runsaasti kahdenvälisiä yhteistyösopimuksia, joista esimerkkeinä CEA ja IRSN, Ranska, PSI, Sveitsi, JRC ja erilliset sopimukset US NRC:n kanssa koskien CAMP, CSARP ja PINC -yhteistyötä. Viimeksimainituissa VTT toimii sopimuskumppanina, joka välittää tietoa muille suomalaisille organisaatioille.

Ruotsin ydinjäteorganisaatio SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) on rinnan Posivan kanssa valmistautumassa loppusijoituslaitoksen luvitukseen lähivuosina ja lupahakemukset tulevatkin pitkälti perustumaan samanlaisiin teknisiin suunnitelmiin ja turvallisuusperusteluihin. Tämän on mahdollistanut vuonna 2001 solmittu ja sittemmin vuonna 2006 jatkettu sopimus laajasta, koko loppusijoitustekniikan ja turvallisuustutkimuksen kattavasta tutkimus- ja kehitysyhteistyöstä. Sopimus on Posivan merkittävin kansainvälinen yhteistyösopimus ydinjätehuollon tutkimuksen ja kehittämisen osa-alueella.

Kahdenvälisen yhteistyösopimuksen puitteissa Posivalla on paraikaa käynnissä noin 20 yhteistyöhanketta, joista osa on monikansallisia ja jo toteutettuja yhteistyöhankkeita on ollut yhteensä noin 140 hanketta vuodesta 2001 lähtien. Yhteistyösopimus on antanut Posivalle mahdollisuuden käyttää hyväkseen myös Äspön kalliolaboratoriota, siellä sijaitsevaa bentoniittilaboratoriota sekä Oskarshamnin kapselilaboratoriota (ks. myös luku 5).

6.10 Kansainvälisen tutkimusyhteistyön toimivuus ja kehitystarpeet

Kansainvälinen yhteistyö ydinenergia-alalla on välttämättömyys. Pienessä maassa kaikkea tutkimusta ei voida eikä ole tarkoituksenmukaistakaan tehdä itse. Ydinturvallisuustutkimukseen kuuluu suuria koelaitteistoja, joita minkään yksittäisen valtion ei olisi järkevää rakentaa yksin. Jotta tutkimushankkeista saisi parhaan mahdollisen hyödyn, kannattaa niihin osallistua aktiivisesti esimerkiksi benchmark-tehtäviä laskemalla. Tämä taas vaatii tehtävän työn rahoitusta pelkän osallistumismaksun ja hankkeen seurantaan kuluvaan rahoituksen lisäksi. OECD/NEA -hankkeet on yleisesti koettu hyödyllisiksi ja niistä saatava tieto sijoitetun rahan arvoiseksi. Käytettävissä oleva rahoitus (VYR-rahoitus ja organisaatioiden oma rahoitus) rajoittaa kuitenkin osallistumismahdollisuuksia.

Kansainvälisten tutkimustulosten ja -hankkeiden saamiseksi suomalaisten toimijoiden hyödynnettäväksi on myös tärkeää, että meillä on vastineeksi tarjota omia tutkimuspanoksia. Näitä ovat olleet itse kehitetyt laskentaohjelmistot, laskenta- ja mitaustulokset ja kansainvälisille tutkimusryhmille tarjotut mahdollisuudet Suomessa kehitettyjen ja rakennettujen kokeellisten tutkimuslaitteistojen käyttöön yhteisrahoitteisissa projekteissa.

EU:n reaktoriturvallisuuoshankkeissa Suomi on tyypillisesti mukana pienenä partnerina. Tällä tavalla saadaan tietoa hankkeesta, mutta ei voida vaikuttaa kovin aktiivisesti hankkeen suuntaamiseen. Usein näissä hankkeissa ollaan mukana, koska poiskaan ei ole varaa jäädä, jos haluaa pysyä kehityksen tasalla. Hankkeiden sisäinen synergia on myös usein vähäisempi kuin OECD/NEA-hankkeissa ja kukin partneri "tekee sitä, mitä muutenkin tekisi". Poikkeuksina ovat tietenkin ne muutamat hankkeet, joissa Suomi on koordinaattorina ja pääsee täten olennaisesti vaikuttamaan hankkeen suuntaan.

Säteilysuojelun ja ydinjätehuollon alueilla EU-hankkeissa partnereiden määrä on tyypillisesti pienempi kuin ydinturvallisuudessa ja hankkeet koetaan paremmin tarpeitamme vastaaviksi.

Pohjoismainen yhteistyö NKS:n puitteissa on volyymiltään pientä edellisiin verrattuna, mutta muodostaa usein ponnahduslaudan laajempiin kansainvälisiin yhteyksiin. Pohjoismainen yhteistyö mahdollistaa erityisten Suomessa ja Ruotsissa käytössä oleviin kiehutusvesireaktoreihin liittyvät laajemmat selvitykset sekä pohjoisten olosuhteiden huomioon ottamisen turvallisuustarkasteluissa, organisaatioiden toimintaa arvioitaessa ja ympäristön valvonnassa. Pohjoismaista yhteistyötä ydinenergian käytön turvallisuustutkimuksen yhteydessä voidaan edelleen kehittää ja vahvistaa.

Teknologia- ja tutkimusyhteisöiltä odotetaan paljon, mutta uusien yhteisöjen työ on vasta alkamassa.

Erilainen komitea- ja työryhmätyöskentely tapahtuu paljolti organisaatioiden omalla kustannuksella. Tärkeät työryhmät ja komiteat määrittelevät paljolti tutkimuksen suuntaa, vaadittavia menetelmiä ja tutkimuslaitteita. Komiteoiden määrää ei osaamiskartoituksessa selvitetty, mutta muualta saadusta otannasta voi päätellä, että komiteatyöskentelyyn kuluu huomattavia resursseja ja tulokset rajoittuvat paljolti hyvin arkistoituihin matkakertomuksiin.

Opettaja- ja opiskelijavaihdon mahdollisuuksien ylläpitäminen, vaihdon kannustaminen ja rahoitusmahdollisuuksien turvaaminen kansainvälisten verkostojen ylläpitämiseksi ja uusien rakentamiseksi (tutkimustyön ja tutkimukseen kytkeytyvien perus- ja jatko-opiskelumahdollisuuksien turvaaminen myös opiskelija- ja tutkijaryhmille eikä vain yksittäisille tutkijoille ja opiskelijoille) koetaan tärkeäksi.

Suuri osa kansainvälisestä yhteistyöstä on luottamuksellista ja hankkeen aikana ja määrätyn ajan sen jälkeen hankkeen tulokset ovat vain osallistujaorganisaatioiden käytettävissä. Tämä rajoittaa hankkeista tiedottamista kotimaisilla foorumeilla. Luottamuksellisuutta on syytä noudattaa tarkoin, jotta maine luotettavana tutkimuskumppanina säilyy. Tässä selvityksessä esiin tulleet erityyppiset kansainvälisen yhteistyön muodot ja yhteyksien runsaus puoltaisivat vastaavia säännöllisiä kansainvälisen yhteistyön kartoituksia, jotta koko kotimainen tutkimuskenttä tietäisi, ketkä ovat mukana missäkin ja keneltä kysyä neuvoa uutta yhteistyötä harkittaessa.

7 Suomalaisen teollisuuden osallistumismahdollisuudet tulevissa suurissa ydinvoimalaitoshankkeissa

7.1 Johdanto

Fennovoiman ja Teollisuuden Voiman ydinvoimalaitosten viimeisimpiä periaatepäätöksiä valmisteltaessa ja eduskunnassa vahvistettaessa on maassamme vallinnut laaja yksimielisyys siitä, että olisi suotavaa saada suomalaisen teollisuuden tehtäväksi mahdollisimman suuri osuus seuraavaksi rakennettavien ydinvoimalaitosten toteuttamisesta. Voimalaitoshankkeiden luonteesta kuitenkin johtuu, että suomalainen osuus laitostoimituksista olisi ensisijaisesti alihankintaa suurille kansainvälisille ydinvoimateknologia- ja -projektitoimittajille. Teollisuuspiireissä on jo ymmärretty tämä mahdollisuus ja ryhdytty valmistautumaan tulevia hankkeita varten useammalla rintamalla, jäljempänä tarkemmin kuvatulla tavalla.

Tässä luvussa keskitytään sellaiseen suomalaiseen teolliseen toimintaan, jolla voidaan uskoa olevan realistisia mahdollisuuksia osallistua ydinvoimalaitoshankkeisiin, jotka alkaisivat kuluvalla vuosikymmenellä Suomessa tai naapurimaissa.

Tämä luku koostuu kolmesta osasta. Ensimmäinen käsittelee suurten ydinvoimalaitoshankkeiden tyypillistä rakennetta, mikä muodostaa puitteet suomalaisen teollisuuden mahdollisille toimille. Samassa osassa kuvataan myös uusia viranomaistoiminnan kehityksen myötä avautuvia uusia mahdollisuuksia tarjota palveluita alan toimijoille. Toinen osa kuvailee teollisuuden tähänastiset omat aloitteet, erityisesti FinNuclear-yhteistyön ja Teknologiateollisuuden ydinalan toimialaryhmän. Kolmas osa kuvailee ydinvoimapaikkakuntien (nykyisten ja mahdollisten tulevien) alueellisia aloitteita.

7.2 Suurten ydinvoimalaitoshankkeiden luonne

Ydinvoimalaitoshankkeet ovat hyvin suuria teollisuusprojekteja, joihin liittyy korkeita laatuvaatimuksia ja laajoja viranomaiskäsittelyjä. Tyypillinen ydinvoimalaitoksen hinta-arvio on 4–6 miljardia euroa ja rakentamisaika on viime vuosikymmenten kokemusten mukaan 6–10 vuotta laskien itse laitoksen rakentamisen alusta. Hankkeiden suuren koon ja pitkän keston vuoksi myös liiketoiminnallinen riski on huomattava ja hankkeiden suunnittelussa asianmukainen ja mahdollisimman toimiva yritysrisikien hallinta onkin yksi keskeinen valintaperuste sekä toimijoille että toimitusmalleille.

Viime vuosikymmenien toteutuneissa ydinvoimalaitoshankkeissa on toistunut seuraavia piirteitä:

- toimitukset ovat tyypillisesti suuria konsortioita, joissa muutama pääteknologia-toimittaja ja pääurakoitsija
- päätoimittajat ja pääurakoitsijat käyttävät paljon alihankintaa, joka voi olla pitkällekin ketjutettua
- sekä päätoimittajat, pääurakoitsijat että alihankkijat ostavat materiaaleja, laitteita ja palveluita.

Ydinvoimalaitoshanke voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, alkaen ns. avaimet käteen -mallista, jossa toimittajakonsortio toimittaa osoitetulle paikalle valmiin laitoksen, ja päättyen erillishankintamalliin, jossa rakennuttaja tilaa laitoksen pieninä erinä eri toimijoilta ja hallinnoi toteutuskokonaisuutta itse. Erillishankintamallilla toteutuneissakin projekteissa trendi on ollut kohti koko ajan suurenevia osatoimituksia, joten eri toteutusmallien käytännön erot ovat pienenemässä. Toimitusmallista riippumatta laitospaikalla on valmistelevia töitä, kuten rakennuspaikan valmistelu, tietyt, sekä veden, viemäröinnin ja työmaasähkön yhteydet, jotka laitoksen rakennuttaja voi teettää itsekin. Luonnollisesti myös suurissa toimituslaajuuksissa toimittajat hankkivat materiaaleja, laitteita ja palveluja myös alueellisesti.

Yksittäisten voimalaitoshankkeiden rakenne muotoutuu hankintaneuvotteluissa laitoksen ostajan (omistajan) ja laitostoimittajakandidaattien kesken. Rakenteen määrittelyyn liittyy lukuisia kaupallisesti, teknisesti ja hallinnollisesti herkkiä näkökohtia, joita ei ole mahdollista käsitellä tässä laajemmin.

On todennäköistä, että tulevaisakin suomalaisissa voimalaitoshankkeissa suomalaiset alihankkijat myyvät laitostoimitusta koskevat palvelunsa suoraan laitostoimittajille. Omistajan oma osuus rajautuu tyypillisesti itse voimalaitoksen voimantuotanto-osien ulkopuolelle, laitospaikalle sijoittuvien muiden laitosten ja rakennusten tekemiseen. Tällaista tavanomaista maanrakennusta, tientekoa, talonrakennusta ja muuta infrastruktuurin pystytystä tarvitaan niin uusilla kuin nykyisilläkin rakennuspaikoilla; uusilla paikoilla tällaista rakentamista on kuitenkin huomattavasti enemmän (mm. asuntoalue ja vierailukeskus) kuin nykyisillä.

Varsinaisten voimalaitoshankkeiden lisäksi Suomessa toteutetaan muitakin ydinvoimaan liittyviä hankkeita, esimerkiksi Posivan loppusijoituslaitoksen rakentaminen ja vanhojen voimalaitosten mittavat uudistustyöt. Myös tällaiset hankkeet tarjoavat osallistumismahdollisuuksia suomalaisille palveluntarjoajille ja alihankkijoille.

Globalisoituvassa maailmassa on jatkossakin todennäköistä, että toimitusmallista ja toimittajakonsortioiden koostumuksesta riippumatta ydinvoimahankkeisiin osallistuu myös ulkomaalaista työvoimaa. Suomalaisten käytäntöjen noudattamista helpottaisi jos yritysten velvoitteita, esimerkiksi komennusmiesten verotusta, koskeva viranomaisohjeistus olisi saatavilla englannin kielellä.

7.3 Viranomaisen ja luvanhaltijoiden tarvitsemat asiantuntijapalvelut

STUK ja sen valvonnassa olevat luvanhakijat ja -haltijat tarvitsevat erilaisia teknisiä ja asiantuntijapalveluita, jotka edellyttävät syvällistä erityisasiantuntemusta kyseisiltä tekniikanaloilta. Näitä ovat esimerkiksi

- turvallisuuden arvioinnissa (mm. turvallisuusjärjestelmien mitoituksen tarkastamiseen) tarvittavat häiriö- ja onnettomuusanalyysit
- laitteiden tyyppihyväksynät
- eri tekniikanaloilla tarvittavat analyysit ja asiantuntijalausunnot
- YVL-ohjeiden edellyttämä laitteiden ja rakenteiden tarkastus- ja testaustoiminta
- toimintaprosessien ja menetelmien arviointi, auditointi ja sertifiointi.

Ydinlaitoshankkeissa eri tekniikanaloilla tarvittavat tarkastukset on määritelty YVL-ohjeistossa. Tarkastuslaajuus määräytyy kohteen ydinteknisen turvallisuusluokan mukaan siten, että mitä tärkeämpi kohde, sitä enemmän valvontaa ja tarkastuksia tehdään.

Erityisesti sähkö- ja automaatiotekniikassa turvallisuustärkeitä laitteilta on jo pitkään edellytetty tyyppihyväksyntää. Tyyppihyväksyntäprosessi on isotoinen ja aikaa vievä; siihen sisältyy erilaista testaus-, tarkastus- ja arviointitoimintaa ja sen suorittajan tulee olla sekä laitetoimittajista että viranomaisesta riippumaton kolmas osapuoli, jolla tulee olla tehtävään osoitettu pätevyys.

STUK on 2000-luvun alusta alkaen ulkoistanut omaa tarkastustoimintaansa varsinkin turvallisuuden kannalta vähemmän tärkeiden rakenteiden ja laitteiden osalta, mikä on antanut uusia liiketoimintamahdollisuuksia Suomessa toimiville tarkastuslaitoksille. Tällaisia kohteita on ydinvoimalaitoksen prosessilaitteista varsin merkittävä osa. Esimerkiksi painevesireaktorilaitoksen turvallisuusluokien 3 ja 4 painelaitteiden osuus koko laitoksen painelaitteista voi olla selvästi yli 50 %. Lukumääräisesti tarkastettavaa on siten alemmissa turvallisuusluokissa huomattavan paljon, varsinkin jos vielä mukaan luetaan luokka EYT (ei ydinteknistä turvallisuusmerkitystä).

Ydinlaitoksen painelaitteiden osalta tarkastuslaitostoiminta on jo vakiintunut käytäntö. STUKin hyväksymät tarkastuslaitokset ovat jo nykyisin toteuttaneet turvallisuusluokan 3 ja sitä alemmien luokkien painelaitteiden ja muiden rakenteiden tarkastustoimintaa. Näiden ns. kolmansien osapuolien tyypillisiä palveluja ovat mm. laitteita koskevien suunnitelmien (rakennesuunnitelmat) tarkastus ennen valmistuksen aloittamista, valmistuksen ja siinä tarvittavien pätevöintien valvonta, rakennetarkastukset komponenttien valmistuttua ja asennuksen jälkeen sekä eri vaiheisiin liittyvien erilaisten testaus- ja koestustoimenpiteiden valvonta.

STUK on parhaillaan uudistamassa YVL-ohjeistoaan, missä yhteydessä STUKin hyväksymien ja valvomien tarkastuslaitosten käyttöä on tarkoitus edelleen laajentaa. Muutoksen myötä STUK on siirtämässä kolmansille osapuolille lisää mm. koneteknisten laitteiden, sekä teräs- ja betonirakenteiden tarkastuksia, joita on

itse aiemmin tehnyt. Näin tarkastuslaitosten laajempi käyttö antaa STUKille mahdollisuuden keskittää tarkastusresurssejaan tärkeimpien turvallisuusluokan 1 laitteiden ja rakenteiden vaatimustenmukaisuuden arviointiin sekä keskittyä laitosten turvallisuusvalvontaan.

Tarkastus- ja testauslaitoksen hyväksymismenettelyä ja toiminnan valvontaa kuvataan tulevassa uudessa YVL-ohjeessa YVL E.1. Tarkastuslaitokseksi aikovan yrityksen on täytettävä ydinenergialaissa, asetuksessa ja YVL-ohjeissa esitetyt vaatimukset; näihin kuuluu mm. akkreditointi FINASin tai vastaavan sisarorganisaation toimesta.

Säteilyturvakeskuksen suorittaman valvonnan ohella myös muut viranomaiset, kuten TUKES sekä paikalliset ja alueelliset pelastus- ja ympäristöviranomaiset, osallistuvat ydinvoimahankkeiden arviointiin ja saattavat tarvita työssään erikoisasiantuntijapalveluita.

7.4 Teollisuuden oma toiminta

7.4.1 FinNuclear ry

FinNuclear ry on valtakunnallinen yhdistys, jonka tarkoituksena on saattaa yhteen Suomessa oleva monipuolinen ydinenergia-alan ja sille soveltuvan toimittajakentän osaaminen, jotta suomalaisille saataisiin lisää liiketoimintaa maailmanlaajuisestikin merkittävältä ydinenergian liiketoiminta-alueelta. Yhdistyksessä on 40 jäsenorganisaatiota.

Yhdistys on perustettu 4.3.2011, jatkona FinNuclear -ohjelmalle, johon vuosina 2009–2010 osallistui 10 veturiyritystä; Dekra Industrial, Fennovoima, Fortum, Holming Group, Kraftanlagen Arge OL3, Outokumpu, Pöyry, Telatek, Teollisuuden Voima, Wärtsilä, sekä Teknologiateollisuus ry ja Energiateollisuus ry. Lisäksi toimintaan on kytkeytynyt seuraavassa luvussa kuvattu Teknologiateollisuus ry:n ”Ydinenergia-alan toimittajat” -ryhmä. Vastaavia kansallisia ydinenergia-alan yhdistyksiä ovat Foronuclear Espanjassa tai Nuclear Industry Association Iso-Britanniassa. Prizztech Oy:n alainen FinNuclear -yksikkö voidaan jatkossa muodostaa yhdistykseen kytkeytyväksi palveluyhtiöksi.

Yhdistyksen käytännön toiminnoista vastaa Prizztech Oy:n FinNuclear -yksikkö, joka tuottaa toimialallisia tukipalveluita sekä organisoii alihankkijayrityksille erityistoimia, joilla pyritään kohentamaan yritysten valmiuksia toimia ydinenergia-alalla.

Esimerkkejä FinNuclear -toiminnan käytännön toimenpiteistä, joita vuosien 2009–2010 aikana on tehty suomalaisen teollisuuden osallistumisvalmiuksien lisäämiseksi ovat:

- Erilaiset verkostotapahtumat, esim Meet the Vendor -tyyppiset päivät, joissa laitostoimittajat ja suomalaiset yritykset voivat verkottua
- Yhteisosastot ydinenergia-alan kansainvälisissä tapahtumissa
- Esitelmätilaisuudet

- Kontaktiverkoston ylläpitäminen ja laajentaminen
- Yritysvalmennus
- Alan keskitetty portaali www.finnuclear.fi , toimialan seuranta ja uutispalvelu (1/kk)
- Suomalaisen alan osaajien verkoston esittelevä tietokanta www.finnuclear.fi/directory ja sen vuosittainen painoversio

Kuva 7.1. Suomalaisia ydinenergia-alan osaajia esittelevä tietokanta.



Erityisesti alihankintatoimintaan kohdistuvaksi yritysvalmennukseksi on yhteistyössä voimayhtiöiden kanssa luotu vuosittain toistuva moduulimainen konsepti, jonka sisältö ja toimintatapa on esitetty kuvassa 7.2. Näiden lisäksi FinNuclear ry organisoii muita alihankkijoille suunnattuja koulutusjaksoja. Syksyn 2011 aikana ollaan organisoimassa mm. NQA -koulutusta.

Kuva 7.2. Moduuleista koostuva FinNuclear Training.



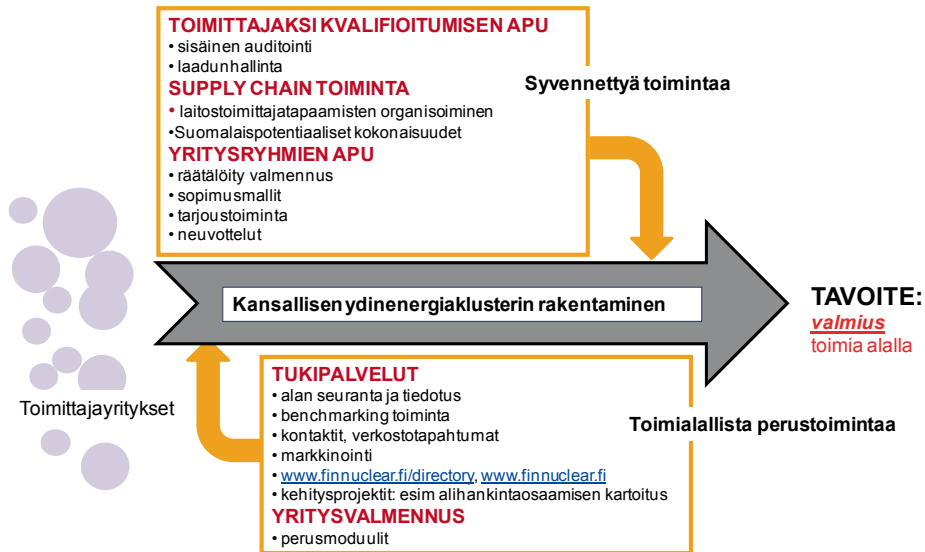
Toimintaa on tarkoitus edelleen voimakkaasti kehittää: yritysten toimittajaksi kvalifioitumisen avuksi luodaan menettely, jolla yritykset voivat valmistautua mm. laitostoimittajien ja rakennuttajayhtiöiden auditointeihin. Lisäksi FinNuclear -verkon avulla pyritään määrittämään ydinenergia-alan pitkän tähtäimen suomalaispotentiaalisia liiketoimintakokonaisuuksia, joissa voidaan olla mukana koko elinkaaressa, suunnittelu- ja rakentamisvaiheesta aina kunnossapitoon ja purkuunkin asti, ja joilla on myös vientimahdollisuuksia, sekä näihin kytkeytyvät yritykset. Vuoden 2011 aikana halukkaille FinNuclear -jäsenille käynnistetään palveluyksikön katalysoimana laajamittaisia kehitysprojekteja alan konsortioiden kehittämiseen ja valmisteluun liittyen.

Kansallisen ydinenergia-alan klusterin ja toimialan monipuoliseksi kehittämiseksi on vireillä useampivuotinen ohjelma, jonka tueksi kaivataan myös julkisia tukitoimia (esim. TEM, Tekes).

Tätä lähtökohtaa tukee se, että FinNuclear -toiminnan merkitys suomalaisille alihankkijoille tulevia kotimaan ydinenergia-hankkeita koskien mainittiin myös Talousvaliokunnan mietinnössä kesällä 2010 koskien uusien ydinvoimalupien myöntämistä.

Oheinen kaavio kuvassa 7.3 kiteyttää FinNuclear -toiminnan roolia suomalaisen ydinenergiaklusterin rakentamisessa.

Kuva 7.3. FinNuclear -konsepti kansallisen ydinenergia-alan alihankintatoiminnan vahvistamiseksi.



7.4.2 Teknologiateollisuus ry:n ydinenergia-alan toimittajat -toimialaryhmä

Ydinenergia-alan toimittajat -toimialaryhmän tarkoituksena on edistää suomalaisen ydinenergia-alan toimittajien kilpailukykyä lisäämällä alan sisäistä yhteistyötä ja edesauttamalla yritysten välistä verkostoitumista. Toiminnan keskeisenä sisältönä ovat asiantuntijaseminaarit, yritysvalmennus, ammattihenkilöstön koulutus, kokemusten vaihto, kansainvälinen yhteistyö, messuesiintymiset, yhteiset julkaisut sekä yritysten väliset verkottumistilaisuudet.

Toimialaryhmän tehtävänmäärittelyyn vaikuttaa vahvasti se, että Suomessa ei valmisteta ydinvoimaloiden raskaita komponentteja kuten reaktoripaineastioita, höyrystimiä, höyryturbiineja tai suuria generaattoreita. Sen sijaan laitosten vuosi- huoltojen toteutus tapahtuu nykyään valtaosin suomalaisten omin voimin. Suomalaiset yritykset toimittavat koneita, laitteita, rakenteita, komponentteja, järjestelmiä ja palveluita vuosihuoltotöiden ohessa tehtäviin muutos- ja korjaustöihin. Suomalaisen yritysten osaamista ovat kehittäneet varsinkin vaativien modernisointi- ja tehonkorotusprojektien toteutus.

Toimialaryhmä päätettiin perustaa Teknologiateollisuus ry:n organisaation yhteyteen, koska sillä on jo noin 30 vastaavatyypistä toimialaryhmää ja -yhdistystä toiminnassa eri teknologian aloilla. Toimialaryhmän jäsenyys ei edellytä Teknologiateollisuus ry:n jäsenyyttä ja mukaan onkin tullut ulkopuolisia yrityksiä muun muassa

rakennusosalta. Aiemmin ulkopuolella olleet suunnittelu- ja konsultointiyritykset ovat liittyneet vuoden 2011 alusta Teknologiateollisuus ry:n jäseniksi.

Toimialaryhmän tavoitteena on parantaa jäsenyritystensä kilpailukykyä luomalla yritysverkostoja ja toimimalla ydinenergia-alan toimittajien edunvalvojana. Yritysverkostojen perustamisessa alan sopimussuositusten laatiminen on keskeistä.

Suomalaiset yritykset eivät saaneet Olkiluoto 3 -hankkeeseen niin paljon toimitussopimuksia kuin suomalaisen osaamisen taso ja tarjonnan monipuolisuus olisivat antaneet mahdollisuuksia. Toimialaryhmän keskeisenä tavoitteena on suomalaisen osaamisen valmentaminen tuleviin ydinvoimahankkeisiin, tietysti ensin kotimaisia hankkeita varten mutta tulevaisuudessa myös kansainvälisiä hankkeita silmälläpitäen. Ydinenergia-alan toimittajat -toimialaryhmä keskittyy laitteita, komponentteja, järjestelmiä ja palveluita toimittavien yritysten kilpailukykyyn parantamiseen. Käytännön työ on organisoitu niin, että Teknologiateollisuus ry tilaa tarvittavat palvelut FinNuclear -hankkeelta PrizzTech Oy:n kanssa solmitun sopimuksen puitteissa. Näin on vältetty päällekkäistä työtä ja varmistettu informaation tehokas jakelu.

7.4.3 Rakentaminen

Suomalaiset rakennusalan yritykset eivät Olkiluoto 3 -hankkeessa onnistuneet saamaan merkittävien osakokonaisuuksien alihankintasopimuksia. Alan kilpailukykyyn ja osallistumisedellytysten parantaminen tulevissa laitoshankkeissa on siten alalla tärkeä tavoite. Uusia ydinvoimahankkeita valmistelevat yritykset ovat käyneet keskustelua mm. Rakennusteollisuus ry:n ja Rakennusliitto ry:n kanssa keinoista edistää suomalaisten yritysten ja työntekijöiden kilpailukykyä ja edellytyksiä osallistua aiempaa laajemmin ydinenergia-alan hankkeisiin. Alan järjestöt ovat ilmaisseet vahvan sitoutumisensa suomalaisten yritysten ja työntekijöiden osallistumismahdollisuuksien edistämiseen ydinenergia-alan hankkeissa.

Eräs keino alan kilpailukykyyn parantamiseksi on Suomen työmarkkinajärjestelmän toimivuuden varmistaminen osana hankkeiden valmisteluvaihetta. Tähän pyritään mm. tiivistämällä ydinenergia-alan yhtiöiden, rakennusalan yritysten, työmarkkinajärjestöjen ja viranomaisten välistä yhteistyötä. Lisäksi suomalaiset rakennusalan yritykset ovat Olkiluoto 3 -hankkeesta saatujen kokemusten avulla panostaneet sellaiseen osaamiseen ja järjestelmien kehittämiseen, joiden avulla edellytykset tulevien ydinlaitoshankkeiden merkittävien alihankintasopimusten saamiseen paranevat. Yritysverkostojen luomisella ja yritysten yhteistyön tiivistämisellä mahdollisuuksia pyritään parantamaan edelleen.

7.5 Alueellisen elinkeinoelämän toiminta ydinvoimapaikkakunnilla

7.5.1 Pyhäjoki/Pohjois-Pohjanmaa/Pohjois-Suomi

Pohjois-Suomen yhteinen, vahva halu edistää uusien investointien tuleamista alueelle on ollut merkittävä tekijä Fennovoiman ydinvoimalahankkeen valmistelussa. Yhteistyötä on edesauttanut vaihtoehtoisten sijoituspaikkojen seutukuntien pitkä kokemus teollisuuden ja energia-alan yritysten kanssa toimimisesta.

Fennovoima päätti lokakuun 2011 alussa rakentaa laitoksyksikön Fennovoima-1 Pyhäjoelle. Helmikuussa 2012 laitossyksikkö sai nimen Hanhikivi 1 sijaintipaikkansa mukaan. Rakentamisvaiheessa hanke työllistää Suomessa tuhansia, mikä on valtava haaste ja mahdollisuus koko pohjoiselle Suomelle. Alueelliset kehittämisskeskukset, kauppakamarit ja elinkeinoelämä ovat olleet aktiivisesti mukana hankkeen alusta alkaen tehden yhteistyötä niin paikallisesti, alueellisesti kuin kansallisesti eri toimijoiden kesken. Tietoa ja oppia on haettu myös Olkiluodosta ja seutukunnasta.

Vuoden 2011 alussa Raahan seutukunnan kehittämisskeskus ja Kemi-Tornio alueen kehittämisskeskus laativat selvityksen hankkeen aluetaloudellisista vaikutuksista sekä seutukuntien valmistautumisesta hankkeeseen. Ko. selvitykset löytyvät osoitteesta <http://www.fennovoima.fi/tiedotteet/ajankohtaista/selvitykset-pyha-joen-ja-simon-seutukunnista-valmistuneet>.

Seutukunnissa on tehty paljon pohjatyötä erilaisten projektien ja hankkeiden osalta, jotka kunnolla käynnistyvät kun laitoksen sijoituspaikkakunta on valittu. Alustavat suunnitelmat muun muassa palveluiden laadun ja määrän lisäämiseksi sekä infrastruktuurin kehittämiseksi ovat jo valmiina. Fennovoiman hankkeen etenemisen kannalta on ollut erittäin tärkeää, että Pohjois-Suomen ja erityisesti sijoituspaikan lähistön kunnat ja asukkaat ovat suhtautuneet myönteisesti ydinvoimalan kaltaiseen suurhankkeeseen sen alkutahdeista lähtien.

7.5.2 Olkiluoto/Satakunta

Olkiluodossa toimii TVO:n ja Posivan lisäksi useita palveluyrityksiä, jotka toteuttavat mm. monimuotoisia materiaali-, laite-, suunnittelu-, asennus-, huolto- ja tukipalveluhankintoja. Näiden toimijoiden, satakuntalaisen elinkeinoelämän ja julkisen sektorin välisen yhteistyön parantamiseksi sekä maakunnallisen yhteistyön vahvistamiseksi on perustettu maakunnallinen Olkiluoto-työryhmä. Ryhmässä ovat edustettuina mm. TVO, Posiva, Eurajoen kunta, Rauman ja Porin kaupungit, kauppakamarit, maakuntaliitto, ELY-keskus, Porin yliopistokeskus, SAMK, Prizztech Oy/FinNuclear sekä yrittäjien edustajia. Olkiluoto-työryhmä on jatkoa vuosikymmeniä kestäneelle alueelliselle yhteistyölle.

Alueen toimijat ovat käynnistäneet erilaisia kehityshankkeita tukeakseen Olkiluodossa olevia toimijoita. Esimerkkinä Porin Seudun Kehittämisskeskus Oy POSEK,

joka on TVO:n kanssa käynnistänyt Olkiluoto-yhteyshankkeen. Keskeisenä tavoitteena on tarjota entistä paremmin Porin seudun palveluita Olkiluodossa toimiville yrityksille sekä muille kansainvälisille yrityksille. Tarkoituksena on järjestää ja jäsentää seudun tarjoamat kansainvälisille toimijoille suunnatut julkiset ja yksityiset palvelut yhden luukun periaatteella toimivaksi kokonaisuudeksi. Tätä kautta niiden käyttö ja saavutettavuus helpottuu.

Tavoitteena on Olkiluoto-kokonaisuudesta saatavien aluevaikutusten huomattava lisääminen sekä maakunnan vetovoiman vahvistaminen ja toimintaedellytysten parantaminen suurprojektien toteutusalueena. Hankkeen tarkoituksena on myös paikallisten yritysten saaminen mukaan alihankintaverkostoihin sekä liike-elämän toimintaedellytyksiä tukevien palveluiden vahvistaminen (mm. Porin lentokenttä ja lentoyhteydet).

Vaikka keskeisenä kohderyhmänä ovat käynnissä olevan Olkiluoto 3 -projektin sekä tulevan Olkiluoto 4 -projektin yritykset ja yritysten henkilöstö, luodaan hankkeessa pysyvä täydellinen palvelu, joka on sovellettavissa mihin tahansa alueella toteutuvaan kansainväliseen investointiin tai projektiin.

7.5.3. Loviisa/Uusimaa

Loviisan voimalaitoksella on vakiintuneet suhteet lähialueen yrityksiin. Nämä ovat merkittävässä roolissa esimerkiksi vuosihuoltojen aikana. Loviisa 1:n ja 2:n vuosihuoltoihin osallistuu tyypillisesti noin 60 - 80 eri yritystä ja noin 600 - 900 ulkopuolista työntekijää. Suurin osa näistä yrityksistä on kotoisin Itä-Uudenmaan ja Kymenlaakson alueelta.

Hylätyn periaatepäätöksen jälkeen vuonna 2010 keskeytetyllä Loviisa 3 -projektilla olisi ollut merkittävä vaikutus alueen elinkeinoelämään. Tämän vuoksi Loviisa 3 -projektin valmistelun yhteydessä lähialueen yrittäjiin oltiin aktiivisesti yhteydessä ja heitä informoitiin hankkeen etenemisestä mm. Loviisan Seudun Yrittäjät ry:n ja Kymenlaakson kauppakamarin kautta.

7.6 Johtopäätöksiä ja suosituksia

Tässä luvussa kuvatut aktiviteetit osoittavat, että suomalainen elinkeinoelämä on aktiivisesti valmistautumassa maamme seuraaviin ydinvoimalaitoshankkeisiin. Myös hankkeita valmistelevat yhtiöt Fennovoima ja TVO ovat ilmaisseet toivomuksensa saada mukaan suomalaista teollisuutta ja palveluita mahdollisimman laajasti. Koska Suomessa ei ole kotimaista ydinvoimalaitostoimittajaa, olisi suomalaisten yritysten osallistumisen uuden ydinvoimalan rakentamishankkeisiin luonteeltaan lähinnä alihankintaa ja palveluntarjontaa. Palveluita tarvitsevat voimalaitoshankkeen kaikki osapuolet: hankkeesta vastaava voimayhtiö, hanketta toteuttavat päätoimittajat ja heidän alihankkijansa, sekä hanketta valvovat viranomaiset.

Valtiovalta voi parantaa suomalaisen teollisuuden edellytyksiä osallistua tulevaisuuden hankkeisiin tukemalla osaltaan yrityksille suunnattua ydinvoimatoiminnan ominaispiirteitä koskevaa koulutusta ja valmennusta. Meneillään olevat mittavat muutokset suomalaisessa ydinturvallisuusvalvonnan viranomaiskäytännössä osaltaan lisäävät tätä koulutustarvetta. Toimitusmallista ja toimittajakonsortioiden koostumuksesta riippumatta ydinvoimahankkeisiin osallistuu jatkossakin myös ulkomaalaista työvoimaa. Suomalaisten käytäntöjen noudattamista helpottaisi jos yritysten velvoitteita, esimerkiksi komennusmiesten verotusta, koskeva viranomaisohjeistus olisi saatavilla englannin kielellä.

Tulevien hankkeiden sujuvan läpiviemiselle on tärkeää, että julkinen valta osoittaa hankkeisiin liittyviin viranomaistoimintoihin riittävät resurssit myös paikallisviranomaisten tasolla.

8 VTT:n tutkimusreaktorin (FiR 1) tilanne

Suomen ydinenergiatoiminnan alkuvaiheista lähtien tutkimusreaktorilla (FiR 1) on ollut keskeinen asema eri sovelluksiin liittyvänä kansallisena tutkimus- ja koulutusresurssina. Toiminnan alkuvaiheessa tutkimusreaktorin käytöstä vastaavana organisaationa toimi TKK:n teknillisen fysiikan osaston reaktorilaboratorio. TKK:n siirryttyä opetusministeriön alaisuuteen käyttötoiminta henkilökuntineen siirrettiin 1.7.1971 lähtien VTT:n vastuulle. Siirron yhteydessä määriteltiin myös VTT:n ulkopuolisten organisaatioiden eli korkeakoulujen käyttöoikeudet tutkimusreaktorilla käytettävissä oleviin tutkimusresursseihin. Vuosikymmenien kuluessa alkuvaiheen reaktoritekniikkaan ja reaktorifysiikkaan keskittyneestä toiminnasta on siirrytty yhä monipuolisempaan toimintaan. Tapahtuneet hallinnolliset sekä käyttösovellutusten muutokset edellyttävät myös rahoitusjärjestelyjen uudelleenarviointia.

8.1 Johdanto

Ydinenergiaan liittyvän kansallisen tutkimusympäristön luonnissa tärkeä alkutappi oli 1960-luvun taitteessa tehty päätös hankkia Suomeen tutkimusreaktori. Triga Mark II -tyyppinen tutkimusreaktori (FiR 1) hankittiin USA:sta General Atomicsilta ja otettiin käyttöön keväällä 1962. Siinä vaiheessa vastuu keskeisen kansallisen tutkimusresurssin eli tutkimusreaktorin käyttötoiminnasta annettiin Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan osastolle. Tällöin tutkimusreaktorin käytölle asetettu keskeinen tavoite oli valmistautuminen luomaan monipuolista ydinenergia-alan osaamista, joka tulisi vastaisuudessa olemaan tärkeää hankittaessa, suunniteltaessa, rakennettaessa, luvitettaessa ja käytettäessä kaupallista ydinvoimalaitosta.

Samalla ajanjaksolla, kun Suomessa tehtiin päätös ensimmäisen ydinvoimalaitoksen hankkimisesta ja rakentamisesta Loviisaan, tehtiin myös päätökset kansallisen ydinenergiatutkimuksen laajentamisesta ja organisoinnista. Eri aihepiirien tutkimukset sijoitettiin pääasiassa joko aiempiin tai uusiin VTT:n tutkimuslaboratorioihin. Tutkimusreaktorin käytöstä vastaamaan perustettiin VTT:n reaktorilaboratorio, jolle Valtioneuvoston päätöksellä N:o 41/480/71 huhtikuussa 1971 siirrettiin 1.7.1971 alkaen aiemmin TKK:lle kuuluneet vastuut tutkimusreaktorin käytön edellyttämästä asiantuntemuksen hankinnasta ja ylläpidosta. Samalla määriteltiin korkeakouluille (erityisesti TKK) ja yliopistoille käyttöoikeudet tutkimusreaktorin erityisresursseihin. Reaktoria käytettiin sen alkuvuosikymmeninä Suomen kansallista ydinvoimaohjelmaa tukevaan koulutukseen ja tutkimukseen, teollisuuden toimeksiantoihin ja lääketieteellisiin sovellutuksiin.

Ydinergialain uudistuksen yhteydessä 1987 VTT:lle asetettiin lisätehtäväksi huolehtia tutkimusreaktorin ydinjätehuollon ja käytöstä poiston suunnittelusta ja aikaan myös toteutuksesta. Näiden tehtävien aiheuttamista kustannuksista vastaa kuitenkin Suomen valtio ja tämän mukaisesti ydinjätehuoltorahastoon tutkimusreaktorin osalta tarvittut perusvarat osoitettiin tuolloin kahdessa erässä valtion lisäbudjeteissa osoitettujen erillismäärärahojen myötä. Myös alkuvaiheen jälkeen ydinjätehuoltorahaston varoja on FiR 1:n osalta kartutettu.

Aina 1980-luvun lopulle asti tutkimusreaktorin pääasialliset käyttökohteet liittyivät läheisesti ydinenergian käyttöön, luonnonvarojen kartoitukseen sekä radioisotooppien käyttöön teollisuudessa ja lääketieteessä. Suomessa käynnistettiin vuonna 1991 projekti VTT:n ja MAP Medical Technologies Oy:n aloitteesta boorineutronikaappaushoidon (BNCT) mahdollisuuksien kehittämiseksi. Tutkimusprojektin tavoitteena oli kehittää BNCT-hoitojen tarvitsema laitteisto, hoitoasema ja tarvittavat oheistoiminnot hoidon rutiinikäyttöön FiR 1 -tutkimusreaktorille. Suomen BNCT-projekti on ollut ja on edelleen usean instituutin yhteistyöprojekti, jota alkuvaiheessa rahoittivat Tekes, Suomen Akatemia, HUS/HYKS, VTT, HY ja EU.

Vuonna 1994 perustettiin Radtek Oy, joka voimayhtiöiden, Sitran ja Tekesin rahoituksella rakennutti hoitoaseman peruskomponentit. Sitten Radtek Oy:n toiminta on lakannut ja Radtekin osuus on siirtynyt VTT:lle. Kaikkiaan VTT on panostanut vuodesta 1990 lähtien merkittäviä määriä BNCT:n ja BNCT-säteilytysaseman kehittämiseen. Tällä panostuksella ja yhteistyössä muiden kotimaisten partnereiden ja rahoittajien kanssa on luotu maailman huipputasoa edustava BNCT-hoitoasema. Hoitokonseptia kehittämään ja hoitoja antamaan perustettiin aikanaan NC-Hoito Oy (vuodesta 2002 lähtien Boneca Oy), jonka nykyiset osakkaat ovat Sitra, HYKS-Instituutti Oy ja VTT Ventures Oy.

8.2 Tutkimusreaktoriin nojautuva tutkimus ja tulevaisuuden näkymät

8.2.1 BNCT-tutkimus ja palvelu

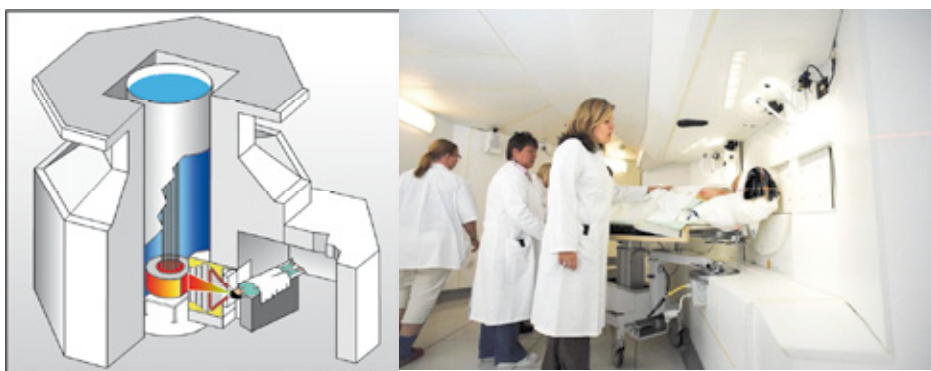
FiR 1 -tutkimusreaktorin alkuhyödyke on neutronisäteily, jolla voidaan edelleen aikaansaada ydinreaktioita ja tuottaa radioaktiivisia isotooppeja. Pääasialliset käyttöalueet ovat sädehoito, tutkimus, opetus ja isotooppituotanto. Tutkimusreaktorilla on edelleen vahva kytkentä ydinenergian käyttöön ja turvallisuuteen ja sen käytöstä vastaa VTT:n ydinenergia-osaamiskeskus. Alkuperäiseen tavoitteeseensa eli ydinenergian käyttöön liittyvä tuki opetukselle ja tutkimukselle on edelleen merkittävä käyttökohde.

Taulukko 8.1. Reaktorin käyttöpäivien jakauma vuonna 2009.

Käyttötarkoitus	%
BNCT-toiminta	45
Isotooppiuotanto ja aktivointianalyysi	40
Koulutustoiminta	10
Muut säteilytykset	5
Yhteensä	100

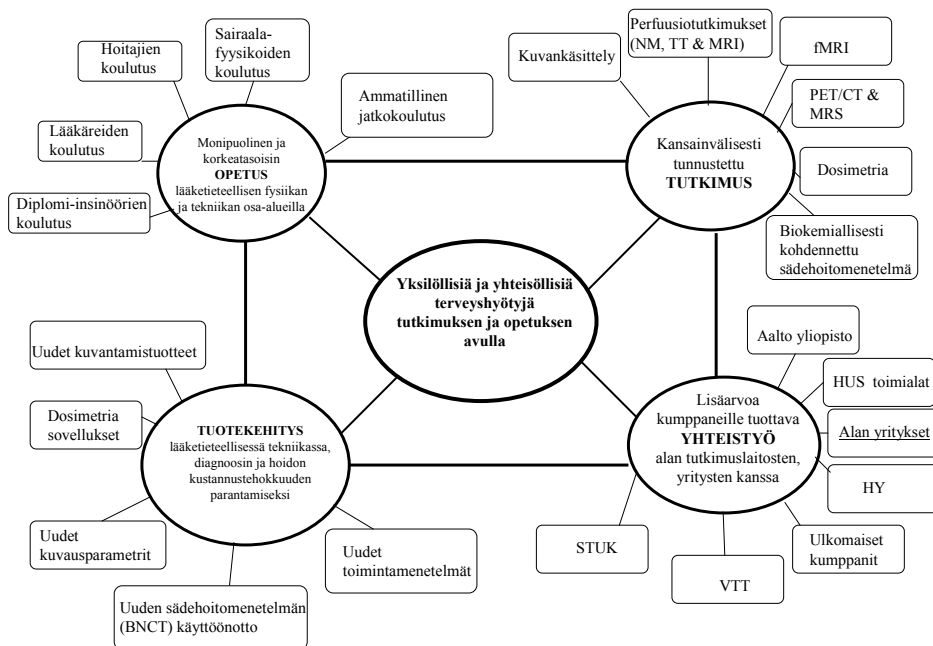
Laajuudeltaan merkittävin toiminta tulee lähitulevaisuudessa kuitenkin olemaan boorineutronisädehoito (BNCT) ja siihen liittyvä tutkimus. Menetelmä on tällä hetkellä maailmanlaajuisestikin merkittävä uusi mahdollisuus hoitaa eräitä pahanlaatuisia kasvaimia. Pään ja kaulan alueen syöpien hoidossa lupaavimmat tulokset on saatu suun ja kaulan alueen kasvaimissa. Menetelmällä hoidetaan edelleen myös aivokasvainpotilaita sekä jatkossa myös muita syöpiä.

Kuva 8.1. Tutkimusreaktorin FiR 1 yhteydessä toimiva BNCT-hoitoasema.



Hoitopalvelut tuottaa tarkoitusta varten perustettu VTT:n, HYKS Instituutin ja Sitran omistama Boneca Oy yhteistyössä HUS:n Helsingin yliopistollisen keskussairaalan ja VTT:n kanssa. Sädehoitoa varten tutkimusreaktoriin on tehty BNCT-hoitoasema ja reaktorirakennukseen on rakennettu 1990-luvun jälkipuoliskolla uudet tilat tätä toimintaa varten. Kaikkiaan BNCT-hoitotoiminnan kehittämiseen osallistuu laaja joukko eri organisaatioita ja sen yhteydessä toteutuu kuvan 8.2 osoittamalla tavalla hyvin laajan, monitieteellisen asiantuntemuskentän yhdistäminen.

Kuva 8.2. BNCT-hoitotoiminnan kehityksen liittyntä monipuoliseen yhteistyöhenttään kattaen muun muassa opetuksen, tutkimuksen sekä tuotekehityksen tarpeet.



Hoitotoiminta on jo vakiintunutta ja yleisen sädehoidon laadunvalvonnan piirissä, mutta vuositasolla vielä toistaiseksi volyymiltaan pienimuotoista. Hoitosäteilytyksiä on annettu kaikkiaan jo yli 250 kertaa ja hoidettu yli 200 potilasta. Pääosin hoidetut kasvaimet ovat olleet aikaisempien hoitojen jälkeen uusiutuneita, pitkälle edenneitä jo leikkauksen ja tavanomaisen hoidon jälkeen uusiutuneita aivokasvaimia ja pään ja kaulan alueen syöpäkasvaimia. Tähän mennessä julkaistuissa tutkimuksissa on selvitetty saavutettujen hoitotulosten ohella hoidossa käytettävän boorin kantaja-aineen (boorifenylalaniinin) annostelua ja siihen liittyviä tekijöitä sekä hoitotekniikkaan liittyviä muita seikkoja sekä hoitomenetelmän tehoa ja turvallisuutta. Kliiniset tutkimukset tapahtuvat yhteistyössä HYKS:n syöpätautien klinikan kanssa. HUS on sitoutunut tilaamaan Bonecalta tarpeen mukaan ainakin 50 hoitoa vuodessa. Pään ja kaulan alueen syövässä saatujen hyvien hoitotulosten pohjalta Boneca tähtää strategisessa suunnitelmassaan jo lähivuosina vuosittaisten hoitomäärien kasvattamiseen useampikertaiseksi nykyiseen verrattuna.

Huolimatta viime aikoina saavutetuista hyvin onnistuneista hoitotuloksista, jotka on julkaistu arvostetuissa kansainvälisissä lääketieteen aikakauslehdissä, on huomattava, että hoidetut potilassarjat ovat kuitenkin olleet varsin pieniä. Niistä ei tässä vaiheessa voida vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä hoidon tulevasta kliinisestä merkityksestä. Hoitomuoto vaatii vielä lisää tutkimuksia ja suurempia

potilasmääriä ennen kuin se voidaan ottaa laajempaan ja monipuolisempaan käyttöön. Muun muassa hoidon tehon kesto ja sen mahdollisten myöhäisten haittavaikutusten selvittäminen vaativat myös pidempää seuranta-aikaa. Tämän vuoksi on kaupallisin perustein toimivan hoitotoiminnan ohella tarvetta kohdistaa vielä myös julkisia tutkimusvaroja ainakin lähivuosina tämän uuden hoitomuodon edelleen kehittämiseen ja monipuolistamiseen.

Boneca Oy:n ja muiden boorineutronisädehoitoa tutkivien omana visiona on, että hoitojen määrä tulee jatkossa kasvamaan ja että Suomi voisi tulevaisuudessa olla alan tutkimuksen keskuksena.

FiR 1 -tutkimusreaktorin käyttö syöpähoitoihin tulee siis entisestään lisääntymään. Bonecan pitkän aikavälin strategisen suunnitelman mukaan reaktori korvataan pitkällä tähtäimellä kiihdytinpohjaisella, sairaalaan sijoitettavalla hoitosäteilytysasemalla, mutta tämän on arvioitu voivan tapahtua aikaisintaan vuonna 2023.

Syöpähoitojen ohella merkittävällä osalla reaktorin käyttöpäivistä tuotetaan lyhytikäisiä isotooppeja lähinnä teollisuuden merkkiainetutkimuksiin ja lääkinnällisiin tarkoituksiin. Neutroniaktiointianalyysiä käytetään nykyisin pääasiassa elektroniikka- ja kemianteollisuuden prosessianalyysihin. Elektroniikkalaitteiden testaamiseen neutronisäteilyllä on ollut viime vuosina kasvava kysyntä.

8.2.2 Lääketieteellinen ja lääketieteellisen fysiikan opetus ja tutkimus

Vuodesta 1993 lähtien aloitettiin Suomessa BNCT-hoitojen dosimetristen kysymysten selvittely kattaen tietämyksen kartuttamisen muun muassa neutronidosimetriaan, annossuunnitteluun sekä radiobiologiaan liittyen. Vuonna 1996 kaikki tarvittavat näihin aihepiireihin liittyvät perusselvitykset oli tehty ja hoitoihin tähtäävät tutkimussuunnitelmat esiteltiin myös julkisesti.

Lääketieteellisen fysiikan aihepiirissä on työskennellyt vuoden 1995 jälkeen useita nuoria tutkijoita, jotka ovat olleet mukana laajoissa kansainvälisissä projekteissa. Tämän toiminnan tuottavuudesta ovat osoituksena vuosina 1995-2010 valmistuneet 9 lääketieteellisen fysiikan aihepiiriin kuuluvaa väitöskirjaa, 9 pro-gradu -tutkielmaa sekä yksi diplomityö. Tällä hetkellä BNCT-toimintaan liittyen on valmistumassa kaksi lääketieteellisen fysiikan alan väitöskirjaa. Suurin osa BNCT:hen liittyvistä dosimetristä mittauksista on tehty laajana kansainvälisenä tutkimusyhteistyönä sekä Euroopassa että USA:ssa.

BNCT-toimintojen myötä FiR 1 -tutkimusreaktorista on muodostunut paitsi toimiva hoitoasema myös merkittävä opetus- ja tutkimusyksikkö, jossa tehdään runsaasti alan perustutkimusta. Muun muassa neutronidosimetrian edelleen kehittäminen kohti yksilöllistä annossuunnittelua on yksi merkittävä osakohde, jossa työskentelee kaksi Helsingin yliopiston väitöskirjan laatijaa. Lisäksi tutkimusreaktorilla on yhden vuoden sairaalafysiikan käytännön harjoittelun koulutusoikeudet.

Perusopetuksen tarpeiden toteuttamisen ja sairaalafysiikoiden käytännön harjoittelupaikan tarjonnan ohella tutkimusreaktori toimii kansainvälisesti tunnustetuna BNCT-hoitoihin liittyvänä tutkimusyksikkönä, jossa voidaan yhdistää laaja lääketieteellisen fysiikan sekä neutronifysiikan teoreettinen ja käytännön osaaminen.

8.2.3 Tutkimusreaktorin rooli ydinenergia-alan osaamisen varmistamisessa ja koulutuskäytössä

FiR 1 -reaktorilla on edelleen suuri merkitys ydintekniikan korkeakouluopetuksen tukena. Sillä on perinteisesti suoritettu Aalto-yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) reaktorifysiikan ja reaktoritekniikan oppilastöitä. Viime vuosina oppilastöiden laajuutta on supistettu aikaisemmasta, mutta töillä on edelleen tärkeä rooli teoriakurssien täydentäjänä: ne tutustuttavat tulevat diplomi-insinöörit ydinreaktorin toimintaan ja ohjaamiseen autenttisessa ympäristössä. Yhteensä Aalto-yliopisto ja LUT tekevät oppilastöitä 8–10 reaktoripäivän verran vuodessa. Uuden Aalto Nuclear Safety -ohjelman myötä tarve ei ole ainakaan vähentymässä.

Reaktorin käyttö ulkomaisten oppilaitosten ja kurssinjärjestäjien tarpeisiin on lisääntynyt viime vuosina, kun lähialueen muita tutkimusreaktoreita on suljettu. Tukholman kuninkaallisen teknillisen korkeakoulun (KTH) ydintekniikan maisteriopetuksessa on hyödynnetty FiR 1 -reaktoria ainakin vuoteen 2008 asti. Vastaavia järjestelyjä on suunniteltu Tarton ja Tallinnan yliopistojen kanssa, kun ne ovat käynnistämässä ydintekniikan opetusta Virossa syksyllä 2011.

Uppsalan yliopiston täydennyskoulutuskurssit ruotsalaisten ydinvoimaloiden työntekijöille ovat ryhtyneet säännönmukaisesti käyttämään FiR 1 -tutkimusreaktoria. Reaktorilla on annettu käytännön opetusta myös ydintekniikan alan yritysten järjestämän kurssituksen yhteydessä.

Reaktorin käytöstä kansallisella ydinturvallisuuskurssilla (YK) on keskusteltu, mutta YK-kurssin laajuuden vuoksi varsinaista reaktorityöosuutta olisi järkevintä tarjota erillisenä kurssina ja vain valikoiduille YK-kurssin osallistujille. Tällä hetkellä YK-kurssin ohjelmassa on tutustuminen FiR 1 -reaktoriin luennon ja tutustumiskäynnin muodossa.

Ydinjätehuollon ns. pilot-hankkeena toteutetulla kansallisella kurssilla järjestettiin vuonna 2010 tutustumiskäynti tutkimusreaktorilla. Kurssipalautteen perusteella vastaavanlainen vierailu tutkimusreaktorilla toteutetaan myös varsinaisella kurssilla. Tutustumiskäynnit tutkimusreaktorilla ovat kuuluneet myös säännöllisesti vuodesta 2003 lähtien osaksi Posivan ydinjätehuollon täydennyskoulutuksen kurssiohjelmaa.

Tutkimusreaktorin käyttöä ydinenergiateknologian koulutustoimintaa tukevana opetusympäristönä on perusteltua laajentaa. Jatkossa tulisi keskustella, miten tutkimusreaktoria voitaisiin käyttää myös viranomaisten ja operaattorien koulutustarpeisiin ja mahdollisesti muun toiminnan tarpeisiin. Erityisesti uusien

ydinvoimayksiköiden henkilöstön koulutukseen FiR 1 -reaktori voisi tarjota arvokasta täydennystä.

Itämeren tutkimusreaktoriverkosto (Baltic Research Reactor Network, BRRN) tarjoaa mahdollisuuden opetuskäytön laajentamiseen. Toinen mahdollisuus on hyödyntää eurooppalaisten ydinalan yliopistojen verkostoa (European Nuclear Education Network, ENEN), jonka jäseniä Aalto-yliopisto ja LUT ovat. FiR 1 -reaktorin opetus- ja koulutustoimintaa koskevissa asioissa VTT:n olisi suositeltavaa laajentaa yhteistyötään Aalto-yliopiston kanssa. Reaktoriohjaajien kouluttaminen Aalto-yliopiston henkilökunnasta reaktorin oppilastyötarpeisiin antaisi lisää liikkumavaraa.

Visioitu FiR 1 -reaktorin BNCT-hoitokäytön voimakas laajentaminen saattaa myöhemmin muodostaa jonkinlaisen uhkan koulutuskäytön laajentamiselle. Kun nykyisin reaktoriaikaa on allokoitu 8 tuntia viikossa koulutuskäyttöön, pitkän aikavälin tulevaisuudennäkymissä tätä on supistettu 4 tuntiin. Ratkaisuna tähän voisi olla kesäkurssien tarjoaminen, jos oletetaan reaktorin hoitokäytön pitävän taukoa keskikesällä.

Taulukko 8.2. Opiskelijoiden (LUT, TKK ja KTH) sekä ammatillisten täydennyskoulutettavien (Uppsalan yliopisto, ÅF) määrät vuosina 2009 ja 2010.

Vuosi	2009	2010
LUT	8	21
TKK / Aalto-yliopisto	52	45
KTH	0	0
Uppsalan yliopisto	61	67
ÅF	16	0
Yhteensä	137	133

8.4 Rahoituksen nykytilanne, kehittymisarviot ja monipuolistamistarpeet

Tutkimusreaktorin muuntamiseen BNCT-hoitotoimintaan soveltuvaksi saatiin hankkeen kehitysvaiheessa rahoitusta VTT:n perusrahoituksen ohella Tekesiltä, Sitralta, voimayhtiöiltä ja EU:lta. BNCT-hoitotoiminta VTT:n tutkimusreaktorilla on jo suunnilleen vuosikymmenen ajan pääosin nojautunut hoitotoiminnasta saataviin ulkopuolisiin tuloihin. Hoitotoiminnan volyymien kasvu on kuitenkin ollut varsin vauhdista ja tämän vuoksi toiminta on viime vuosina ollut VTT:lle tappiollista ja myöskään yleisemmin ei ole Suomessa voitu riittävästi panostaa tämän uuden hoitomuodon lääketieteelliseen ja teknilliseen kehittämiseen.

Viimeaikaisiin myönteisiin hoitotuloksiin pohjautuen Boneca Oy:n strategian mukaan BNCT-hoitotoiminnan volyymien odotetaan selvästi kasvavan lähivuosina. Tästä huolimatta on ainakin lähivuosina vielä tarpeen saada ostopalveluina toteutettavien hoitojen ohella käyttöön myös julkisia tutkimusvaroja normaaliin

hakumenettelyyn pohjautuen, jotta BNCT-tekniikkaan pohjautuvia syöpäkasvainhoitoja voidaan ostopalveluina toteutettavien hoitomuotojen ohella edelleen kehittää ja monipuolistaa erilaisten kasvainten hoitoon soveltuvaksi.

BNCT-toiminnan ohella tutkimusreaktorin käyttöä myös perinteisiin toimintamuotoihin on tarpeen kehittää. Erityisesti tutkimusreaktorin käyttöä ydinenergiateknologian koulutustoimintaa tukevana opetusympäristönä myös voimalaitosten operaattori- ja muun toiminnan tarpeisiin on perusteltua laajentaa.

Monissa EU-maissa tutkimusreaktoreihin liittyvään tutkimustoimintaan suunnataan suhteellisesti huomattavasti enemmän julkista kansallista rahoitusta ja kaupallisen toiminnan osuus reaktoreiden ylläpitokustannuksista on selvästi vähäisempää kuin FiR 1:llä. Neutronifysiikan ja -tekniikan tutkimukseen keskittyvillä reaktoreilla tarjotaan tyypillisesti tieteellisin kriteerein valituille tutkimushankkeille neuronisuihkuaikaa ilman erillisveloitusta joko kansallisilla tai kansainvälisillä rahoitusjärjestelyillä. Näitä ovat mm. Institut Laue-Langevin (ILL) Grenoblessa, FRM II Münchenissä ja Berlin Neutron Scattering Center BER II -reaktorilla Berliinissä.

Opetus- ja koulutustoimintaan soveltuvat reaktorit ovat tyypillisesti yliopistojen tai erityisten valtiollisten koulutuskeskusten käytössä ja kustantamia. Ne eivät tyypillisesti edellytä koulutustoiminnan kattavan reaktorin ylläpitoa vaan ainoastaan toiminnan marginaalikustannukset. Eastern European Research Reactor Initiative (EERRI) -verkoston puitteissa on järjestetty kansainvälistä opetusta ja koulutusta. Viime vuosina sen toiminta on suuntautunut pois opetuksesta uusien ydinenergiavaltioiden ja -organisaatioiden henkilöstön perehdytyskoulutukseen, usein IAEA:n organisoimana. FiR 1 -reaktorin jälkeen Suomea lähinnä oleva opetukseen soveltuva reaktori on EERRI-verkostoon kuuluva Prahan teknillisen korkeakoulun VR-1 reaktori.

Tutkimusreaktorin käytön laajentamista isotooppituotannon tarjoajana rajoittaa merkittävästi se, että sekä Euroopassa että laajemmin kansainvälisesti isotooppituotannon markkinat ovat merkittävästi julkisella rahoituksella subventoituja ⁷.

Tutkimusreaktorin rahoitukseen saatiin ulkopuolisia tuloja vuonna 2010 noin 300 k€, mistä BNCT-toiminnan osuus oli noin 60 %. Tässä vaiheessa BNCT-toiminnan laajuus ei ole vielä riittävän suuri ja tämän vuoksi FiR 1 -tutkimusympäristöön liittyvistä yleiskustannuksista jäi vuonna 2010 kattamatta noin 175 k€.

8.5 Työryhmän suositukset

Työryhmässä käsiteltyjen tietojen perusteella tutkimusreaktorin toimintaa on tarpeen jatkaa myös tulevaisuudessa ottaen huomioon sen merkitys sekä ydinenergia-sektorin tutkimus- ja koulutustoiminnan osalta että yleisemmin myös lääketieteellisten sovelluksien, erityisesti BNCT-hoitojen edelleen kehittämisen ja monipuolistamisen kannalta.

⁷ The Supply of Medical Radioisotopes, An Economic Study of the Molybdenum-99 Supply Chain, NEA No. 6967, OECD 2010.

Tämä edellyttää rahoituspohjan monipuolistamista ja varmistamista ja tällöin tulee ottaa huomioon tutkimusreaktorin käyttökohteiden monipuolisuus.

Tutkimusreaktorin käyttöä ja soveltamista Suomessa perinteisen ydinenergiantuotannon opetus- ja koulutuskäyttöön tulee elvyttää. Alkuperäiseen tilanteeseen 1970-luvun alkupuolella verrattuna toiminnan taloudelliset puitteet ovat kuitenkin Suomessa muuttuneet ja näin ollen tutkimusreaktorilla tapahtuvan opetuksen ja koulutuksen osuuden kasvattaminen edellyttää, että yliopistojen käyttöön osoitetaan riittävät määrärahat.

Opetus- ja koulutustoiminnan osalta on tarpeen tiivistää yhteistyötä VTT:n, Aalto-yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston välillä. Aalto-yliopisto voisi olla jatkossa entistä selkeämmin tutkimusreaktoria hyödyntävien koulutus- ja opetuspalveluiden pääasiallinen tuottaja. Edellytyksenä tälle on, että rahoitusjärjestelyissä otetaan huomioon tutkimusreaktorin infrastruktuurin ylläpitämiseen koulutustoiminnan osalta tarvittava osarahoitus.

BNCT-hoitojen tieteellis-teknisiin perusteisiin kohdistuvan perustutkimuksen rahoituksen monipuolistaminen edellyttää eri osa-aihepiireistä vastaavien tahojen välistä yhteistyötä, jotta voidaan kattaa sekä lääketieteelliseen taustaan että lääketieteelliseen fysiikkaan ja tekniikkaan suuntautuvan toiminnan edellyttämä lisärahoitustarve. Vaikka VTT:n yleisiin tavoitteisiin kuuluukin eri teknologioiden kehittämisen ohella myös yhteiskunnan turvallisuuden ja hyvinvoinnin tukeminen sekä uusien teknologioiden kehittäminen ihmisten terveyden ja hyvinvoinnin edistämiseksi, tulisi BNCT-toiminnan osalta sopia eri sektoreita kattavien tahojen kesken hoidoissa keskeisen FiR 1 -tutkimusreaktorin edellyttämän kokonaisrahoituksen kattamisesta.

9 Keskeiset tulokset ja suositukset

Tähän lukuun on koottu työryhmän keskeiset tulokset ja suositukset ydinenergia-alan osaamisen pitkäjänteiseksi varmistamiseksi. Aiempien lukujen loppuun on kirjattu yksityiskohtaisempia johtopäätöksiä, jotka nekin ovat työryhmän yhdessä hyväksymiä.

Yleisesti osaamistarpeista ja -tasosta

Uudet ydinlaitoshankkeet edellyttävät merkittävää osaajajoukkoa niiden suunnittelu-, rakentamis- ja käyttövaiheissa samanaikaisesti kuin nykyisten laitostyöyksiköiden käyttö jatkuu. Uusien yksiköiden laitosvaihtoehdot ovat mahdollisesti sellaisia, joita ei ole aikaisemmin rakennettu maahamme. Posivan suunnittelema käytetyn polttoaineen loppusijoituslaitos on ensimmäinen laatuaan maailmassa. Kaikki tämä asettaa vaatimuksia osaamispohjan kehittämiseksi yhtiöissä ja koko yhteiskunnassa. Suomi on myös Euroopan unionin velvoitteiden ja kansainvälisten sopimusten kautta sitoutunut ylläpitämään ydinenergian käyttöön ja valvontaan liittyvää kansallista osaamista.

Suomalainen ydinturvallisuuden taso on korkea ja Säteilyturvakeskus on kansainvälisesti arvostettu ydinturvallisuusviranomainen. Suomalaiset ydinvoimalaitokset toimivat luotettavasti korkeilla käyttökertoimilla. Korkeatasoisen toiminnan varmistamiseksi tarvitaan jatkuvaa laitosten, niitä käyttävien organisaatioiden ja ydinturvallisuusosaamisen kehittämistä. Kehittyneeseen turvallisuuskulttuuriin kuuluu ydinturvallisuuden jatkuva parantaminen, mihin myös ydinenergiailaki velvoittaa.

Ydinenergiaa käytetään Suomessa valtioneuvoston ja eduskunnan päätösten määrittämässä laajuudessa. Olemassa olevien ja suunniteltujen laitosten turvallinen ja luotettava toiminta edellyttää vahvaa kansallista osaamispohjaa.

Ydinenergia-alan lainsäädäntö ja sääntely

Ydinenergian käyttäjä on lain mukaan vastuussa toiminnan turvallisuudesta. Suomalaiset ydinlaitokset toimivat ennen kaikkea kansallisen ydinenergialainsäädännön puitteissa. Ydinturvallisuutta koskeva täsmällisempi normisto annetaan YVL-ohjeissa, jotka laatii Säteilyturvakeskus ydinturvallisuudesta vastaavana viranomaisena.

Kansallinen säännöstö on avainasemassa myös tulevaisuudessa, vaikka Kansainvälisen atomienergiajärjestön IAEA:n yleissopimukset, ydinturvallisuusstandardit ja muut normit luovat globaalia pohjaa säännöstölle. Kansallisen säännösten merkitystä ei vähennä sekään, että EU:n (Euratom) piirissä on vastikään annettu ensimmäiset, yleiset ydinturvallisuusdirektiivit.

Suomen ydinturvallisuussäätelyä tulee jatkossakin kehittää vastaamaan korkeimpiin ydinturvallisuusvaatimuksiin. Keskeinen osa kansallista osaamisohjaa on korkeatasoinen lainsäädäntö ja ajantasainen ydinturvallisuusvalvonta.

Henkilöstötarpeet

Ydinenergia-alalla tarvitaan korkeasti koulutettua henkilöstöä. Tehdyn kyselyn mukaan alalla työskentelevistä noin 3300 henkilöstä 80 %:lla on korkeakoulututkinto. Koulutus on tyypillisesti teknistieteellinen tai luonnontieteellinen. Työntekijöiden kokemusvuosijakauma on "kaksikyttyräinen": henkilöstössä on paljon sekä uusia että hyvin kokeneita työntekijöitä, mutta 10–20 vuotta alalla olleita on vähän.

Ydinenergia-ala laajenee ja henkilöstömäärä kasvaa sitä myötä arviolta 38 % vuoteen 2025 mennessä. Tällöin alalla tarvitaan noin 4500 henkilöä. Koulutustarvetta määrittää alalla tapahtuva sukupolven vaihdos. Eniten uusia asiantuntijoita tarvitsevat voimayhtiöt ja Posiva. Määrällisesti eniten lisää henkilöstöä tarvitaan seuraaville asiantuntija-alueille: rakennustekniikka, automaatio ja valvomo, mekaniikka ja konetekniikka, sähkötekniikka, prosessitekniikka sekä laadunhallinta ja tarkastustoiminta.

Ydinenergia-alan kasvusta aiheutuvan rekrytointitarpeen lisäksi eläkkeelle jäävän henkilöstön tilalle on löydettävä ja koulutettava uusia osaajia. Yhteensä alalle tarvitaan vuoteen 2025 mennessä noin 2400 uutta henkilöä, joilla on oltava osaamista alan erityispiirteistä.

Koulutus

Asiantuntija-alueista suurin kasvu kohdistuu niin sanotuille konventionaalisen tekniikan aloille. Näille asiantuntijoille ei tarvita ydinenergia-alan pääainetasoista koulutusta vaan sivuaine- tai täydennyskoulutusta ydinenergia-alan erityispiirteistä kuten esimerkiksi ydinturvallisuudesta. Täydennyskoulutusta kuten muutokoulutusta ja ammatillista erikoistumiskoulutusta tarjoavat yliopistojen ja korkeakoulujen yhteydessä toimivat täydennyskoulutuskeskukset sekä joukko ammattikorkeakouluja. Kasvutarvetta on esimerkiksi laadunhallinnassa ja projektitoiminnassa. Myös ydinenergiasektorilla toimiville turva-alan osaajille tarvitaan erityiskoulutusta.

Keskeiset ydinenergia-alan asiantuntija-alueet ovat joka tapauksessa tulevaisuudessaakin huomattava asiantuntijahenkilöstöä vaativa kenttä. Nykyiset asiantuntijat ovat suurelta osin saavuttamassa eläkeiän.

Varsinaista ydinenergia-alan keskittävää tohtoritason koulutusta antavat Suomessa vain Aalto-yliopisto, Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Helsingin yliopiston radiokemian laboratorio. Näiden lisäksi alalle tulevia tohtoreita on kouluttanut lähinnä Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos. Itä-Suomen yliopiston Kuopion yksikössä on säteilysuojeluun keskittävää tohtorikoulutusta.

Pää- ja sivuainetasoista opetusta antamaan tarvitaan lisää ydinenergia-alan päätoimisia professoreita ja muita alaan syvällisesti perehtyneitä yliopisto-opettajia. Tämä edellyttää alan huippututkimusta ja merkittävää määrää jatko-opiskelijoita. Yliopistojen yhteistyötä tarvitaan muun muassa pätevän sivuaineopetuksen järjestämiseksi. Vastaava yhteistyö on tarpeen myös ammattikorkeakouluissa. Alan eri toimijoiden asiantuntijoita on järkevää hyödyntää opetuksessa.

Kansainvälinen koulutusyhteistyö on välttämätöntä, erityisesti jatkotutkintovaiheessa. Tätä voidaan toteuttaa tehokkaasti muun muassa yliopistojen ja tutkimuslaitosten opiskelija- ja tutkijavaihtona. Ydinenergia-alalla on kuitenkin erityisesti ydinturvallisuutta koskevia kansallisen harkinnan mukaan asetettuja vaatimuksia, joita kansainvälinen koulutus ei voi kattaa. Tämän vuoksi on huolehdittava erityisesti kansallisesta korkeatasoisesta koulutuksesta.

Täydentävää koulutusta tulee kehittää laaja-alaisesti. Uutena koulutusalueena voidaan mainita ydinenergian käyttöön liittyvä turva-alan koulutus.

Epäsuoremmin ydinenergia-alaan liittyen on esimerkiksi terveydenhuoltoalan säteilysuojelukoulutuksessa selvitysten mukaan parannettavaa.

Täydentävää koulutusta tulee kehittää säteilysuojeluosaamisen parantamiseksi erityisesti terveydenhoitoalalla.

Koulutus- ja tutkimuspanoksia kokonaisuutena tarkastellen Suomi on kansakuntana pieni. Ydinenergia-alan asiantuntemus ja osaaminen tuleeikin maassamme voida hyödyntää laaja-alaisesti ja tehokkaasti. Ydinenergiatekniikan erikoisalojen syvällisen osaamisen voi hankkia käytännössä vain opintojen jälkeisellä usean vuoden työskentelyllä erityisosaamista vaativissa tehtävissä. Vaaditut taidot voi Suomessa hankkia lähinnä korkeatasoisissa tutkimus- ja kehittämistehtävissä, esimerkiksi VTT:ssä tai yliopistoissa.

Yhteiskunnan kannalta on perusteltua panostaa ydinenergia-alan korkeatasoiseen tutkimukseen ja koulutukseen. Tästä saatava hyöty jakaantuu koko toimialalle ja laajemminkin teollisuudelle sekä hyödynnettävinä tuloksina että uusina osaajina.

Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusosaaminen

Säteilyturvakeskuksen ydinturvallisuusvalvonnan kustannukset kerätään valvottavilta yhtiöiltä, mikä varmistaa osaltaan riittävien valvontaresurssien ylläpitämisen. Tämä on tärkeää muun muassa ydinlaitoshankkeiden turvallisen ja sujuvan toteutuksen näkökulmasta. STUK on maailmanlaajuisesti arvostettu ydinturvallisuusviranomainen. Sen asiantuntemus on erittäin kysyttyä kansainvälisillä forumeilla samoin kuin kahdenvälisesti.

Säteilyturvakeskuksen korkea asiantuntemus ja tehokkaan valvonnan mahdollistavat resurssit hyödyttävät koko Suomen ydinenergia-alaa. Ydinturvallisuusvalvonnan voimavarat on tarpeen turvata pitkäjänteisellä tavalla myös tulevaisuudessa.

Säteilyturvakeskuksen osaamista on järkevää hyödyntää myös laajemmin muun muassa alan kansainvälisen normiston ja Suomen lähialueiden ydinturvallisuuden kehittämisessä.

Tutkimus Suomessa

Ydinenergian turvallisen käytön perustana on kansallinen tutkimustoiminta ja siihen liittyvä osaaminen. Kansallisten valmiuksien kehittäminen ja laaja-alainen käyttö edellyttävät pitkäjänteistä suunnittelua, alan tuntemusta ja kansainvälistä yhteistyötä. Kansainvälisen yhteistyön avulla voidaan laajentaa osaamista, koevalmiuksia ja saada merkittäviä tutkimustuloksia käyttöön.

Ydinenergia-alan turvallisuustutkimusta on viime vuosikymmeninä toteutettu 3-5 vuoden mittaisina julkisina tutkimusohjelmina. Ydinenergiakiin liitettiin vuonna 2004 säännökset alan tutkimushankkeiden rahoittamisesta. Valtion ydinjätehuoltorahaston tutkimusvarat kerätään vuosittain yhtiöiltä ja jaetaan ydinturvallisuustutkimusohjelman (SAFIR) sekä ydinjätehuollon tutkimusohjelman (KYT) kautta. Tarkoituksena on alan asiantuntemuksen varmistaminen siten, että viranomaisten käytettävissä on tarvittaessa asiantuntemusta ja muita valmiuksia turvallisuusselvityksiin.

Kokonaisrahoituksen määrä ei ole toistaiseksi saavuttanut reaalisesti 1990-luvun alun tasoa, vaikka rahoitusta on viime vuosina lisätty. Vuonna 2010 ydinenergiatutkimukseen käytettiin Suomessa 73,5 miljoonaa euroa. Tästä yhtiöiden osuus oli 72 %, VTT:n 8 % ja Valtion ydinjätehuoltorahaston 6 %. Tekesin ja EU:n tutkimusohjelmien osuus jäi alle viiden prosentin. Kokonaissummasta kaksi kolmasosaa käytettiin ydinjätetutkimukseen ja viidennes reaktoriturvallisuustutkimukseen sekä alle kymmenesosa fuusioenergiatutkimukseen.

Ydinvoimayhtiöistä sekä Fortumilla että Teollisuuden Voimalla on merkittävää ydinenergiatutkimusta. Painopistealueita ovat laitosyksiköiden käyttöiän pidentäminen, modernisointi ja uusien rakentaminen sekä ydinjätehuolto. Posivan tutkimus- ja kehitystyö tähtää käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen. Fennovoima on uutena toimijana kehittämässä omaa tutkimustoimintaansa. Yhtiöt osallistuvat osana tutkimustoimintaansa myös kansallisiin koordinoituihin tutkimushankkeisiin.

Yliopistotason ydinenergian käyttöön liittyvää tutkimusta harjoitetaan laaja-alaisesti varsinkin Aalto-yliopistossa ja Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa. Helsingin yliopiston radiokemian laitos sekä Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratorio ovat myös merkittäviä alan tutkimusorganisaatioita. Tutkimuslaitoksista VTT:llä on useat ydintekniset osaamisalueet kattavaa tutkimustyötä, joka pitää sisällään fission ja fuusion energialähteinä sekä tarkastelee ydinlaitoksen elinkaaren kaikkia vaiheita, mukaan lukien ydinjätehuolto.

Ydinenergiaa koskeva tutkimustoiminta ei voi Suomessa kattaa syvällisesti esimerkiksi kaikkia ydintekniikan osa-alueita, vaan huippuosaaminen voidaan saavuttaa vain rajallisella määrällä niistä. Kattavaa kansallista strategiaa tutkimusresursien suuntaamiseksi ei kuitenkaan tällä hetkellä ole.

Päävastuu ydinenergiatutkimuksen rahoittamisesta on nyt ja tulevaisuudessa alan yhtiöillä. Valtion tulee osaltaan huolehtia riittävästä panostuksesta suomalaisen tutkimusosaamisen kehittämiseen ja asiantuntemuksen varmistamiseen. Tämä tapahtuu merkittävältä osin Valtion ydinjätehuoltorahaston tutkimusrahoituksen kautta.

Yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa tehdään laadukasta perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta, jonka merkitys osaamisen kehittämisessä on suuri. VTT:n tutkimustoiminta on laaja-alaista ja palvelee monella tavalla koko ydinenergia-alaa. Tämän tutkimuksen, jolle ydinenergian käytön sovellutukset ja turvallisuustutkimus rakentuvat, rahoitus on syytä varmistaa. Ydinenergiaa tulee tarkastella tasavertaisena muiden energialähteiden rinnalla tutkimuspanoksia kohdennettaessa.

Ydinenergia-alan suomalaisen tutkimuksen tulevat tarpeet ja painopisteet tulee täsmentää ja laatia tutkimustoiminnan kehittämiseksi pitkän aikavälin strategia. Tämä edellyttää erillistä, alan tutkimusorganisaatioiden ja muiden toimijoiden yhteistä hanketta.

Valmiustoimintaan liittyen Suomessa on varauduttu radioaktiivisten aineiden leviämiseen ympäristöön. Tällaisen tapahtuman lähtötilanteena voi olla esimerkiksi ydinlaitosonnettomuus ulkomailla tai kotimaassa taikka muu säteilyn käyttöön liittyvä tapahtuma. Säteilystä aiheutuvien tilanteisiin ja pelastustoimiin varautumiseksi tarvitaan osaamista radioaktiivisten aineiden leviämisestä sekä näiden vaikutuksista ihmisiin ja ympäristöön. Aihepiirin tutkimuksella on vahva liittymäpinta ydinenergian käytön tutkimukseen. Tutkimusalueella aktiivisesti toimivia organisaatioita ovat Säteilyturvakeskus ja sen yhteistyökumppanit kuten esimerkiksi Ilmatieteenlaitos ja VTT.

Säteilytilanteisiin varautumiseen ja ympäristön säteilyvalvontaan liittyvä korkeatasoinen tutkimus on välttämättömyys ja suomalaisen yhteiskunnan kokonaishedun mukaista. Tämän tutkimuksen rahoitus tulee jatkossakin turvata.

Osallistuminen kansainväliseen tutkimustyöhön

Suomalaiset ydinenergia-alan toimijat osallistuvat kansainväliseen tutkimustyöhön varsin laajalla rintamalla. Pienessä maassa kaikkea tutkimusta ei voida eikä ole taroituksenmukaistakaan tehdä itse. Omia tutkimustuloksia ja välineistöjä tarvitaan kuitenkin myös yhteistyöhön pääsemiseksi.

OECD:n ydinenergiajärjestön NEA:n ja EU:n (Euratomin) hankkeilla on alalla ylivoimaisesti suurin merkitys. Pohjoismaiset NKS-hankkeet ovat kooltaan pieniä, mutta yhteispohjoismaisen osaamisen kannalta olennaisia. Suomella ja Ruotsilla on yhteisiä intressejä erityisesti molemmissa maissa käytössä oleviin kiehutusvesireaktoreihin sekä pohjoisten olosuhteiden huomioon ottamiseen liittyen. IAEA-yhteistyössä painopiste on puolestaan osallistumisessa erilaisiin työryhmiin ja komiteoihin sekä niihin liittyvässä tiedonvaihdossa. Yliopistoilla ja tutkimuslaitoksilla on myös julkisia ja ei-julkisia kahdenvälisiä yhteistyösopimuksia.

EU:n teknologia- ja tutkimusyhteisöjen (platforms) merkitys kansainvälisessä yhteistyössä on voimakkaassa kasvussa. Niiden myötä kansainvälisen ydinenergia-alan yhteistyön volyymin odotetaan nousevan.

Kansainvälinen tutkimusyhteistyö ydinenergia-alalla on välttämättömyys. Esimerkiksi ydinturvallisuustutkimuksessa tarvitaan mittavia koelaitteistoja, joita yksittäisten valtioiden ei ole järkevää rakentaa yksin.

Suomalainen osallistuminen kansainvälisiin hankkeisiin on tyypillisesti toteutettu aiheeseen liittyvän kansallisen projektin puitteissa. Tämä mahdollistaa aktiivisen osallistumisen, mutta edellyttää osallistumis- ja seurantakustannuksia laajempaa työpanoksen rahoitusta. Esimerkiksi OECD/NEA -hankkeet on yleisesti koettu hyödyllisiksi ja niihin panostaminen kannattavaksi. Tämä hyväksi havaittu toimintamalli on tarpeen turvata jatkossakin.

Tutkimusinfrastruktuuri

Tutkimusvalmiudet ja -osaaminen muodostavat perustan ydinlaitosten käyttöön, modernisointeihin ja uusien laitosten rakentamiseen tarvittaville kotimaisille tutkimuspalveluille. Kansallinen kokeellinen ydinenergiaan liittyvä tutkimus täydentää kansainvälisesti saatavilla olevia tutkimustuloksia ja mahdollistaa osaltaan tarvittavan oman panoksen turvallisuusjärjestelmien toiminnan varmistamiseen ja kehittämiseen.

Suomalainen tutkimusinfrastruktuuri mahdollistaa tällä hetkellä korkeatasoista tutkimusta muun muassa vakaviin ydinonnettomuuksiin varautumiseen liittyen. Esi-merkkejä suomalaisista, kansainvälistä merkitystä omaavista tutkimushankkeista ja -laitteistoista ovat Lappeenrannan teknillisen yliopiston termohydrauliset koelaitteistot osana kehittyvää ydinvoimalaitosten prosessien tutkimusta sekä VTT:n lentokonetörmäyksiä simuloiva testipenkki.

Uutena merkittävänä hankkeena ollaan käynnistämässä VTT:n ydinturvallisuustalo -investointia, johon ovat osallistumassa myös Valtion ydinjätehuoltorahasto sekä voimayhtiöt Teollisuuden Voima, Fortum ja Fennovoima. Ydinturvallisuustaloon on tarkoitus keskittää VTT:n ydintekninen osaaminen ja rakentaa ajanmukaiset tilat radioaktiivisten näytteiden tutkimista varten.

Tutkimusinfrastruktuurin ylläpito ja uudistaminen toimintaan osallistuvissa organisaatioissa edellyttää merkittävää ja pitkäjänteistä kansallista panostusta.

VTT:n ydinturvallisuustalo hyödyttäisi laajasti ja pitkäaikaisesti suomalaista ydinenergia-alaa materiaaaliteknisen tutkimuksen valmiuksillaan ja on siksi monella tapaa perusteltu investointi. Hankkeelle onkin löytymässä kestävä rahoitus pohja valtiovallan ja yhtiöitten kesken.

VTT:n tutkimusreaktorin toiminta on viime vuosina painottunut lääketieteelliseen käyttöön (sädehoitoon) ja isotooppituotantoon. Erityisesti BNCT-hoidot ovat lupaavia ja niihin liittyy lääketieteen opetus- ja tutkimustoimintaa. Valtioneuvosto myönsi joulukuussa 2011 tutkimusreaktorille käyttöluvan vuoden 2023 loppuun saakka.

VTT:n tutkimusreaktorin toiminta olisi tarpeen turvata ottaen huomioon myös sen merkitys ydinenergiasektorin tutkimus- ja koulutustoiminnassa. Opetus- ja koulutuskäyttöä tulisi elvyttää ja siihen liittyen tiivistää yhteistyötä VTT:n ja Aalto-yliopiston sekä Lappeenrannan teknillisen yliopiston välillä.

Tutkimusreaktorin toiminnan turvaaminen edellyttää reaktoritoiminnan rahoitus pohjan varmistamista ottaen huomioon käyttökohteiden monipuolistuminen erityisesti lääketieteellisen käytön ja opetuksen osalta.

Kansallisen yhteistyön edistäminen

Ydinenergia-alan toimijoiden yhteistyötä tulee jatkuvasti kannustaa osaamisen kartuttamiseksi. Tämä ei tarkoita puuttumista yhtiöiden kilpailulliseen toimintaan energiamarkkinoilla tai muutoin toimijoiden väliseen riippumattomuuteen, vaan yhteisten toimintaedellytysten parantamista. Arvokkaita ovat jo pitempään talkoohengessä toteutetut ydinturvallisuusalan kurssit (YK-kurssit) ja käynnistyvä ydinjätehuollon kurssitus sekä vuonna 2012 alkava ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma.

Tutkimus- ja koulutustoiminnan kehittäminen ydinlaitosten sijaintialueilla on hedelmällistä yhteistyön kannalta. On myös tärkeätä kyetä toimimaan suomalaisilla laitoksilla ja viranomaisten kanssa harjoitettavassa yhteistyössä omalla kielellä. Ajantasaista koulutusta alan viranomaiskäytäntöihin tarvitaan erityisesti voimayhtiöissä.

Yliopistojen, ammattikorkeakoulujen ja muiden koulutuslaitosten, tutkimuslaitosten, yhtiöiden sekä muiden alan toimijoiden tulee pyrkiä laaja-alaiseen yhteistyöhön ydinenergia-alan osaamis- ja tietopohjan kehittämiseksi. Muun muassa yhteiset tutkimus- ja koulutushankkeet sekä asiantuntijavaihto ja urakierto ovat hyödyllisiä alan kehittämiseksi kokonaisuutena.

Ydinenergia-alan tutkimusta ja koulutusta kehitettäessä on tarpeen huomioida paitsi kansalliset myös alueelliset tarpeet ja synergiat.

Viranomaisvalvontaan liittyvää osaamista tarvitaan ja sitä tulee jatkuvasti kehittää yhteistyössä alan toimijoiden kanssa.

Suomalaisen yritysmäailman osaamisen hyödyntäminen

Suomessa on monessa suhteessa maailman huippuluokkaa olevaa teknistä ja tiedollista osaamista, joka on hyödynnettävissä myös kaupallisesti. Se liittyy muun muassa ydintekniikkaan, ydinjätehuoltoon, projektien hallintaan ja konsultointiin sekä riippumattomiin kolmannen osapuolen arviointeihin.

Suomalainen elinkeinoelämä on valmistautumassa tuleviin ydinvoimalaitoshankkeisiin paitsi yksittäisten yritysten tasolla myös aktiivisesti yhteistyötä kehittäen. Tästä osoituksena ovat FinNuclear sekä Teknolוגiateollisuuden toimialaryhmä. Myös uusista ydinvoimahankkeista vastaavat yhtiöt Fennovoima ja Teollisuuden Voima pyrkivät saamaan mahdollisimman laajasti mukaan suomalaista teollisuutta ja palveluita.

Koska Suomessa ei ole kotimaista ydinvoimalaitostoimittajaa, on suomalaisten yritysten osallistuminen lähinnä alihankintaa ja palveluntarjontaa. Palveluita tarvitsevat voimayhtiöiden ohella niin hankkeita toteuttavat pääurakoitsijat ja alihankkijat kuin valvontaviranomaisetkin. Hankkeisiin liittyy kaikilla hallinnon tasoilla merkittävä määrä viranomaisvalvontaa, jonka sujuvuus ja luotettavuus on kaikkien osapuolten etu.

Ydinenergia-alan osaamisen kehittäminen johtaa myös kansainvälisesti hyödynnettäviin tuloksiin. Toimialan laite- ja palvelutoimittajat voivat hyödyntää osaamistaan sekä kotimaisissa että ulkomaisissa hankkeissa. Yhteistyö ja verkottuminen kotimaisten toimijoiden kesken edistävät osaltaan hankkeisiin mukaan pääsemistä.

Kotimaisten ydinlaitoshankkeiden sujuvalle läpiviemiselle on tärkeää, että hankkeisiin liittyviin viranomaistoimintoihin osoitetaan riittävät resurssit myös alue- ja paikallisviranomaisten tasolla.

Kansallisen ydinenergia-alan Osaamistyöryhmän kokoonpano

Puheenjohtaja

teollisuusneuvos Riku Huttunen (1.8.2011 alkaen ylijohtaja, Energiamarkkinavirasto), työ- ja elinkeinoministeriö

Jäsenet ja varajäsenet:

Opetusneuvos Petteri Kauppinen, opetus- ja kulttuuriministeriö

varajäsen: erikoistutkija Markku Suvanen, opetus- ja kulttuuriministeriö

Lääkintöneuvos Mikko Paunio, sosiaali- ja terveysministeriö

varajäsen: neuvotteleva virkamies Anneli Törrönen, sosiaali- ja terveysministeriö

ylitarkastaja Miliza Malmelin, ympäristöministeriö

varajäsen: erityisasiantuntija Magnus Nyström, ympäristöministeriö

Teknologiapäällikkö Timo Vanttola, Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT

varajäsen: johtava tutkija Eija Karita Puska, Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT

Kehityspäällikkö Kaisa Koskinen, Säteilyturvakeskus STUK

varajäsen: apulaisjohtaja Marja-Leena Järvinen, Säteilyturvakeskus STUK

Professori Rainer Salomaa, Aalto-yliopisto

varajäsen: TkT, opettava tutkija Jarmo Ala-Heikkilä, Aalto-yliopisto

Professori Riitta Kyrki-Rajamäki, Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT

varajäsen: vanhempi erikoistutkija Heikki Purhonen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT

Professori Jukka Lehto, Helsingin yliopisto

varajäsen: lehtori Risto Harjula, Helsingin yliopisto

Professori Juha Äystö, Jyväskylän yliopisto

varajäsen: professori Jussi Timonen, Jyväskylän yliopisto

Projektipäällikkö Mikko Halttunen, Oulun yliopisto

varajäsen: johtaja Martti Hyry, Oulun yliopisto

Johtaja Leena Jylhä, FinNuclear ry/Prizztech Oy

varajäsen: projektipäällikkö Katja Silvanto, FinNuclear ry/Prizztech Oy

Pysyvät asiantuntijat:

Ydintekniikkajohtaja Juhani Hyvärinen, Fennovoima Oy

varajäsen: henkilöstöjohtaja Nina Koivula, Fennovoima Oy

Advisor Sami Hautakangas, Fortum

varajäsen: johtaja Olli Kymäläinen, Fortum

Vanhempi asiantuntija Marjatta Palmu, Posiva Oy

varajäsen: henkilöstöpäällikkö Elisa Vahteristo, Posiva Oy
Tutkimus- ja kehityspäällikkö Liisa Heikinheimo, Teollisuuden Voima Oyj
varajäsen: ryhmäpäällikkö Jaana Isotalo, Teollisuuden Voima Oyj

Sihteerit:

Yli-insinööri Jorma Aurela, työ- ja elinkeinoministeriö
Ylitarkastaja Eriika Melkas, työ- ja elinkeinoministeriö
Neuvotteleva virkamies Jaana Avolahti, työ- ja elinkeinoministeriö
Neuvotteleva virkamies Mauri Riihonen, työ- ja elinkeinoministeriö

Kansallisen ydinenergia-alan Osaamistyöryhmän jaostot

Jaosto 1, OTR:n kyselyn toteutus ja saadun datan järjestäminen

Yli-insinööri Jorma Aurela, TEM (jaoston vetäjä)
Change Agent Tellervo Brandt, Fortum
Ryhmäpäällikkö Jaana Isotalo, TVO
Tutkimuskonsultti Janne Juntunen, Innolink Research Oy
Koulutuspäällikkö Kaisa Koskinen, STUK
Vanhempi asiantuntija Marjatta Palmu, Posiva Oy
Henkilöstöpäällikkö Elisa Vahteristo, Posiva Oy

Jaosto kokoontui neljä kertaa.

Jaosto 2, Koulutusryhmä

Opettava tutkija Jarmo Ala-Heikkilä, Aalto-yliopisto (jaoston vetäjä)
Yli-insinööri Jorma Aurela, TEM
Professori Anssi Auvinen, Tampereen yliopisto
Change Agent Tellervo Brandt, Fortum Oyj
Projektipäällikkö Mikko Halttunen, Oulun yliopisto
Professori Simo-Pekka Hannula, Aalto-yliopisto
Lehtori Risto Harjula, Helsingin yliopisto
Ryhmäpäällikkö Jaana Isotalo, TVO Oyj
Professori Jukka Juutilainen, Itä-Suomen yliopisto
Apulaisjohtaja Marja-Leena Järvinen, STUK
Opetusneuvos Petteri Kauppinen, OKM
Professori Leena Korkiala-Tanttu, Aalto-yliopisto
Professori Leena Korpinen, Tampereen teknillinen yliopisto
Professori Jari Koskinen, Aalto-yliopisto
Kehityspäällikkö Kaisa Koskinen, STUK

Professori Riitta Kyrki-Rajamäki, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Professori Jukka Lehto, Helsingin yliopisto
Professori Kauko Leiviskä, Oulun yliopisto
Professori Jussi Leveinen, Aalto-yliopisto
Vanhempi asiantuntija Marjatta Palmu, Posiva Oy
Lääkintöneuvos Mikko Paunio, STM
Neuvotteleva virkamies Mauri Riihonen, TEM
Professori Rainer Salomaa, Aalto-yliopisto
Teknologiapäällikkö Heli Talja, VTT
Professori Jussi Timonen, Jyväskylän yliopisto
Yksikön päällikkö Anita Vastamäki, Aalto PRO
Professori Juha Äystö, Jyväskylän yliopisto

Jaosto kokoontui neljä kertaa.

Jaosto 3, Teollisuusryhmä

Ydintekniikkajohtaja Juhani Hyvärinen, Fennovoima (jaoston vetäjä)
Johtaja Leena Jylhä, FinNuclear
Johtaja Olli Kymäläinen, Fortum
Johtaja Martti Kätkä, Teknologiateollisuus
Toimistopäällikkö Keijo Latvala, TVO
Apulaisjohtaja Martti Vilpas, STUK

Jaosto piti yhteyttä elektronisesti.

Jaosto 4, Infrastruktuuriryhmä

Vanhempi erikoistutkija Heikki Purhonen, LUT (jaoston vetäjä)
Yli-insinööri Jorma Aurela, TEM
Advisor Sami Hautakangas, Fortum
Tutkimus- ja kehityspäällikkö Liisa Heikinheimo, TVO
Professori Rauno Julin, JY
Apulaisjohtaja Marja-Leena Järvinen, STUK
Professori Riitta Kyrki-Rajamäki, LUT
Johtava tutkija Eija Karita Puska, VTT
Toimistopäällikkö Risto Sairanen, STUK
Erikoistutkija Seppo Tähtinen, VTT
Teknologiapäällikkö Timo Vanttola, VTT
Professori Juha Äystö, JY

Jaosto kokoontui neljä kertaa.

Lisäksi tekstiä raporttiin ovat tuottaneet:

Toimitusjohtaja Jorma Autio, B+Tech
Tiimipäällikkö Antti Daavittila, VTT
Johtava tutkija Jan-Erik Holmberg, VTT
Erikoistutkija Anitta Hämäläinen, VTT
Johtaja Tarja Ikäheimonen, STUK
Erikoistutkija Juhani Lahtinen, STUK
Professori Jukka Lehto, HY
Erikoistutkija Carita Lindholm, STUK
Vanhempi asiantuntija Marjatta Palmu, Posiva Oy
Erikoistutkija Arja Saarenheimo, VTT
Erikoistutkija Tuomo Sevon, VTT
Erikoistutkija, tiimipäällikkö Kaisa Simola, VTT
Erikoistutkija Riitta Zilliacus, VTT

Jaosto 5, Tutkimusryhmä

Johtava tutkija Eija Karita Puska
Neuvotteleva virkamies Jaana Avolahti, TEM
Professori Sisko Salomaa, STUK
Apulaisjohtaja Marja-Leena Järvinen, STUK
Kehityspäällikkö Kaisa Koskinen, STUK
Advisor Sami Hautakangas, Fortum
Tutkimus- ja kehityspäällikkö Liisa Heikinheimo, TVO
Ydintekniikkajohtaja Juhani Hyvärinen, Fennovoima
Vanhempi asiantuntija Marjatta Palmu, Posiva
Professori Rainer Salomaa, Aalto
Opettava tutkija Jarmo Ala-Heikkilä, Aalto
Professori Riitta Kyrki-Rajamäki, LUT
Professori Jukka Lehto, HY
Professori Juha Äystö, JY
Johtava tutkija Kari Rasilainen, VTT
Johtava tutkija Seppo Karttunen, VTT
Teknologiapäällikkö Timo Vanntola, VTT
Asiakaspäällikkö Seppo Vuori, VTT
Teknologiapäällikkö Pentti Kauppinen, VTT
Teknologiapäällikkö Eila Lehmus, VTT
Teknologiapäällikkö Heli Talja, VTT
Teknologiapäällikkö Jari Hämäläinen, VTT

Raportin luvun 4 kirjoittamisen vaatiman yhteydenpidon jaosto hoiti pääasiassa sähköpostilla, luvun 6 valmistelussa jaosto kokoontui neljä kertaa.

Jaosto 6, Tutkimusreaktoriryhmä

Neuvotteleva virkamies Jaana Avolahti, TEM (jaoston vetäjä)

Lääkintöneuvos Raija Asola, Sosiaali- ja terveysministeriö, sosiaali- ja terveyspalveluosasto

Toimistopäällikkö Olli Vilkamo, STUK

Opettava tutkija Jarmo Ala-Heikkilä, Aalto-yliopisto

Johtava tutkija, FiR 1 käyttöpäällikkö Iiro Auterinen, VTT

Tutkimusreaktorin vastuullinen johtaja Seppo Vuori, VTT

Neuvotteleva virkamies Pirjo Kutinlahti, TEM

Jaosto kokoontui neljä kertaa.

Liite 2

Kyselylomake

TYÖ-JA ELINKEINOMINISTERIÖ - KYSELY YDINENERGIA-ALAN OSAAMISESTA

REKISTERITIEDOT (KIRJATAAN AUTOMAATTISESTI)

Sähköpostiosoite _____

0. Kohderyhmä					
1.	☐	1. ryhmä	3.	☐	3. ryhmä
2.	☐	2. ryhmä	4.	☐	4. ryhmä

TAUSTATIEDOT

1. Yrityksenne/organisaationne nimi ja osoite _____
2. Vastaajan nimi _____
3. Puhelinnumeronne _____

HENKILÖSTÖRESURSSIT

1. Kuinka monta henkilöä, joilla on osaamista ydinenergia-alan erityispiirteistä on tällä hetkellä organisaationne palveluksessa (työsuhde organisaatioon)? Merkitkää henkilöiden lukumäärä ydinenergia-alan kokemusvuosien mukaisesti (kukin henkilö vain kerran).				
Ydinenergia-alan asiantuntijat (alalle soveltuva ylempi korkeakoulututkinto)	0-5 vuotta ydinalalla	6-10 vuotta ydinalalla	11-20 vuotta ydinalalla	yli 20 vuotta ydinalalla
Ydinjätehuoltoon liittyvä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyö				
Security (ml. yritysturvallisuus ja paloturvallisuus)				
Safeguards				
Säteilysuojelu				
Radiokemia				
Vesikemia				
Ydin- ja hiukkasfysiikka				
Ohjaajat (voimalaitosten vuoropäälliköt, simulaattorikouluttajat yms.)				
Sähkötekniikka				
Automaatio ja valvomo				
Mekaniikka/Konetekniikka				
Rakennustekniikka				
Inhimilliset tekijät				
Reaktorifysiikka ja dynamiikka				
Ydinpolttoaine				
Termohydrauliikka				
Prosessitekniikka				
Vakavat onnettomuudet				
Materiaalitekniikka (ydinlaitosmateriaalit, vikaantuminen, komponenttien valmistus, tarkastus ja eliniän hallinta)				
Todennäköisyyspohjainen riskianalyysi				
Laadunhallinta ja tarkastustoiminta				
Projektihallinta				
Muu ydinalan asiantuntijatehtävä				
A: Mitä nämä muut ovat?				
B: Kuinka monta edellisistä henkilöistä on -tohtoreita: _____ -lisensiaatteja: _____				

Ydinenergia-alan asiantuntijat (alalle soveltuva alempi korkeakoulututkinto tai vastaava)	0-5 vuotta ydinalalla	6-10 vuotta ydinalalla	11-20 vuotta ydinalalla	yli 20 vuotta ydinalalla
Ydinjätehuoltoon liittyvä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyö				
Security (ml. yrittysturvallisuus ja paloturvallisuus)				
Safeguards				
Säteilysuojelu				
Radiokemia				
Vesikemia				
Ydin- ja hiukkasfysiikka				
Ohjaajat (ydinlaitosten vuoropäälliköt, simulaattorikouluttajat yms.)				
Sähkötekniikka				
Automaatio ja valvomo				
Mekaniikka/Konetekniikka				
Rakennustekniikka				
Inhimilliset tekijät				
Reaktorifysiikka ja dynamiikka				
Ydinpolttoaine				
Termohydrauliikka				
Prosessitekniikka				
Vakavat onnettomuudet				
Materiaalitekniikka (ydinlaitosmateriaalit, vikaantumisen, komponenttien valmistus, tarkastus ja eliniän hallinta)				
Todennäköisyyspohjainen riskianalyysi				
Laadunhallinta ja tarkastustoiminta				
Projektihallinta				
Muu ydinalan asiantuntijatehtävä				
A: Mitä nämä muut ovat?				

Ydinenergia-alan suorittajat (esim. toisen asteen ammatillinen tutkinto)	0-5 vuotta ydinalalla	6-10 vuotta ydinalalla	11-20 vuotta ydinalalla	yli 20 vuotta ydinalalla
Sähkötekniikka				
Automaatiotekniikka				
Mekaniikka/konetekniikka				
Rakennustekniikka				
Kemia/prosessitekniikka				
Security (ml. yrittysturvallisuus ja paloturvallisuus)				
Säteilysuojelu				
Muu suorittajatasen tehtävä				
A: Mitä nämä muut ovat?				

2. Kuinka suuri tarve organisaatiollanne on ydinenergia-alan osaajille tulevaisuudessa, mukaan lukien nykyiset työntekijät? Merkitkää henkilöiden lukumäärä vuosikohtiin.				
Ydinenergia-alan erityisasiantuntijat (ylempi korkeakoulututkinto)	v. 2015	v. 2020	v. 2025	
Ydinjätehuoltoon liittyvä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyö				
Security (ml. yrittysturvallisuus ja paloturvallisuus)				
Safeguards				
Säteilysuojelu				
Radiokemia				
Vesikemia				
Ydin- ja hiukkasfysiikka				
Ohjaajat (ydinlaitosten vuoropäälliköt, simulaattorikouluttajat yms.)				
Sähkötekniikka				
Automaatio ja valvomo				
Mekaniikka/Konetekniikka				
Rakennustekniikka				
Inhimilliset tekijät				

Reaktorifysiikka ja dynamiikka			
Ydinpolttoaine			
Termohydrauliikka			
Prosessitekniiikka			
Vakavat onnettomuudet			
Materiaalitekniikka (ydinlaitosmateriaalit, vikaantuminen, komponenttien valmistus, tarkastus ja eliniän hallinta)			
Todennäköisyyspohjainen riskianalyysi			
Laadunhallinta ja tarkastustoiminta			
Projektihallinta			
Muu ydinalan asiantuntijatehtävä			
A: Mitä nämä muut ovat?			
B: Kuinka monta edellisistä henkilöistä on			
-tohtoreita:			
-lisenзиатteja:			
Ydinenergia-alan asiantuntijat (alalle soveltuva alempi korkeakoulututkinto tai vastaava)	v.	v.	v.
	2015	2020	2025
Ydinjätehuoltoon liittyvä tutkimus-, kehitys- ja suunnittelutyö			
Security (ml. yrittysturvallisuus ja paloturvallisuus)			
Safeguards			
Säteilysuojelu			
Radiokemia			
Vesikemia			
Ydin- ja hiukkasfysiikka			
Ohjaajat (ydinlaitosten vuoropäälliköt, simulaattorikouluttajat yms.)			
Sähkötekniikka			
Automaatio ja valvomo			
Mekaniikka/Konetekniikka			
Rakennustekniikka			
Inhimilliset tekijät			
Reaktorifysiikka ja dynamiikka			
Ydinpolttoaine			
Termohydrauliikka			
Prosessitekniiikka			
Vakavat onnettomuudet			
Materiaalitekniikka (ydinlaitosmateriaalit, vikaantuminen, komponenttien valmistus, tarkastus ja eliniän hallinta)			
Todennäköisyyspohjainen riskianalyysi			
Laadunhallinta ja tarkastustoiminta			
Projektihallinta			
Muu ydinalan asiantuntijatehtävä			
A: Mitä nämä muut ovat?			
Ydinenergia-alan suorittajat (esim. toisen asteen ammatillinen tutkinto)	v.	v.	v.
	2015	2020	2025
Sähkötekniikka			
Automaatiotekniikka			
Mekaniikka/konetekniikka			
Rakennustekniikka			
Kemia/prosessitekniiikka			
Security (ml. yrittysturvallisuus ja paloturvallisuus)			
Säteilysuojelu			
Muu suorittajatasen tehtävä			
A: Mitä nämä muut ovat?			

3. Mitä muita ydinenergia-alan asiantuntijoita organisaationne voi tarvita tulevaisuudessa ja kuinka paljon?

TUTKIMUSINFRA JA TUTKIMUSPANOSTUKSET

4. Organisaatiossanne käytössä olevat ydinenergia-alan tutkimuksessa käytettävät ohjelmistot? Merkitkää myös käytettävän ohjelmiston kytkentä ydinenergia-alaan käyttämällä jaottelua a) ydinenergiapesifinen b) vahva kytkentä ydinenergia-alaan c) hyödynnetään ydinenergia-alalla

OHJELMISTO	HYÖTY			KÄYTTÄJÄ-MÄÄRÄ	KÄYTTÖPERUSTE			KYTKENTÄ YDINENERGIA-ALAAAN		
	vähäinen	merkittävä	suuri		lisenssi	yhteistyösopimus	muu	a.	b.	c.
a. ☐ APROS	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
b. ☐ TRACE	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
c. ☐ RELAP	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
d. ☐ TRAB3-D/HEXTRAN	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
e. ☐ FLUENT	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
f. ☐ CFX	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
g. ☐ NEPTUNE	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
h. ☐ MELCOR	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
i. ☐ MAAP	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
j. ☐ SERPENT	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
k. ☐ CASMO	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
l. ☐ HELIOS	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
m. ☐ ABACUS	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
n. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
o. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
p. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
q. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐
r. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐

5. Organisaatiossanne käytössä olevat ydinenergia-alan tutkimuksessa käytettävät tietokannat? Merkitkää myös käytettävän ohjelmiston kytkentä ydinenergia-alaan vastaavalla tavalla kuin edellisessä kysymyksessä.

OHJELMISTO	HYÖTY			KÄYTTÄJÄ-MÄÄRÄ	KÄYTTÖPERUSTE				KYTKENTÄ YDINENERGIA-ALAAAN		
	vähäinen	merkittävä	suuri		lisenssi	yhteistyö-sopimus	oma	muu	a.	b.	c.
a. ☐ OECD/NEA COMPSIS	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
b. ☐ OECD/NEA FIRE	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
c. ☐ OECD/NEA ICDE	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
d. ☐ OECD/NEA SCAP	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
e. ☐ OECD/NEA OPDE	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
f. ☐ OECD/NEA ISOE	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
g. ☐ OECD/NEA TDB	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
h. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
i. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
j. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
k. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
l. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
m. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
n. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
o. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
p. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
q. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
r. ☐ muu, mikä	☐	☐	☐		☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

6. Mitä koelaitteistoja organisaatiossanne on käytettävissä/käytetään ydinenergia-alan tutkimukseen?

7. Miten ja kuinka paljon kutakin laitteistoja on käytetty ko. tutkimuksiin?

8. Saavutetut tulokset?

9. Näihin laitteistoihin liittyvät jatkosuunnitelmat?

10. Tuottaako organisaationne ydinenergia-alaan liittyviä ohjelmistoja? Jos kyllä, niin mitä?

TUTKIMUSRAHOITUS

Kysymyksiin 11-14 päivitetään tiedot ydinenergiatutkimukseen Suomessa v. 2010 käytetystä rahamäärästä, eli päivitämme vastaavien aiempien kyselyjen tiedot (vuosilta 2007 ja 2002 ja 1999).

Tarkoitus on yksinkertaisesti saada vastaus kysymykseen: kuinka suurella rahalla Suomessa tehtiin ydinenergiatutkimusta vuonna 2010 ?

Vastauksissa ilmoitustarkkuudeksi riittää (soveltuvin osin) 10-100 kEuro

Tarkennus TVO:lle, Fortumille, Fennovoimalle ja Posivalle

VYR-rahoitusta ei saa sisällyttää ilmoitettuihin summiin. Sen sijaan itse tilaamanne tutkimus muilta tahoilta sisältyy kysytyyn volyyymiin.

Tarkennus tutkimuslaitoksille

Emme tässä kysy tekemänne tutkimuksen kokonaisvolyyymiä, vaan kuinka paljon oma organisaationne käyttää julkisista lähteistä saatua rahoitusta ydinenergiatutkimukseen (=budjettirahoitus, säätiöiltä saamanne rahoitus, TEKES-rahoitus, EU-rahoitus, VYR-rahoitus). VYR-rahoituksen määrän saamme rahoituspäätöksistä, mutta ilmoittakaa, mikäli kertomanne summa sisältää mainitun rahoituksen, että emme laskisi sitä kahteen kertaan.

Tässä ei tule ilmoittaa voimayhtiöiden tai STUKin tilaamaa tutkimusta, koska se näkyy erikseen näiden ilmoittamissa luvuissa. Myöskään ulkomaisten yhtiöiden vain niiden omiin tarkoituksiin tilaamaa tutkimusta ei ole tarkoitus sisällyttää tähän kyselyyn.

11. Kuinka suurella summalla organisaationne rahoitti ydinenergia-alan tutkimusta vuonna 2010?(summat tuhansina)

12. Miten rahoituksenne jakautuu seuraaviin ryhmiin (%) ? Ilmoittakaa yhteismäärä tarkkoina lukemina niin, että yhteissummaksi muodostuu 100%.

Oma tutkimus
_____ %

Rahoitus kansainvälisiin ohjelmiin
_____ %

Rahoitus kansallisiin ohjelmiin (muu kuin VYR)
_____ %

Muu, mikä
_____ %

Tilaututkimus
_____ %

13. Miten edellä mainitussa kohdassa ilmoitettu rahoitus jakautuu seuraaviin tutkimussektoreihin (%) ? Ilmoittakaa yhteismäärä tarkkoina lukemina niin, että yhteissummaksi muodostuu 100%.

Reaktoriturvallisuus: nykyiset laitokset
_____ %

Ympäristö ym.
_____ %

Reaktoriturvallisuus+ polttoainekierto: GenIV

Fuusio

_____ %

Ydinjäte _____ %

_____ %

Muu, mikä _____ %

14. Paljonko organisaationne saa rahaa ydinenergia-alan tutkimukseen EU:ita (summat tuhansina)? Huom. TACIS- tms. rahoja EI lasketa mukaan tähän. Ei myöskään lähialueen laitosten parannushankkeita eikä Safeguards-aiheita.

15. Mitä kansainvälistä tutkimusinfrastruktuuria organisaationne käyttää ydinenergia-alan tutkimusyhteistyössä?

16. Onko organisaationne oma tutkimusinfrastruktuuri käytössä kansainvälisessä tutkimusyhteistyössä?

17. Yhteistyöorganisaatiot?

18. Yhteistyön laajuus 2010?

A: oma työpanos, htkk: _____

B: arvio yhteistyökumppanin työpanoksesta, htkk: _____

19. Mihin kotimaiseen tai kansainväliseen tutkimusinfrastruktuuriin organisaatiollanne olisi tarvetta/mitä puuttuu?

KANSAINVÄLINEN TUTKIMUS

20. Organisaation osallistuminen ydinenergia-alan kansainväliseen tutkimukseen.

A: Tutkimushankkeet

		Nimi	Aihe- alue	Kokonais- budjetti	Suomalainen organisaatio	Suomalaisen organisaation budjetti 2011	Yhteys- henkilö	Mahdolliset www-sivut
OECD/NEA	☐ Ydinjätehuolto ☐ Ydinturvallisuus ☐ Säteilysuojelu ☐ Muu	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
EU (Euratom)	☐ Ydinjätehuolto ☐ Ydinturvallisuus ☐ Säteilysuojelu ☐ Muu	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
EU (Muut)	☐ Ydinjätehuolto ☐ Ydinturvallisuus ☐ Säteilysuojelu ☐ Muu	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
NKS	☐ Ydinjätehuolto ☐ Ydinturvallisuus ☐ Säteilysuojelu	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

	☐ Muu							
IAEA	☐ Ydinjätehuolto							
	☐ Ydinturvallisuus							
	☐ Säteilysuojelu							
	☐ Muu							
Muut kansainväliset hankkeet	☐ Ydinjätehuolto							
	☐ Ydinturvallisuus							
	☐ Säteilysuojelu							
	☐ Muu							

B. Teknologia ja tutkimusyhteisöt (esim. SNE-TP, IGD-TP, MELODI)

Nimi	Aihe-alue		Jäsenten määrä/jäsenet	www-sivujen osoite
a. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
b. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
c. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
d. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
e. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
f. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
g. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
h. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
i. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
j. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
k. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____
l. _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	_____	_____
	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	_____	_____

C. Kahdenväliset sopimukset (ns. raamisopimukset, ei yksittäiset hankkeet)

Osapuolet	Aihe-alue			
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu
a. & _____	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu

D. Muu yhteistyö

Osapuolet	Aihe-alue				Maa
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	
a. &	☐ Ydinjätehuolto	☐ Säteilysuojelu	☐ Ydinturvallisuus	☐ Muu	

KOULUTUSTARJONTA

Kysymykset 21-24 on tarkoitettu vain Helsingin yliopistolle, Lappeenrannan teknilliselle yliopistolle, Aalto-yliopistolle ja Jyväskylän yliopistolle

21. Toteutatteko tai suunnitteletteko koulutusta ydinenergia-alan kannalta merkittävillä aloilla? (alat lueteltu osiossa "henkilöresurssit")			
1.a	Ylempi korkeakoulututkinto (maisteri, DI tai ylempi amk-tutkinto tai vastaava/ MSc)	☐ Toteutamme	☐ Emme toteuta
1.b	Alempi korkeakoulututkinto (kand. amk-tutkinto tai vastaava / BSc)	☐ Toteutamme	☐ Emme toteuta
2.	Tieteellinen jatkotutkinto (lisensiaatin tai tohtorin tutkinto tai vastaava / LicSc, DSc, PhD)	☐ Toteutamme	☐ Emme toteuta
3.	Täydennyskoulutus	☐ Toteutamme	☐ Emme toteuta

Jos vastaatte "emme toteuta" kaikkiin kolmeen kysymykseen, voitte ohittaa kysymykset 22-24.

22. Ydinenergia-alan kannalta merkittävien perus- ja jatkokoulutusohjelmien tarjonta vuoden 2010 lopussa. A. Mitä ydinenergia-alalle merkittäviä koulutusohjelmia tai erillisiä kursseja tarjoatte? _____ B. Mikä tutkinto on tuloksena tai mihin tutkintoon kurssi kuuluu? _____ C. Mikä on opiskelijavolyymi näissä koulutusohjelmissä (sisäänotto ja valmistuneita per vuosi) tai kursseilla (osallistujien määrä per vuosi)? _____ D. Mikä on käytettävissä oleva opettajaresurssi (opettajien lukumäärä ja tehtäväjaottelu, esim. professorit, lehtorit, assistentit)? _____ E. Mitkä ovat koulutusohjelman keskeiset syventävät kurssit (otsikot ja laajuus)? _____ F. Webbilinkki sähköiseen opetusohjelmaan? _____

23. Ydinenergia-alan kannalta merkittävien perus- ja jatkokoulutusohjelmien suunnitellut laajennukset.
A. Mitä ydinenergia-alalle merkittäviä uusia koulutusohjelmia tai uusia kursseja suunnittelette tarjoavanne tulevaisuudessa?
B. Mikä tutkinto on tuloksena tai mihin tutkintoon kurssi kuuluu?
C. Mikä on suunniteltu volyymi (koulutusohjelma: sisäänotto ja valmistuneita per vuosi; kurssi: osallistujia per vuosi)?
D. Mitkä ovat uuden koulutusohjelman keskeiset kurssit (otsikot ja laajuus)?
E. Mikä on toteutusaikataulu?
F. Mitkä ovat edellytykset suunnitelmien toteutumiselle?

24. Ydinenergia-alan kannalta merkittävien täydennyskoulutuskurssien tarjonta.
A. Mitä ydinenergia-alalle merkittävää täydennyskoulutusta tarjoatte tai suunnittelette tarjoavanne?
B. Mikä perustutkinto on lähtötasona?
C. Mikä on opiskelijavolyymi (kurssitettavia per vuosi)?
D. Mitkä ovat keskeiset kurssit (otsikot, kesto viikkoina ja laajuus op:nä)?
E. Mikä on toteutusaikataulu?

F. Mitkä ovat edellytykset suunniteltujen kurssien toteutumiselle?

25. Henkilöstön kehittämismenetelmät

A. Mitä kehittämismenetelmiä, joilla hankitaan henkilöstölle ydinenergia-alan osaamista, on organisaationne käytössä ja missä laajuudessa (henkilötöypäiviä per vuosi) käytätte niitä? (esim. työssäoppiminen, erilaiset trainee -ohjelmat, työnopastus, mentorointi, sisäinen koulutus, ulkopuoliset kurssit jne.)

B. Kuinka paljon toteutatte ydinenergia-alan koulutusta sisäisenä koulutuksena? (esim. koulutuspäivien määrä / henkilö / vuosi)

C. Minkälaista ydinenergia-alan koulutusta toteutatte sisäisenä koulutuksena? (koulutuksen aihealueet, laajuus koulutuspäivinä)

D. Kuinka paljon hankitte ydinenergia-alan kurssitusta ulkopuolisena koulutuksena? (esim. koulutuspäivien määrä / henkilö / vuosi)

E. Minkälaista ydinenergia-alan kurssitusta hankitte ulkoa? (koulutuksen tarjoaja, koulutuksen aihealueet, laajuus koulutuspäivinä)

F. Minkälaisia lisätarpeita näette ydinenergia-alan henkilöstön koulutustarjonnassa?

Kysymys 26 on tarkoitettu kaikille muille paitsi Helsingin yliopistolle, Lappeenrannan teknilliselle yliopistolle, Aalto-yliopistolle ja Jyväskylän yliopistolle

26. Mitä ydinenergia-alan koulutusta tarjoatte oman organisaation ulkopuolelle? (koulutuksen aihealueet, laajuus koulutuspäivinä)

27. Lopuksi voitte vielä antaa vapaata palautetta aiheeseen liittyen.

KIITOS VASTAUKSISTANNE!

Liite 3

Oppilaitosten kuvaukset

Teknillisen alan koulutusta antaville yliopistoille ja ammattikorkeakouluille lähetettiin varsinaisen kyselyn lisäksi pyyntö kirjoittaa enintään kahden sivun kuvaus omasta toiminnastaan, painotuksena **ydinenergia-alan koulutus** ja tutkimus. Otsikoinniksi annettiin seuraava:

- Yliopiston/AMK:n kuvaus
- Tutkintokoulutus
- Tutkimustoiminta
- Täydennyskoulutus
- Yliopiston/AMK:n tulevaisuuden näkymät (jatkuvuus ja uudet avaukset)

Tässä liitteessä on esitetty ne vastaukset, jotka oppilaitoksilta saatiin. Vastaukset on lajiteltu aakkosjärjestykseen, ensin yliopistot (8 kpl, Suomessa 16 yliopistoa) ja sitten ammattikorkeakoulut (4 kpl, Suomessa 25 AMK:a):

- Aalto-yliopisto
- Helsingin yliopisto
- Itä-Suomen yliopisto
- Jyväskylän yliopisto
- Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Oulun yliopisto
- Tampereen teknillinen yliopisto
- Åbo Akademi
- Kajaanin ammattikorkeakoulu
- Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu
- Oulun seudun ammattikorkeakoulu
- Satakunnan ammattikorkeakoulu

Lisäksi selvitettiin erikseen turva-alan koulutustarjontaa. Vastaukset saatiin seuraavilta alan keskeisiltä oppilaitoksilta:

- Aalto PRO
- Laurea
- Poliisiammattikorkeakoulu
- Tampereen ammattikorkeakoulu
- Tampereen teknillinen yliopisto
- Turun ammattikorkeakoulu

Yliopistojen koulutustarjonta ydinenergia-alalla

Aalto-yliopisto

1. Yliopiston kuvaus

Aalto-yliopisto syntyi kolmen eri yliopiston yhteenliittymisestä vuonna 2010 ja se on vuoden 2011 alusta rakentunut kuudeksi eri korkeakouluksi: insinööritieteiden (Aalto-ENG), kemian tekniikan (Aalto-CHEM), perustieteiden (Aalto-SCI) ja sähkötekniikan korkeakouluiksi (Aalto-ELEC) sekä kauppa- ja taloustieteiden korkeakouluksi. Perus- ja jatko-opiskelijoita Aalto-yliopistossa oli vuonna 2010 runsaat 19516 (13725) ja henkilökuntaa 4685 (3187), joista professoreita 338 (234). DI- ja maisteritutkintoja tehtiin 2312 (1887) ja tohtorintutkintoja 184 (153). Suluissa on ilmoitettu teknillisten korkeakoulujen luvut. Lisätietoja: <http://www.aalto.fi/>

2. Tutkintokoulutus

Aalto-yliopiston teknillisissä korkeakouluissa ei ole erityisesti ydinenergia-alan omaa koulutusohjelmaa vaan ydintekniikkaan liittyy lukuisia eri tutkintoja, joista tärkeimpiä ovat:

- Automaatio- ja systeemitekniikan koulutusohjelma (automaation tietotekniikka ja järjestelmät)
- Elektroniikan ja sähkötekniikan koulutusohjelma (sähköjärjestelmät)
- Energia- ja LVI-tekniikan koulutusohjelma (energiatekniikka)
- Geoinformatiikan koulutusohjelma (geoinformatiikka)
- Informaatioverkostojen koulutusohjelma (ihminen ja vuorovaikutus, tietointensiivinen liiketoiminta)
- Konetekniikan koulutusohjelma (koneenrakennuksen materiaalityötekniikka, teknillinen mekaniikka)
- Materiaalityötekniikan koulutusohjelma (soveltava materiaalityö, materiaalien prosessointi)
- Teknillisen fysiikan ja matematiikan koulutusohjelma (teknillinen fysiikka, energiatieteet, mekaniikka, systeemi- ja operaatiotutkimus)
- Tietotekniikan koulutusohjelma (tietojenkäsittelytiede)
- Tuotantotalouden koulutusohjelma (työpsykologia ja johtaminen)
- Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelmat (rakennustekniikka, rakennusmateriaalit ja rakennusfysiikka, georakentaminen, pohja- ja kalliorakentaminen, teknillinen geologia ja sovellettu geofysiikka)

Suluissa on mainittu koulutusohjelmien keskeisiä pääaineita, joiden toteuttamisesta vastaa useampi professori yhdessä. He voivat matriisirakenteessa kuulua eri korkeakouluhin (esim. energiatieteissä sekä SCI että ENG).

Tutkintorakenne sisältää tekniikan kandidaatin, diplomi-insinöörin, tekniikan lisensiaatin sekä tekniikan tohtorin opinnot. Opinnot koostuvat moduuleista, joista useimpien koulutusohjelmiin voidaan sisällyttää vapaavalintaisia ydintekniikkaa koskevia kursseja.

3. Tutkimustoiminta

Aalto-yliopistossa on ydinenergiaan liittyvää monipuolista erikoisosaamista hajautettuna useaan tutkimusyksikköön. Jatko-opiskelijoita ja alan erikoisosaajia on kymmeniä.

Perinteisestä reaktori- ja säteilyfysiikan koulutuksesta huolehtivat Teknillisen fysiikan laitoksen fissio- ja fuusioryhmät, joissa on tutkijoita ja jatko-opiskelijoita lähes kolmekymmentä. Näiden ryhmien tutkimus on keskenään hyvin synergistä ja vahvasti laskennallista ja niissä hyödynnetään paitsi laitoksen omia niin myös Tieteen tietotekniikan keskuksen (CSC) laskentaresursseja. Fissioryhmällä on käytössään perinteisiä ydinteknisiä mittalaitteita, joita sovelletaan myös oppilastöissä. Lisäksi Otaniemen kampuksella olevaa Triga-tutkimusreaktoria, joka on VTT:n hallinnassa, käytetään ydintekniikan laboratoriokursseilla (kts. Luku 8). Fissioryhmä osallistuu lukuisiin EU:n ydintekniikan koulutushankkeisiin, joiden tuloksia hyödynnetään ENEN-verkoston kautta (European Nuclear Education Network).

Aallon fissioryhmän ydintekniikan tutkimuksessa tärkeässä asemassa on Suomen Akatemian SusEn-ohjelmaan (2008-11) kuuluva hanke NETNUC, jossa Lappeenrannan teknillisen yliopiston (LUT) koordinoimana ja yhdessä VTT:n kanssa tutkitaan uudentyyppisten ydinreaktoreiden ilmiömaailmaa. NETNUC:n tavoitteena on kehittää entistä turvallisempia ja taloudellisempia reaktoreita, joiden ympäristövaikutukset minimoitaisiin ja joille riittäisi polttoainetta vuosisadoiksi eteenpäin. Koetoiminnan osalta ryhmän strategisena tavoitteena on kansallisena partnerina osallistua muutamaaan eurooppalaiseen suureen fissiotekniikan tutkimushankkeeseen (esim. Jules Horowitz -koereaktori). Fissioryhmä on mukana SAFIR2014- sekä KYT2014-tutkimusohjelmissa. Fuusioryhmän koetoiminta on jo keskittynyt kahteen Euratomin kansainväliseen suureen tokamak-koelaitteistoon AsdexUG ja JET; uutena haasteena on ITER-koereaktori.

Aalto-yliopiston Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella tutkitaan rakennusgeologiaa, kalliorakentamista ja geotekniikkaa ydinjätteen loppusijoituksen näkökulmasta. Tutkimusryhmä kehittää ydinjätteen geologisen loppusijoitukseen liittyvää tutkimusosaamista ydinjätteen loppusijoituskohteiden kallioperän geologisen, hydrogeologisen, hydrogeokemiallisen ja kalliomekaanisen karakterisoinnin osalta. Tutkimustoiminnassa painotetaan geologisen loppusijoituksen pitkäaikais- ja turvallisuuden mallinnusta ja siihen liittyvien menetelmien kehittämistä, teknisinä vapautumisestoina käytettävien luonnonmateriaalien (kuten bentoniittipuskurin ja -täytön) ominaisuuksien arviointia sekä loppusijoitukseen käytettävien kalliotilojen suunnittelua ja optimaalista rakentamista. Tutkimuksessa huomioidaan myös

transmutaation tuottamien ydinjätteiden asettamat vaatimukset geologiselle loppusijoitukselle. Ydinjätetutkimukseen osallistuvat myös materiaalitiede sekä koneenrakennuksen materiaalitutkimusryhmät. Aalto-yliopiston ydinjätetutkijat ovat mukana mm. KYT2014:ssa, PETRUS2-koulutushankkeessa ja osallistuvat geologisen loppusijoituksen teknologiayhteisöön IGD-TP:hen.

Koneenrakennuksen materiaalitekniikan tutkimusryhmässä on laajaa ja syvällistä kokeellista ja teoreettista osaamista koskien ydinvoimalaitosten ja ydinjätteen loppusijoituskapselien materiaali-, hitsaus- ja NDT-tutkimusta. Ryhmän oma koe-laitteisto on kattava ja sen toimintaa tukee tehokas kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö.

Aalto-yliopistolla on käynnissä useita ohjelmoitavaan automaatioon, turvallisuuskriittiseen ohjelmointiin, luotettavuuteen ja vaatimusten hallintaan liittyvää aktiviteettiä sekä SAFIR2014-tutkimusohjelman, Tekes-hankkeiden että tilaustutkimusten puitteissa. Tuotantotalouden laitoksella yhteistyössä BIT-instituutin sekä VTT:n kanssa on merkittävää ydintekniikan tutkimusta ”ihminen, organisaatio ja yhteiskunta”-saralla. Muista Aalto-yliopiston ydintekniikan aktiviteeteista on mainittava myös virtaustekniikka, riskianalyysi, energiatalous, teknillinen mekaniikka ja voimalarakenteet, joista kaikista löytyy merkittävät tutkimusryhmät.

Aalto-yliopiston yhteistyö LUT:n kanssa on koordinoitua ja verkottuminen VTT:n, voimayhtiöiden ja STUKin kanssa on tiivistä, mistä on osoituksena mm. kansalliset ydintekniikan tutkimusohjelmat ja monet opinnäytteet, jotka tehdään näissä organisaatioissa alan asiantuntijoiden ohjauksessa. Aalto-yliopiston ydintekniikkatutkimuksen painoarvoa voidaan entisestään lisätä yliopiston sisäistä verkottumista tehostamalla. Vuonna 2012 aloittava Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma YTERA toimii kaikkien osallistujien yhteistyöelimenä.

4. Täydennyskoulutus

Aalto-yliopiston täydennyskoulutusyksikkö on Aalto PRO (Aalto University Professional Development, <http://aaltopro.aalto.fi>), jossa ydinalan haasteet on havaittu.

5. Yliopiston tulevaisuuden näkymät

Aalto-yliopiston johto on todennut ydinenergia-alan merkittävyyden ja käynnistänyt yleisselvityksen alan strategisista panostuksista. Akuutteina toimenpiteinä Teknillisen fysiikan laitoksella on avattu professoritasoisen tenure track -viran täyttäminen. Tuotantotaloudessa ollaan käynnistämässä vastaavaa. Aalto-ENG on voimakkaasti tehostanut ydinjätetutkimustoimintaansa ja ydintekniikan materiaalitutkimuksen tarve on ilmeinen.

Jatko-opintojen osalta käynnistyy yhteishankkeena LUT:n ja Helsingin yliopiston radiokemian laboratorion sekä VTT:n kanssa Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma YTERA vuoden 2012 alusta.

Helsingin yliopisto

1. Yliopiston kuvaus

Helsingin yliopisto (HY) on Suomen suurin korkeakoulu, jossa on lähes 37000 opiskelijaa ja 4800 opettajaa ja tutkijaa. HY:ssä ydinenergia-alan tutkimusta tekevät yksiköt ovat Radiokemian laboratorio (HYRL) ja Fysiikan laitos (FL).

Radiokemian laboratorio on yksi HY:n Kemian laitoksen yhdeksästä yksiköstä. HYRL on ainoa Suomen korkeakouluissa toimiva radiokemian yleisyksikkö ja siten sillä on erikoisasema radiokemian asiantuntijoiden kouluttamisessa suomalaisen yhteiskunnan tarpeisiin. HYRL on kansainvälisesti suuri ja merkittävä yliopistollinen radiokemian laboratorio. Laboratoriossa työskentelee tällä hetkellä 30 henkeä, joista yliopiston rahoituksella (25 % kokonaisrahoituksesta) toimii yksi professori, kaksi yliopistonlehtoria, kaksi laboratorioinsinööriä, sihteeri ja tutkimusteknikko. Täydentävällä rahoituksella (75 %) työskentelee 25 tutkijaa, joista 14 on tohtorikoulutettavia. Ydinenergia-alalla tutkimusta tekee kuusi senioritutkijaa, neljä muuta tutkijaa sekä kymmenen tohtorikoulutettavaa.

Fysiikan laitos on monitieteinen kansainvälisesti korkeatasoinen tutkimus- ja opetuslaitos. Se on yksi suurimmista laitoksista Helsingin yliopistossa. Tutkimuksen painoalat ovat (1) materiaalfysiikka, sisältäen: nanorakenteet, fuusio- ja fysioreaktoriin materiaalit, puolijohteet, eristeet, ja biomateriaalit (2) ilmakehätieteet: ilmastomuutos, hiilen kiertokulku, ilmakehän ja ekosysteemien vuorovaikutukset, (3) alkeishiikkafysiikka: aineen perusrakenne, maailmankaikkeuden kehitys, ja (4) geofysiikka ja tähtitiede: vesikehä, kiinteä maa, auringon ja maan välinen avaruus, planeetat. Laskennallinen tutkimus on vahva osa kokeellista ja teoreettista tutkimusta. Tutkijat ovat mukana suurissa kansainvälisissä infrastruktuureissa, kuten CERN (hiikkafysiikan tutkimuskeskus), ESRF (synkrotroni-säteilykeskus), ESO (observatorio) ja ITER (fuusioreaktori). Laitoksessa on kansallisiin tutkimuksen infrastruktuureihin kuuluvat SMEAR-asetat, kaksi Suomen Akatemian ja kaksi pohjoismaista tutkimuksen huippuyksikköä, kaksi Suomen Akatemian akatemiaprofessoria ja kaksi FiDiPro-hankkeen professoria. Laitos on erittäin kansainvälinen: sillä on 50 ulkomaista tutkijaa laitoksessa ja yhtä monta laitoksen tutkijaa ulkomailla (yli kahden viikon tutkimusvierailut). Tutkimusyhteistyötä on lukuisten ulkomaisten yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa: 170 Euroopassa, 60 Pohjois-Amerikassa, 7 Latinalaisessa Amerikassa, 20 Aasiassa, 4 Australiassa, 2 Afrikassa (luvat viiden vuoden ajalta). Ydinenergia-alalla tutkimusta tekee viisi senioritutkijaa, kaksi muuta tutkijaa sekä neljä tohtorikoulutettavaa.

2. Tutkintokoulutus

HYRL kouluttaa radiokemian alalta sekä maistereita että tohtoreita, edellisiä keskimäärin neljä vuodessa ja jälkimmäisiä yhden. HYRL:n tarjoama maisterikoulutus

(120 op) on kansainvälisesti ainutlaatuisen kattava: radiokemian kursseja on kaiken kaikkiaan kolmesta, joista suurimmassa osassa on luentojen lisäksi laboratorioharjoituksia. Pakollisilla kursseilla opetetaan ensisijaisesti radioaktiivisen hajoamisen ja säteilyn perusteita, säteilysuojelua, säteilyn havaitsemista ja mittaamista sekä radionuklidien kemiaa ja analytiikka. Vaihtoehtoisia kursseja on runsaasti eri radiokemian osa-alueilta. Niistä ydinenergia-alalle soveltuvia ovat ydinpolttoainekierron kemiaa, ympäristön radioaktiivisuutta, ilmakehän radioaktiivisuutta sekä luonnon hajoamissarjojen käyttöä ympäristötutkimuksessa käsittelevät kurssit. HYRL:ssä luento-opetukseen osallistuvat professorin ja kahden yliopistolehtorin lisäksi yksi laboratorionsinööri, kolme vanhempaa tutkijaa ja neljä ulkopuolista dosenttia. Kaikki tohtorikoulutettavat osallistuvat laboratoriotöiden ohjaamiseen. Tohtoriopintoihin kuuluu väitöskirjan lisäksi 60 opintopisteen kurssiopinnot.

FL kouluttaa fysiikan alalta noin 50 maisteria ja noin 20 tohtoria vuodesta. Näistä keskimäärin yksi maisteri ja yksi tohtori vuodessa tekee ydinenergia-alaan liittyvää tutkimusta. Laitoksen fysiikan maisteritutkintoon kuuluu pakollisena osana säteilysuojelun kurssi ja ydinfysiikkaan liittyviä laboratoriotöitä. Materiaalifysiikan ja hiukkasfysiikan alan koulutukseen kuuluu useita kursseja ydinfysiikasta ja ionisuihkufysiikasta.

3. Tutkimustoiminta

Radiokemian laboratorion tärkeimmät tutkimusalueet ovat:

- Käytetystä ydinpolttoaineesta peräisin olevien radionuklidien kulkeutuminen ja pidättyminen kallio- ja maaperässä. Tällä tutkimusalueella, joka aloitettiin 1980-luvun alussa, tutkitaan pitkäikäisten radionuklidien, erityisesti anionisten, kulkeutumista kalliossa ja maassa, radionuklidien diffuusiota kalliossa, kiven huokosrakennetta, kolloidien muodostumista ja niiden vaikutusta radionuklidien kulkeutumiseen, aktinidien sorptiota savimineraalien pinnoille, redoxreaktioiden vaikutusta uraanin käyttäytymiseen ja radiolyysituotteiden vaikutusta uraanipolttoaineen liukenemiseen.
- Ioninvaihtimien ja sorbenttien kehittäminen radionuklidien erottamiseen ydinjäteliuoksista ja muista teollisista jäteliuoksista. HYRL:ssä on kehitelty kolmen vuosikymmenen aikana laaja joukko epäorgaanisia ioninvaihtimia ydinjäteliuoksissa olevien radionuklidien selektiiviseen erottamiseen. Fortum tuottaa teollisessa mittakaavassa kolmea HYRL:ssä kehitettyä ioninvaihdinta ja niitä on käytetty vuosien varrella useilla ydinlaitoksilla ympäri maailman.
- Ympäristön radioaktiivisuustutkimukset. Jo 1960-luvun alkupuolelta alkaen HYRL:ssä on tutkittu ydinasekokeista ja Tšernobylin onnettomuudesta peräisin olevien radionuklidien kulkeutumista ympäristössä ja ravintoketjuissa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana tutkimus on kattanut myös luonnon radionuklidien tutkimuksen. Tällä hetkellä tärkein tämän alan tutkimus käsittelee Suomen kaivosten tuottamien jätteiden aiheuttamia radioaktiivisuusongelmia.

- Radiolääkeaineiden kehittäminen lääketieteelliseen tutkimukseen, kliiniseen diagnostiikkaan ja erityisesti lääkeainekehittelyyn.

HYRL:n tutkimusrahoituslähteet ovat moninaiset ja niistä tärkeimmät ovat Suomen Akatemia, EU, TEKES, TEM (KYT), Posiva ja Fortum. HYRL:llä on radioaktiivisuustutkimukseen ja -opetukseen asianmukaiset tilat: useita matala-aktiiviseen ja kolme keskiaktiiviseen työskentelyyn soveltuvaa laboratoriot. Toisin kuin useimmat yliopistolaboratoriot Euroopassa ja USA:ssa, HYRL voi käsitellä laboratorioissaan kaikkia tarvittavia radionuklideja, myös transuraanialkuaineita ja muita alfasäteilyä emittoivia radionuklideja, useimmiten tosin erittäin alhaisella aktiivisuustasolla. HYRL:llä on kattava välineistö näiden radionuklidien emittoiman säteilyn sekä stabiilien alkuaineiden mittaamiseen. Sen sijaan kemialliseen tutkimukseen tarvittavat laitteet ovat vähäiset ja niiden tarve katetaan Kemian laitoksen muiden laboratorioden ja ulkomaisten tutkimuskumppaneiden välineillä.

Fysiikan laitoksen tärkeimmät ydinenergia-alaan liittyvät tutkimusalueet ovat materiaalien säteilyvaurioiden tutkimus ja ydinfysikaalisten menetelmien hyödyntäminen materiaalien analyysissä. Säteilyvaurioiden tutkimus, jota tehdään sekä kokeellisesti että laskennallisesti, kattaa säteilyvauriot kaikissa materiaaliluokissa, alkaen metalleista ja jatkuen aina biomateriaaleihin asti. Tutkimuksen painopiste-aloja ovat:

- 1 Reaktorimateriaalien neutronisäteilyvaurioiden perusmekanismien tutkimus. Laitos on mukana laajassa kansainvälisessä yhteistyössä, jossa moniskaalamallinnuksen avulla pyritään ymmärtämään fysiikan kvanttimekaanista perusteista lähtien miten ja miksi reaktorien kantavat rakennemateriaalit (kuten teräs) haurastuvat säteilyn vaikutuksesta. Mallinnuksella voidaan ennustaa dislokaatioiden muodostus materiaaleissa, jota kokeisiin vertaamalla päästään ymmärrykseen siitä, miten aineiden haurastuminen edistyy.
- 2 Fysiikan laitoksen tutkijat hyödyntävät Cern/ISOLDE laitteistolla tuotettuja radioaktiivisia ionisuihkuja ajankohtaisten materiaalien diffuusio-ominaisuuksien tutkimuksissa.
- 3 Fuusioreaktorien plasma-seinämävuorovaikutusten tutkimus. Laitos tutkii miten fuusioplasmaasta vuotavat hiukkaset muuntavat fuusioreaktorien ensiseinämämateriaalien ominaisuuksia. Tämä on merkittävää toisaalta siltä kannalta miten kauan materiaalit kestävät reaktorissa niin, että se edelleen toimii, toisaalta siltä kannalta miten paljon radioaktiivista tritiumia materiaaleihin kiinnittyy.
- 4 Puolijohdeilmaisimien ja lasien säteilykestävyys. Kaikentyyppisissä ydinreaktoreissa on toiminnan kannalta välttämättömiä diagnostisia laitteita, joilla reaktorin toimintaa seurataan. Niiden toiminnallisuus heikkenee ja lopulta lakkaa täysin säteilyn vaikutuksesta. Fysiikan laitoksessa tutkitaan miten materiaalien ominaisuudet heikkenevät atomitasolla ja miten tämä vaikuttaa ilmaisimien ja niitä suojaavien lasimateriaalien ominaisuuksiin.

Fysiikan laitoksen ydinenergiaan liittyvät tutkimusrahoituslähteet ovat moninaiset ja niistä tärkeimmät ovat Suomen Akatemia, EU ja TEKES. Laitoksella on monipuoliset tutkimuslaitteistot jotka soveltuvat reaktorimateriaalien analyysiin ja laskennalliseen tutkimukseen. Laitoksen seniorihenkilökuntaa on mukana useissa IAEA:n ja OECD:n ydintutkimusosaston NEA:n työryhmissä.

4. Täydennyskoulutus

HYRL ei järjestä täydennyskoulutusta. Fysiikan laitos järjestää täydennyskoulutusta laajasti, mutta harvemmin ydinenergia-alaan liittyen.

5. Tulevaisuuden näkymät

Ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyvä tutkimus, jossa selvitetään ensisijaisesti radionuklidien kulkeutumista ja pidättymistä maa- ja kallioperässä, tulee pysymään HYRL:n suurimpana tutkimusalueena ainakin seuraavat kymmenen vuotta. Tällä alueella tulee lähivuosina uusia avauksia mm. radiohiilen käyttäytymisen selvittämisessä sekä ydinvoimalaitosten käytöstä poistossa tarvittavien radionuklidianalyysien kehittyessä. Vuosittain valmistuvien maistereiden määrän arvioidaan kasvavan 5-6:een ja tohtoreiden määrän 1-2:een lähivuosina.

Fysiikan laitos vahvistaa ydinenergiantutkimustaan erityisesti reaktoriterästen tutkimuksen saralla. Laitoksella on äskettäin valmistunut maailman ensimmäinen ruostumattoman teräksen atomitason vuorovaikutusmalli. Sitä tullaan kehittämään edelleen niin, että siihen lisätään säteilykestävien ferriittis-martensiittisten terästen tärkeimpiä saostusaineita kuten wolframi. Lisäksi tutkimusta laajennetaan oksidinanopartikkelivahvisteisten terästen sekä dislokaatiovuorovaikutusten mallituksen suuntaan.

Itä-Suomen yliopisto

1. Yliopiston kuvaus

Joensuun ja Kuopion yliopistot yhdistyivät Itä-Suomen yliopistoksi vuoden 2010 alussa. Itä-Suomen yliopisto on yksi Suomen suurimmista tiedeyliopistoista. Uudessa yliopistossa on noin 14 000 opiskelijaa ja siellä työskentelee lähes 3000 henkilöä. Yliopistolla on kampukset Joensuussa, Kuopiossa ja Savonlinnassa. Monialainen yliopisto tarjoaa opetusta yli 100 pääaineessa. Tiedekuntia on neljä: Filosofinen tiedekunta, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Terveystieteiden tiedekunta sekä Yhteiskuntatieteiden ja kauppatieteiden tiedekunta. Yliopiston tutkimuksen vahvuusalat ovat

- 1 Metsä ja ympäristö
- 2 Terveys ja hyvinvointi
- 3 Uudet teknologiat ja materiaalit

Nämä vahvuusalat sekä monitieteinen yhteistyö neljän tiedekunnan rajapinnoilla tarjoavat hyvät edellytykset ydinenergiaan sekä sen ympäristö- ja terveysriskeihin liittyvään tutkimukseen.

2. Tutkintokoulutus

Ympäristötieteen koulutusohjelmassa on ympäristöterveyden ja ympäristöbiologian suuntautumisvaihtoehdot. Kaikkien opiskelijoiden perusopintoihin kuuluu säteily-suojelun alkeet. Opiskelijat voivat suuntautua säteilysuojeluun valitsemalla sopivia kursseja; säteilyyn liittyviä syventäviä kursseja on tarjolla useita (mm. säteilybiologiaa, radioekologiaa ja -toksikologiaa, dosimetriaa) ja niissä käsitellään sekä ionisoivaa että ionisoimatonta säteilyä. Nämä kurssit on tarkoitettu ensisijaisesti ympäristöterveyden suuntautumisvaihtoehdon opiskelijoille, mutta periaatteessa myös ympäristöbiologian opiskelija voi halutessaan näiden kurssien avulla suuntautua säteilyasioihin (säteilyn vaikutukset luonnon eliöihin ovat lisääntyvän kiinnostuksen kohteena).

Fysiikan koulutusohjelmassa lääketieteellisen fysiikan suuntautumisvaihtoehto antaa valmiuksia toimia säteilysuojelun ja säteilyn lääketieteellisen käytön (esim. sairaalat) asiantuntijatehtävissä.

Tohtorinkoulutus tuottaa myös säteilyasioihin suuntautuneita asiantuntijoita. Viime aikoina on valmistunut lähinnä ionisoimattomaan säteilyyn suuntautuneita tohtoreita, mutta aiemmin (Tsernobylin onnettomuuden jälkeen) tehtiin ionisoivaan säteilyyn liittyviä väitöskirjoja, ja tällä hetkellä väitöskirjaansa valmistelee 4 ympäristötieteen jatko-opiskelijaa ionisoivaan säteilyyn liittyvistä aiheista. Koulutusta näille opiskelijoille järjestävät Ympäristöterveyden tutkijakoulu SYTYKE (jonka yksi teema-alue on säteily) sekä Ympäristötieteen ja -tekniikan tutkijakoulu (EnStE). Suurella osalla lääketieteellisen fysiikan tohtorintutkintoja on ionisoivan säteilyyn perustuva kuvantaminen, diagnostiikka ja hoito ollut keskeisessä roolissa

3. Tutkimustoiminta

Kuopion yliopistossa (nykyisin Itä-Suomen yliopiston Kuopion kampus) on tehty säteilyn terveys- ja ympäristövaikutuksiin liittyvää tutkimusta 1980-luvulta lähtien. Tsernobylin onnettomuuden käynnistämien projektien päätyttyä suurin osa tästä on kuitenkin keskittynyt ionisoimattomaan säteilyyn. Tällä hetkellä ionisoivan säteilyä tutkitaan kahdessa hankkeessa, joista toisessa tutkitaan ionisoivan säteilyn biologisia vaikutuksia ja toisessa radionuklidien kulkeutumista biosfäärissä. Näissä tutkimuksissa on tekeillä kolme väitöskirjaa. Uutta röntgensäteilyyn perustuvaa nivelruston tutkimusmenetelmä kehitetään kahdessa väitöskirjatyössä.

4. Täydennyskoulutus

Itä-Suomen yliopisto tarjoaa laajalti erilaisiin ympäristöriskeihin liittyvää täydennyskoulutusta. Koulutustilaisuuksien aiheet vaihtelevat, ja niihin on sisältynyt myös säteilyyn ja ydinenergiaan liittyviä aiheita (viimeksi ”Uraanintuotannon ja ydinvoiman riskit” lokakuussa 2010). Lisäksi sovelletun fysiikan ja biotieteiden yhteistyönä annettava koulutuspaketti vastaa laajuudeltaan sitä mikä on määritelty vastaavan johtajan tehtäviin säteilyn lääketieteelliseen yleiskäytön alalla. Yhteistyössä Suomen radiologiyhdistyksen kanssa Itä-Suomen yliopisto vastaa kaikkien Suomessa erikoistuvien radiologien vastaavan johtajan pätevyyteen edellyttävästä säteilykoulutuksesta.

5. Yliopiston tulevaisuuden näkymät

Ympäristötieteen ja fysiikan koulutusohjelmiin tulee jatkossakin sisältymään mahdollisuus suuntautua säteilysuojeluun liittyviin tehtäviin. Näiden koulutusohjelmien yhteistyötä opetuksessa lisätään siten, että tällaiseen suuntautumiseen on entistä paremmat edellytykset. Tarvittaessa tämän alan koulutusvolyymia voidaan kasvat-
taa. Täydennyskoulutuksessa suunnitteilla on ympäristöriskinarviointiin pätevöit-
tävä koulutuspaketti.

Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos JYFL

1. Perusopinnot

Fysiikan alalla voi Jyväskylän yliopistossa suorittaa luonnontieteiden kandidaatin (alempi korkeakoulututkinto) ja filosofian maisterin (ylempi korkeakoulututkinto) tutkinnot sekä filosofian lisensiaatin ja filosofian tohtorin jatkotutkinnot. Luonnontieteiden kandidaatin tutkintoon kuuluvat opinnot voidaan suorittaa kolmessa vuodessa ja ne muodostavat pohjan maisteriopinnoille, jotka voidaan suorittaa kahdessa vuodessa.

Kandidaatin tutkinto antaa laajat perustiedot fysiikasta ja valmiudet soveltaa monipuolisesti kokeellisia, matemaattisia ja tietoteknisiä menetelmiä ongelmanratkaisuun. Kokeellisten ja teoreettisten harjoitustehtävien kautta opitaan tiedonhankintaa, yhteistyötaitoja sekä tulosten kirjallista ja suullista esittämistä. Maisterin tutkinnon suorittanut fyysikko hallitsee syvällisesti valitsemansa erikoistumisalan tiedot ja menetelmät sekä kykenee luovasti ja itsenäisesti käyttämään niitä vaativissa perustutkimuksen tai sovelletun fysiikan tehtävissä kansainvälisessä toimintaympäristössä.

Sopivin kurssivalinnoin on mahdollista tähdätä johonkin erityiseen toimenkuvaan. Tällaisia ovat esimerkiksi tutkijan, suunnittelijan ja kouluttajan tehtävät teollisuudessa, tutkimuslaitoksissa ja korkeakouluissa, markkinointityö teollisuuden ja

kaupan palveluksessa, sairaala- ja säteilyfysiikon tehtävät sairaaloissa ja alan yrityksissä tai tiedotustehtävät julkisen sanan palveluksessa. Fysiikan opettajia tarvitaan peruskouluihin, lukioihin, ammatillisiin kouluihin, opistoihin ja ammattikorkeakouluihin. Varsinaisen opetustyön lisäksi opettajankoulutukseen saaneille on tarjolla työpaikkoja tiedotustehtävissä ja hallinnon alalla.

Vapaavalintaisissa opinnoissa opiskelija keskittyy valitsemiinsa fysiikan osa-alueisiin, joita ovat ydin- ja kiihdytinpohjainen fysiikka, materiaalfysiikka, nanotiede, hiukkasfysiikka, kosmologia, soveltava säteily- ja biofysiikka, teollisuusfysiikka, elektroniikka sekä mittaus-, laite- ja anturitekniikka. Usein opintoihin liittyy opiskelujakso ulkomaisessa yliopistossa tai tutkimuslaitoksessa. Fysiikan opintoja parhaiten tukevia sivuaineita ovat matematiikka ja tietotekniikka. Tutkintoon voi varsin vapaasti sisällyttää muidenkin alojen opintoja, kuten kemiaa, ympäristötieteitä, taloustieteitä ja viestintää. Fysiikan opettajaksi opiskeleville sivuaineiksi suositellaan erityisesti matematiikkaa ja kemiaa. Nanotieteiden koulutusohjelmassa opiskellaan fysiikan lisäksi kemiaa ja biologiaa.

Teollisuusfysiikan maisterikoulutuksen pääaine on soveltava fysiikka. Sen suuntautumisvaihtoehdot sovittavien kurssivalintojen pohjalta tulevat olemaan: Yleinen prosessiteollisuus ja Ydinenergia-ala. Näiden pakolliset pääaineopinnot ovat Elektroniikka, Materiaalfysiikka, Mittaustekniikka ja Ydinfysiikka. Valinnaiset pääaineopinnot voivat sisältää kurssit: Virtausmekaniikka I, Teknillinen termodynamiikka, Lämmönsiirtoprosessit, Plasmafysiikka, Säteilyturvallisuus, Kiihdytinfysiikka, Sovellettu ydin-/säteilyfysiikka, Ydinfysiikan kokeelliset menetelmät, Säteilyn ja aineen vuorovaikutus sekä Kiihdytinpohjainen materiaalitutkimus.

2. Jatko-opinnot

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen (JYFL) tutkimusryhmiin otetaan uusia jatko-opiskelijoita kahdesti vuodessa. Väitöskirjaan liittyvän tutkimustyö tehdään tavallisimmin jossain fysiikan laitoksen tutkimusryhmistä, joita vetävät laitoksen professori ja dosentit. Väitöskirjan tai lisensiaatintutkimuksen voi tehdä myös yliopiston ulkopuolella, teollisuudessa tai tutkimuslaitoksissa.

Oikeus jatko-opintojen suorittamiseen fysiikassa myönnetään hakemuksen perusteella. Jatko-opiskelijaksi voivat hakea ylemmän korkeakoulututkinnon tutkinnon suorittaneet. Haku järjestetään kaksi kertaa vuodessa. Haku tapahtuu hakulomakkeella, johon liitetään opintosuoritusote, jatko-opintosuunnitelma sekä muut hakijan edukseen esittämät asiat. Hakuajoista tiedotetaan laitoksen [www](http://www.jyu.fi)-sivulla.

Fysiikan laitos on mukana viidessä valtakunnallisessa tutkijakoulutusohjelmassa: Hiukkas- ja ydinfysiikka, Nanotieteet, Materiaalfysiikka, Matematiikan, fysiikan ja kemian opetus sekä Pulp and Paper Science and Technology. Myös säätiöiltä voi hakea apurahoja jatko-opiskeluun liittyvään tutkimustyöhön.

3. Yliopiston tulevaisuuden näkymät

Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella toimivasta noin 70 väitöskirjatyöntekijästä yli puolet tekee tutkimusta ydin-, alkeishiukkas- ja kiihdytinpohjaisessa fysiikassa tai ydinjätteen loppusijoitukseen liittyvissä erilaisissa ongelmissa. Heitä ohjaa kymmenen professoria ja pitkälti toistakymmentä pysyvää tai määräaikaista senioritutkijaa ja heidän käytössään on hyvin varustellut, ym. alueisiin soveltuvat laboratoriotilat laitteineen.

Koulutus on pääosin painottunut perustutkimukseen, mutta sisältää erityisesti kulkeutumisilmiöiden osalta sovelluksiin tähtääviä kursseja. JYFL tulee tästä vuodesta alkaen panostamaan lisää ydinenergia-alan koulutukseen perustamalla uuden, tähän alaan soveltuvaan perustutkintoon tähtäävän koulutusohjelman, jossa ydinenergiaspesifiset osiot tulevat lisääntymään tämänhetkisestä tarjonnasta. Siihen liittyen myös jatko-opiskelijoiden ja siten tutkimuksen määrän odotetaan nousevan. Tämän alueen koulutuksen ja tutkimuksen laajentaminen tulee vaatimaan lisäresursseja.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

1. Yliopiston esittely

Lappeenrannan teknillinen yliopisto (Lappeenranta University of Technology, LUT) on jo vuodesta 1969 lähtien yhdistänyt kaksi toisiaan täydentävää tieteenalaa - tekniikan ja talouden. LUT:n strategisia kärkialoja ovat energiatehokkuus ja energiamarkkinat, strategisen tason liiketoiminnan ja teknologian johtaminen, tieteellinen laskenta ja teollisten prosessien mallinnus. Perus- ja jatkotutkinto-opiskelijoita on LUT:ssa yhteensä noin 5000, henkilökuntaa noin 930, joista professoreja 90. Vuonna 2010 tehtiin DI- ja maisteritutkintoja 872, joista diplomi-insinöörejä 687, sekä tohtoritutkintoja 42, joista tekniikassa 34. Lisätietoja: <http://www.lut.fi/>

2. Tutkintokoulutus

Lappeenrannan teknillisen yliopiston LUT Energia on energia-alan suurin yliopistollinen tutkimus- ja opetusyksikkö Suomessa. Laitos muodostuu energiatekniikan, sähkötekniikan ja ympäristötekniikan tulosyksiköistä ja koulutusohjelmista. Tutkimus- ja opetustehtävissä toimii yhteensä 170 asiantuntijaa 16 professorin ja 40 tohtoriopettajan/tutkijan johdolla. Yksiköstä valmistuu vuosittain noin 130 energia-alan diplomi-insinööriä sekä 12 tekniikan tohtoria.

LUT:n erityispiirre on kansallinen rooli ydinvoimatekniikan koulutuksessa ja maan laajimmasta ydintekniikan erikoiskurssivalikoimasta reaktorifysiikasta aina onnettomuuksien hallintaan (10) pystyvät myös alalle hakeutuvat sivuavien koulutusohjelmien opiskelijat valitsemaan sivuaineen. Nämä ydinalalle asiantuntijoita

myös tuottavat koulutusohjelmat ovat konetekniikka, kemiantekniikka, tuotantotalous sekä teknillinen fysiikka ja matematiikka. Kansainvälisesti LUT:n ydinalan koulutus toimii ennen kaikkea EU:n ENEN-verkoston yhteyksin (European Nuclear Education Network).

3. Tutkimustoiminta

LUT Energia koordinoi kahta valtakunnallista tutkijakoulua: Sähköenergiatekniikan tutkijakoulua ja Laskennallisen virtausdynamiikan tutkijakoulua. Yhteistyö kaikkien kotimaisten alaan liittyvien yliopistojen ja VTT:n kanssa on tiivistä ja jatkuvaa.

Energiatekniikan tutkimuksen pääsovellusalueet ovat kestävän kehityksen mukaiset energiantuotanto- ja muuntoprosessit sekä energiatehokkaat laitteet ja prosessit. Tutkimuksen tekeminen näillä alueilla rakentuu termodynamiikan, virtaustekniikan ja lämmönsiirron vankan perusosaamisen varaan. Tulosityksikön tutkimusryhmissä työskentelee 70 tutkijaa mm. ydintekniikan, uusiutuvien energijärjestelmien, energiaprosessien mallintamisen ja lämpö- ja virtauskoneiden alueilla. Tulosityksiköllä on laajaa yhteistyötä alan yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa sekä kansallisesti että kansainvälisesti.

LUT:ssa on merkittävä osa ydinvoimatekniikan tutkimuksesta Suomessa. Pää tutkimusalueena on ollut kokeellinen ja laskennallinen ydinturvallisuuden tutkimus. Yliopiston tutkimuslaboratorioon on rakennettu useita mittavia koelaitteistoja, joilla mallinnetaan kevytvesireaktoreiden turvajärjestelmiä: PACTEL, PWR PACTEL, PPOOL-LEX. Koelaitteistoilla on tuotettu ainutlaatuista dataa ennen kaikkea tietokoneohjelmien kelpoistamista varten. Näitä dataa hyödynnetään vuosittain monissa eri organisaatioiden SAFIR2014-tutkimusohjelman projekteissa. SAFIR2014:n projektit muodostavat LUT:n tutkimustoiminnan rungon. LUT:illa on myös osaaminen erilliskoelaitteistojen tarvittaessa nopeaankin kehittämiseen ja valmistamiseen, mitä ovat hyödyntäneet viranomaiset, voimalaitokset ja voimalaitostoimittajat kehityshankkeissaan ja turvallisuustarkasteluissaan.

LUT:ssa on kehitetty häiriö- ja onnettomuustilanteiden termohydraulisiin ja virtausdynamiisiin turvallisuusanalyysiin käytettäviä laskentakoodoja omia koetuloja käyttäen useissa kansainvälisissä hankkeissa, mm. käynnissä olevissa EU-projekteissa ja OECD/NEA:ssa. Näitä termohydrauliikka- ja CFD-koodoja (APROS, CATHARE, RELAP5, SMABRE, Fluent, TransAT, NEPTUNE CFD) on käytetty myös omien kokeiden analysointiin. Myös laitosten turvallisuusanalyysiin on osallistuttu vuosien varrella. Uusimmilla mittaussjärjestelmillä pyritään tuottamaan kolmidimensioisen CFD-laskennan edellyttämää tarkkaa kelpoistusdataa. NETNUC-hankkeessa tutkitaan LUT:n koordinoimana Aalto-yliopiston ja VTT:n kanssa uudentyyppisten ydinreaktoreiden ilmiötä Suomen Akatemian SusEn-ohjelmassa. LUT on keskittynyt erityisesti kaasujäähdytteisten kuulakekoreaktoreiden mallinnukseen hyödyntäen tutkimuksessaan myös laitoksen polttovoimalaitosmallinnusosaamista.

Reaktorifysikaalinen mallinnus on tehty VTT:n Serpent-ohjelmalla. LUT on jäsen EU:n kestävän ydinenergian teknologiyhteisössä SNE-TP.

LUT Energian virtaustekniikan laboratoriollla on pitkäaikaista kokemusta prosessilaskennasta, turbiinien virtausteknisestä suunnittelusta ja mallintamisesta (CFD). Turbiinien kokoluokat vaihtelevat pienistä bioenergiayksiköistä tuulivoimaloiden kautta aina ydinvoimalaitossovelluksiin, joissa on prosessihyötysuhdetta ja luotettavuutta pystytty korottamaan materiaalien parantumisen ja virtauslaskennan kehittymisen myötä.

Ydinalan tutkimusta on myös LUT Metallin laitoksella ja CEID:ssä (The Centre of Computational Engineering and Integrated Design), joka keskittyy teollisuusprosessien numeerisen mallinnukseen, mikä on yksi LUT:n tutkimuksen painopistealoista. Sovellusala on erityisesti hitsaustekniikka. Mekatroniikan yksikkö projektissaan kehittää ITER:n fuusiokooreaktoriin primääriseinämän hitsausrobotia hyödyntäen siinä myös etäoperoinnin ja virtuaalisuunnittelun osaamistaan.

LUT Kemian Erotustekniikan keskus (CST) kehittää moderneja erotusmenetelmiä, joita voidaan soveltaa mm. kaivosteollisuudessa, ja teknillisen kemian laboratorio on tehnyt pienimuotoista selvitystyötä myös uraanin erotukseen liittyen.

4. Täydennyskoulutus

LUT koordinoi kansallista Ydinturvallisuuskurssia (YK-kurssi), joka kouluttaa ydinenergia-alalla olevia. Kurssi toteutetaan yhteistyössä ydinvoimayhtiöiden, STUK:n, VTT:n, Aalto-yliopiston ja työ- ja elinkeinoministeriön kanssa. LUT on myös ollut mukana suunnittelemassa ydinvoimalaitosoperaattorien koulutuksen uudistamista ja osallistuu erikoisalojensa kurssittamiseen heille.

LUT:n yksikkö Koulutus- ja kehittämiskeskus hoitaa keskitetysti täydennyskoulutusta. Hitsaustekniikan alalla on erityisen laaja koulutustarjonta. (<http://developmentcentre.lut.fi/>)

5. Yliopiston tulevaisuuden näkymät

LUT aikoo jatkossakin panostaa strategia-aloihinsa hyvin sopivaan ydinvoimatekniikan opetukseen ja tutkimukseen. Vuonna 2012 alkaa kansainvälinen maisteriohjelma sekä Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma YTERA yhdessä Aalto-yliopiston ja Helsingin yliopiston kanssa. Toisen ydintekniikkaan keskittyvän professorin perustamisen resursseja pyritään hankkimaan. Tutkimusinfrastruktuuriin on panostettu toinen tutkimushalli kunnostamalla, ja SAFIR2014-tutkimusohjelman ja Suomen Akatemian rahoituksilla modernisoidaan tutkimusvälineistöä.

Oulun yliopisto

Seuraava selvitys koskee vain Oulun yliopiston teknillistä tiedekuntaa ja teksti on koostettu osastojen vastauksista. Tiedekunta koostuu viidestä osastosta, joiden yhteinen opiskelijamäärä on hieman yli 4000 opiskelijaa. Henkilökuntaa on noin 700. Tiedekunnassa suoritetaan sekä diplomi-insinöörin että arkkitehdin tutkintoja sekä jatkotutkintoja. Vaikka tiedekunnassa ei ole ydinvoimatekniikkaan tai reaktoritekniikkaan suoranaisesti liittyvää koulutusta tai tutkimusta, ydinenergia-alaa tukevaa opetusta on tiedekunnan kaikilla osastoilla. Ydinenergia-alan koulutusta palvelevia oppiaineita on tietenkin myös luonnontieteellisen tiedekunnan fysiikan ja kemian laitoksilla. Seuraavassa käsitellään ensin tutkimusta ja koulutusta osastokohtaisesti ja sen jälkeen kerrotaan lyhyesti suunnitteilla olevasta täydennyskoulutuksesta.

Arkkitehtuurin osasto

Tutkimus: Ydinvoimahankkeen maankäyttö ja sen vaikutukset lähialueiden muuhun alueidenkäytön suunnitteluun (vrt. harjoitustyönä tehty Simon maankäytön kehityskuva 2010).

Koulutus: arkkitehtiopiskelijoille suunnattu teollisuusrakennusten (ei siis pelkkä ydinvoima) vapaavalintainen suunnittelukurssi voisi olla mahdollinen.

Konetekniikan osasto

Tutkimus: Osastolla on erityisosaamista mm. kunnossapitotekniikassa, materiaa-litekniikassa, rakennesuunnittelussa ja koneenrakentamisessa. Näitä kaikkia tarvitaan ydinvoimaloiden ylläpitotehtävissä. Suoraan ydinenergiaan liittyvää tutkimusta ei ole, mutta yllä mainituilla aloilla on tehty tutkimusta, jota voidaan soveltaa myös ydinvoimateollisuuteen.

Koulutus: Osasto tarjoaa konetekniikan koulutusohjelman eri opintosuuntien mukaisina painotuksina. Koulutusohjelma soveltuu laaja-alaisuutensa takia erityisen hyvin ydinvoimalan suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon tarpeisiin. Materiaalitekniikan osaaminen mahdollistaa ydinvoimalaitosten varsinkin teräsmateriaaleihin liittyvien materiaalitekniisten erityiskysymysten käsittelyn. Rakennesuunnittelun ja teknillisen mekaniikan osaaminen mahdollistaa vaativien suunnittelu-tehtävien ja lujuuskysymysten käsittelyn. Koneiden kunnon diagnostiikka on keskeisessä asemassa ydinvoimaloiden kunnossapidossa, johon osastolta löytyy sopivia opintokokonaisuuksia. Koneensuunnittelu ja tuotantotekniikka ovat konetekniikan koulutusohjelman keskeisiä alueita, joita tarvitaan myös ydinvoimaan liittyvässä koulutuksessa.

Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto

Tutkimus: Suoraan ydinenergiaan liittyen ei ole tehty tutkimusta, voimalaitoksiin ja voimalaitosautomaatioon liittyvää tutkimusta on sen sijaan käynnissä.

Koulutus: Osaston koulutuksessa on runsaasti sellaista ainesta, joka sopii ydinenergiakoulutukseen ainakin niiltä osin, kun toimitaan varsinaisen reaktorisalin ulkopuolella: voimalaitosautomaatio ja automaatiotekniikka laajemminkin, lämpö- ja diffuusiotekniikka suurelta osin, pumppaukset, virtaustekniikka, virtausmallintaminen ja -simulointi yms.

Sähkö- ja tietotekniikan osasto

Tutkimus: Ydinvoimaloissa tarvittavaan valvomotekniikkaan osastolla on sivuavaa tutkimusta ja kurssejakin. STO:lla on instrumentoinnin, digitaali- ja sulautettujen järjestelmien osaaminen. Kriittiseen infrastruktuuriin liittyvää tutkimusta on tehty jo pitkään. Osastolla on tehty aikaisemmin myös positroniannihilaatiotutkimusta ja tässä yhteydessä hankittu kokemusta ydintekniikan instrumentoinnista (anturit, elektroniikka, signaalinkäsittely). Tutkimus tuotti kolme väitöskirjatyötä ja näitä sivuavia julkaisuja. Osaston yhteydessä toimi tuolloin (1970-90) Ydintekniikan laitos, jonka yhteydessä oli tutkimuksessa tarvittava laboratorioympäristö, joka on osin käytössä edelleen.

Koulutus: Osasto voisi periaatteessa tarjota työnimellä "Nuclear electronics" kurssin, joka käsitelisi alfa, beeta, gamma, yms. hiukkasten ilmaisua ja energian sekä esiintymishetken mittausta pulssielektroniikan keinoin. Tämä on tyypillinen ko. kurssin sisältö ja sen seuraaminen edellyttää hyviä perustietoja elektroniikasta. Alan tutkijakoulutuksen tehostamiseksi tällainen kurssi voisi olla tarpeen. Tähän kurssiin voisi liittyä jokin/joitakin teoriajaksoja fysiikan laitokselta.

Tuotantotalouden osasto

Osastolla on tutkimus- ja koulutuskokemusta usealta ydinenergia-alaa sivuavalta alueelta: yrityksen politiikat, strategia, laitoksen toiminta, laitoksen turvallisuus, laitoksen hallinnointi ja suorituskyky, laitosjärjestelmät ja konfiguroinnin hallinta, human resource management, jne. Projekti- ja laatujohtamisen osalta osasto on mukana tutkimusprojektissa "Large project governance", jossa yhtenä tutkimuksen kohteena on ydinvoimalaitosten rakennusprojekti. Hankkeen kokonaisvolyymi on n. 2.5 M€, mutta osasto on mukana varsin pienellä <100k€ osuudella. Hanke toteutetaan konsortiolla, johon kuuluvat Aalto-yliopisto, Åbo Akademi ja Oulun yliopisto. Lisäksi on käynnissä diplomityö ydinjätteen loppusijoituksesta. Laajojen projektien johtamisen tutkimuksessa käsitellään ongelmia, joita syntyy, kun erilaisista institutionaalisista ympäristöistä tulevat organisaatiot työskentelevät projekteissa. Projektijohtamisen kurssit liittyvät suoraan rakennusvaiheen problematiikkaan ja tähän on useita eritasoisia kursseja (projektitoiminnan perusteet, projektinhallinta, projektijohtamisen erikoistyö, projektijohtamisen kirjallisuusseminaari, projektiliiketoiminta). Lisäksi laatujohtaminen ja laatu ovat erityisesti ydinenergia-alalla tärkeässä roolissa. Tähän tarjotaan myös useita kursseja (laadun perusteet, laatujohtaminen, laatujohtamisen erikoistyö, laatujohtamisen arviointi, laadun jatkokurssi). Tuotantotalouden osaston työtieteen yksikössä on monenlaista työn tuottavuuteen,

turvallisuuteen, terveellisuuteen ja työhyvinvointiin liittyvää tutkimusta ja koulutusta, joka soveltuu myös ydinenergia-alalle. Turvallisuusjohtaminen ja vahinkoriskien hallinta on yksi erikoisalue, joka nähdään osana hyvää johtamiskokonaisuutta. Laitteiden käytön ja huollon ergonomia on toinen erikoisala samoin koneiden suunnittelu, painelaitteiden suunnittelu ja monet muut turvallisuuteen liittyvät asiat. Näitä teemoja opetetaan erityisesti opintojaksoilla Prosessiteollisuuden turvallisuus, Koneturvallisuus ja käytettävyys, Käytettävyys ja turvallisuus tuotekehityksessä sekä Kemialliset ja fysikaaliset työympäristötekijät. Yksikössä on tehty diplomityö Olkiluodon ydinvoimalaitoksen ulkomaisen rakentajan turvallisuusjohtamisen ja työmaasuunnittelun tarpeisiin.

Täydennyskoulutus

Tiedekunnassa ollaan käynnistämässä PD-tasoista täydennyskoulutusta ydinenergia-alalle. Koulutus tapahtuu kahtena perättäisenä sisäänottona (30-40 opiskelijaa) vuoden 2012 alusta alkaen. Hankkeen aikana päätetään pysyvästä opintosuuntata-son koulutuksesta.

Tampereen teknillinen yliopisto

1. Yleistä

Tampereen teknillinen yliopisto (TTY) keskittyy tekniikan ja arkkitehtuurin tutkimukseen ja tähän tutkimukseen perustuvaan ylimpään opetukseen. TTY on merkittävä valtakunnallinen ja kansainvälinen teknologisen kehityksen tiennäyttäjä sekä haluttu tutkimusmaailman ja elinkeinoelämän yhteistyökumppani. Lisäksi TTY on aloillaan vetovoimainen tutkimus- ja opiskeluympäristö, jossa kansainvälisyys on keskeinen osa toimintaa. Tieteellisessä toiminnassa yhdistyvät luonnontieteellinen ja teknillinen tutkimus sekä teolliseen liiketoimintaan liittyvä tutkimus. Henkilöstöä on noin 2000, joista 80 % on opetus- ja tutkimustyössä tai sitä avustavissa tehtävissä. Vuoden 2010 alussa TTY:stä tuli säätiöyliopisto.

TTY:n arvot ovat vastuullisuus, rohkeus, sivistys ja viisaus. Ne korostavat sitä, että TTY kantaa vastuuta ympäristön ja ihmiskunnan tulevaisuudesta etsimällä rohkeasti uusia avauksia tekniikan tutkimukseen ja koulutukseen. Lisäksi TTY vaalii sivistystä sitoutumalla vahvasti akateemiseen perinteeseen ja tasaarvon ja kansainvälisyyden edistämiseen. Viisaus ilmenee TTY:n pitkäjänteisessä toiminnassa niin, että TTY pyrkii toiminnan kehittämisessä suomalaisen yhteiskunnan ja ihmiskunnan hyväksi. TTY:ltä valmistuu diplomiinsinöörejä ja arkkitehteja sekä tekniikan ja filosofian tohtoreita eri teollisuuden aloille. Suurimmat koulutusalat ovat tieto-, sähkö-, kone- ja automaatiotekniikka. TTY:ssä on noin 10 000 perusopintoja suorittavaa opiskelijaa ja 1 600 jatkoopiskelijaa.

2. Koulutus

TTY:ssä on kolmetoista koulutusohjelmaa (ko.), joissa voi suorittaa kandidaatin, arkkitehdin ja diplomiinsinöörin perustutkintoja. Nämä koulutusohjelmat ovat: arkkitehtuurin ko., automaatiotekniikan ko., biotekniikan ko., konetekniikan ko., materiaalitekniikan ko., rakennustekniikan ko., signaalinkäsittelyn ja tietoliikennetekniikan ko., sähkötekniikan ko., teknisuonnontieteellinen ko., tietojohdamisen ko., tietotekniikan ko., tuotantotalouden ko., ympäristö- ja energiatekniikan ko. Ydinenergiateollisuuteen liittyvää koulutusta annetaan erityisesti automaatiotekniikan, konetekniikan, rakennustekniikan, signaalinkäsittelyn ja tietoliikennetekniikan, sähkötekniikan, tietotekniikan, tuotantotalouden sekä ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelmissa. Esimerkiksi ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelmassa opiskelija voi valita energia- ja prosessitekniikan aineopinnot. Kaiken kaikkiaan TTY tarjoaa varsin paljon koulutusta, josta opiskelija saa hyvät valmiudet toimia ydinvoimalaitoksessa erilaisissa työtehtävissä. Yksi keskeinen yhteistyön muoto, joka lisää opiskelijoiden ydinvoimatekniikkaan liittyvää osaamista, ovat teollisuudessa tehtävät opinnäytetyöt. Tällaisia pieniä hankkeita on eri koulutusohjelmissa säännöllisesti käynnissä.

TTY:ssä on mahdollista suorittaa myös jatkotutkinto niin, että se painottuu ydinvoimalaitoksiin, esim. automaatiotekniikan, sähkötekniikan, voimalaitostekniikan, turvallisuustekniikan tai konetekniikan näkökulmasta. Jatkotutkinnot rakennetaan henkilökohtaisen suunnitelman perusteella, joten tutkinto voidaan painottaa sen mukaan, mikä kulloinkin katsotaan tarpeelliseksi.

TTY:ssä toimii erillinen täydennyskoulutusorganisaatio Edutech, joka järjestää teollisuudelle ja muille tarvitsijoille täydennyskoulutusta. Parhailleen heillä on käynnissä myös ydinvoimalaitoksiin liittyvä tilattu koulutus, jonka opetuksessa TTY:n professorit ovat aktiivisesti mukana.

3. Tutkimustoiminta

TTY:n koko rahoituksesta lähes 40 prosenttia muodostuu ulkopuolisesta rahoituksesta kuten Tekesiltä, teollisuudelta, Suomen Akatemialta ja EUprojekteista saaduista tuloista. Myös ydinenergiaan liittyviä useita tutkimushankkeita on säännöllisesti käynnissä. Hankkeet ovat kuitenkin yleensä luottamuksellisia, joten niistä ei voida tiedottaa ilman rahoittajan lupaa. Kaiken kaikkiaan TTY:n tutkimustoiminta ja osaaminen ydinenergiaan liittyen on varsin laajaa ja monipuolista. Osaamista myös hyödynnetään varsin hyvin. TTY:ssä on keskitytty muihin asioihin kuin varsinaiseen reaktorifysiikkaan. Pitkäjänteisen tutkimus- ja koulutustyön tuloksena Tampereen teknilliseen yliopistoon on syntynyt vahvaa osaamista ydinvoimalaitoksiin liittyen ja sitä ollaan kiinnostuneita hyödyntämään jatkossakin suomalaisen energiateollisuuden kanssa hyvässä yhteistyössä.

Åbo Akademi

1. Yliopiston kuvaus

Åbo Akademi (ÅA) on Suomen ruotsinkielinen yliopisto, so. perustutkinnon opetuskieli on ruotsi. ÅA rakentuu kolmesta tiedekunta-alueesta: tiedekunta-alue humanistisille, pedagogisille ja teologisille aineille, valtiotieteellinen tiedekunta-alue, sekä luonnontieteiden ja tekniikan tiedekunta-alue. Fysiikka kuuluu viimeksi mainittuun Luonnontieteiden laitoksen kautta.

Åbo Akademi on pienehkö yliopisto, jossa on noin 7000 opiskelijaa. Vuosittain valmistuu noin 500 maisteria ja kandidaattia sekä noin 80 tohtoria. Henkilökunnan koko on runsaat 1300, josta opetus- ja tutkimushenkilökuntaa vajaan 60%. Kukin aine on verraten pieni, koska aineita on yli viisikymmentä. Kaikista valmistuneista maistereista suurehko osa on opettajia, koska ÅA on ainoa ruotsin kielellä toimiva yliopisto, jolla on opettajainkoulutusvelvollisuus.

2. Tutkintokoulutus

Kuten muissa yliopistoissa koulutetaan alempana tutkintona kandidaatteja ja ylempänä maistereita (FM-tutkinto). Lisäksi fysiikan laitos tarjoaa jatkotutkintokoulutusta FL-tutkinnon (lisensiaatti, harvinainen nykyään) ja FD-tutkinnon (FT eli tohtorintutkinto) saavuttamiseksi. Fysiikan laitoksella on neljä erikoistumisen osa-aluetta: orgaaninen elektroniikka, kvanttioptiikka, ydinfysiikka ja mössbauerspektroskopia.

Ydinfysiikkaa on tutkittu fysiikan laitoksella vuodesta 1976, jolloin ÅA:han sijoitettiin nk. K-20-syklotroni, joka kiihdyttää protoneja energiaan 20 MeV asti. Se asennettiin pääasiallisesti lääketieteellisten isotooppien tuotantoa varten, mutta monessa FM-tutkinnossa oli silloin aiheena ydinfysiikkaa, kuten myös FL- ja FD-tutkinnoissa. Kun 1980-luvun lopussa ja 1990-luvun alussa tuli materiaalfysiikan professuuri, myös tämä osa-alue alkoi vetää opiskelijoita. Ydinfysiikka on kuitenkin jatkuvasti kiinnostanut opiskelijoita kaikilla tasoilla. Alalta valmistuu muutama FM vuosittain, ja tällä hetkellä on ydinfysiikassa ennätyselliset viisi tohtoriopiskelijaa.

3. Tutkimustoiminta

Ydinfysiikan tutkimustoiminta on pääasiallisesti nk. perustutkimusta. Tämä tarkoittaa ÅA:lla ydinten mikroskooppisten rakenteiden tutkimusta, sekä kokeellisesti että teoreettisesti.

Kokeellisen ydinfysiikan tutkimuksessa käytetään yleensä kiihdytintä, jolla pommitushiukkasille voidaan antaa tarpeeksi suuri energia, jotta ne tunkeutuvat kohdeyttimeen ja tuottavat ydinreaktion. Tämän tuotosytimen gammasäteily kertoo sen sisäisten tilojen ominaisuuksista. ÅA:n tutkimuksissa käytetään omaa kiihdytintä matalaenergiareaktioissa ja Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen (JYFL)

K-136-syklotronia suurempien energioitten tarpeessa. JYFL:n kone pystyy myös kiihdyttämään raskaampia ioneja, aina ksenoniin asti. Lisäksi käytetään Oslon yliopiston kiihdytintä erikoistapauksissa.

Tulosten tulkintaa varten tarvitaan teoreettinen tausta, eli teoreettisia malleja. Teoreettisia laskuja ei voida tehdä ÅA:ssa, vaan ne tehdään yhteistyössä JYFL:n teoreetikoiden kanssa. Näin saadaan monipuolinen tulkinta kokeellisista mittaustuloksista.

4. Jatko- ja täydennyskoulutus

Yliopistojen pääasiallinen tehtävä on "edistää vapaata tutkimusta sekä ... antaa tutkimukseen perustuvaa ylintä opetusta sekä ..." (Yliopistolaki 2§). Kansankielellä tämä tarkoittaa "kouluttaa maistereita ja tohtoreita yhteiskunnan käyttöön". ÅA:n fysiikan laitoksella niitä koulutetaan neljällä yllämainitulla osa-alueella.

Ydinfysiikan uutena osa-alueena on vuodesta 2005 lähtien ydinenergia. Koulutukseen on kehitetty puolentusinaa uutta kurssia, jotka valaisevat nimenomaan ydinenergiaan liittyviä kysymyksiä. Ydinfysiikan pakettiin kuuluu yhteensä noin yhdeksän kurssia (<http://users.abo.fi/tlonnrot/nucl-teaching-future.htm>). Esimerkiksi FM-tutkintoon voidaan näin ollen sisällyttää noin 60 op ydinenergiaan liittyviä kursseja, ja jos kandi- ja gradutyöt lasketaan mukaan (8 ja 40 op), niin tästä tulee yhteensä noin 110 op, kun maisterintutkinnon kokonaisvolyymi on 300 op. Jos FM-tutkinto koostuu muista aiheista/osa-alueista, niin näitä kursseja voidaan sisällyttää FD-tutkinnon opiskelumateriaaliin (yhteensä 60 op).

5. Yliopiston tulevaisuuden näkymät

Tätä selvitystä kirjoittaessa Åbo Akademin, ja myös fysiikan, tulevaisuus vaikuttaa vakaalta. Ei ole (sisäisesti) ilmennyt uhkatekijöitä usean vuoden aikavälillä. Näin ollen voidaan olettaa, että kaikki koulutusmuodot säilyvät ennallaan vähintäänkin yhden koulutusjakson (FM = 5-7 vuotta) aikana, ja todennäköisesti paljon pitempään.

Ydinenergia-alan kurssikokoelmaa tuskin laajennetaan, ainakaan paljon. Sen sijaan kytkentöjä teollisuuteen pyritään tiivistämään. Jo nyt on olemassa yhteys henkilöitä TVO:ssa, Fortumissa ja STUKissa, jotka ovat myös lupautuneet toimimaan ohjaajina teknisellä puolella, mutta aihetta kannattaa laajentaa.

Ammattikorkeakoulujen koulutustarjonta ydinenergia-alalla

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Kajaanin ammattikorkeakoulu toimii Kajaanin kaupungin omistamana liikelaitoksena. Tutkintoon johtavaa koulutusta järjestetään Kajaanin lisäksi myös

Kuusamossa. Opiskelijoita on n. 2000, insinöörikoulutuksen opiskelijoiden määrän ollessa n. 500. Koulutusohjelmia on 3: tietotekniikka, kone- ja tuotantotekniikka sekä rakennustekniikka. Järjestämme myös monipuolisia täydennys- ja erikoistumisopintoja aikuisopiskelijoille.

Tulemme tarjoamaan Fennovoiman päätöksistä riippuen ydinenergia-alasta kiinnostuneille opiskelijoillemme kaikille kolmelle edellä mainitulle koulutusohjelmalle samansisältöistä laajuudeltaan 15 opintopisteen kokonaisuutta, jonka opiskelija voi niin halutessaan sisällyttää osaksi vapaasti valittavia opintojaan.

Tarjottavan opintokokonaisuuden sisältö muodostuu laadunhallinnan, projektinhallinnan, mekaniikan, konetekniikan, teollisuuskunnossapidon ja käyttövarmuustekniikan nimenomaan ydinenergia-asiantuntijuutta tukevista, perustason osaamista syventävistä opintokokonaisuuksista. Tämä tarjoaa opiskelijoille, miltä tahansa koulutusohjelmalta, mahdollisuuden saada ja hallita ydinenergia-alan perustiedot ja mahdollisuudet työllistyä alaa joko tukevaan tai sitä suorittavaan teollisuuteen. Perustietojen ja -taitojen hallinta on edellytys, jolla tutkinnon suorittaneet ovat osoittaneet valmiutensa alaa kohtaan ja myös osoittaneet kykynsä oppia edelleen työelämän osaamista vaativissa erityisasiantuntijuuden mukaisissa tehtävissä, erityisesti automaation ja rakennustekniikan alan perustietojen ja -taitojen hallitsijana.

Mittaustekniikan ja tietojärjestelmien tutkimus- ja koulutuskeskus CEMIS (Centre for Measurement and Information Systems) on Kajaaniin perustettu kahden yliopiston (Oulun yliopisto ja Jyväskylän yliopisto), kahden tutkimuslaitoksen (MIKES ja VTT) ja Kajaanin ammattikorkeakoulun yhteinen sopimus pohjainen tutkimus- ja koulutuskeskus. CEMISin toiminnassa mukana olevissa tutkimus- ja koulutusyksiköissä työskentelee noin 130 mittaus- ja tietojärjestelmäalan asiantuntijaa. CEMISin tehtävänä on tarjota tulevaisuuden ammatteihin tähtääville opiskelijoille innostava koulutusympäristö ja kehityshaluisille tutkijoille ja asiantuntijoille innovatiivinen ja kansainvälinen työskentely-ympäristö. Mittaus- ja tietojärjestelmiä kehittäville ja niitä soveltaville yrityksille ja tutkimuslaitoksille keskus tarjoaa alan parhainta osaamista, kansainvälisesti arvostettua tutkimustoimintaa sekä uusia innovaatioita.

CEMIS muodostuu Oulun yliopiston Kajaanin yliopistokeskuksen mittaustekniikan tutkimusyksiköstä, Kajaanin ammattikorkeakoulun tietojärjestelmät-osaamisalueesta, MIKESin Kajaanin tutkimusryhmästä, VTT:n Kajaanin toimipisteestä ja Jyväskylän yliopiston Vuokatin liikuntateknologian yksikön mittaustekniikan kehittämistoiminnoista. Oulun yliopiston mittaustekniikan tutkimusyksikköön on koottu Kajaanin seudulla toimivat Oulun yliopiston nykyiset teknologian tutkimusyksiköt (biotekniikan laboratorio, mittalaitelaboratorio, langattoman tiedonsiirron tutkimuskeskus CWC:n Sotkamon yksikkö ja tietojenkäsittelytieteiden Kajaanin yksikkö). Tietojärjestelmät-osaamisalueeseen on koottu Kajaanin ammattikorkeakoulun tietotekniikan (insinöörikoulutus) ja tietojenkäsittelyn (tradenomikoulutus) opetus- ja t&k-henkilöstö. MIKESin soveltavan metrologian tutkimusryhmä on perustettu Kajaaniin kehittämään teollisuusmetrologiaa ja ylläpitämään valittuja kansallisia

mittanormaaleja. Pystymme siis tarjoamaan myös ydinenergia-alaa edustaville yrityksille ja toimijoille monipuolisia mittaus- ja tietojärjestelmäalojen tutkimus-, kehitys-, ja innovaatiopohjaista yhteistyötä kaikilla käytössä olevilla resursseillamme.

Opintojen sisällön kehittämisen tavoitteena on tärkein kohteemme juuri tätä kirjoitettaessa kaivostekniikan uuden Insinööri (AMK) -koulutusohjelman sisällön kehitys ja hakuprosessin työstäminen. Tarjoamme tällä hetkellä kaivostekniikan suuntautumisvaihtoehdon osana kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaamme.

Kehitämme edelleen opintojen sisältöä suoraan kaivosalan tarpeita tukevaksi ja yhdistämme olemassa olevaa rakennustekniikan osaamista suunnaten sitä erityisesti kaivos- ja kalliorakentamisen, tarkkuuslouhinnan, ympäristötekniikan sekä kaivoksen elinkaaren aikaisen ympäristö- ja kierrätyksen osaamisen näkökulmista suljetun, turvallisen toimintaympäristön erityispiirteet huomioiden. Tätä varten tulemme hakemaan yksin tai jonkun kumppanimme kanssa Suomen oloissa kokonaan uutta Insinööri (AMK) -koulutusohjelmaa keväällä 2012 opetus- ja kulttuuriministeriöltä. Uskomme, että kaivosalaa kehittävä osaaminen palvelee myös ydinenergia-alan tarpeita rakentamisen, kunnossa- ja käynnissäpidon sekä teollisuuden automaation näkökulmasta.

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu

1. AMK:n esittely

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun tehtävänä on edistää toiminta-alueen kehittymistä ja hyvinvointia työelämäläheisen opetuksen sekä tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan yhteisvaikutuksena. Ammattikorkeakoululla on kampukset Kokkolassa, Ylivieskassa ja Pietarsaassa. Insinöörikoulutusta annetaan sekä Kokkolassa että Ylivieskassa. Ammattikorkeakoulu profiloituu kansainvälisenä, innovaatiotoimintaan ja yrittäjyyteen kannustavana ammattikorkeakouluna. Ammattikorkeakoulun koulutuksen ja tki-toiminnan painoaloja ovat:

- ICT; hajautetut ja langattomat järjestelmät
- teollisuusprosessien ja tuotantoteknologioiden kehittäminen sekä
- moniammatilliset hyvinvointi- ja kulttuuripalvelut sekä palveluliiketoiminta

Keskimääräinen opiskelijamäärä on noin 3000, joista lähes puolet opiskelee insinööreiksi. Vuosittain tutkinnon saa noin 500 opiskelijaa. Insinöörikoulutuksessa on noin 1500 opiskelijaa. Korkeakoulun palkkalistoilla on 300 henkilöä, joista 150 on opetustehtävissä. Ammattikorkeakoulun kokonaistuotot ovat noin 27 M€, josta 7 M€ on kilpailtua ulkoista rahoitusta. Taseen loppusumma on 13 M€.

2. Tutkintokoulutus

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulussa voi opiskella 20 eri koulutusohjelmassa ammattikorkeakoulututkintoon, joista viisi koulutusohjelmaa on täysin

englanninkielisiä (<http://www.cou.fi>). Ylempään ammattikorkeakoulututkintoon voi opiskella kolmessa eri koulutusohjelmassa, joista yksi on englanninkielinen. Tekniikan alan koulutusohjelmat ovat seuraavat:

- Kone- ja tuotantotekniikka
- Kemiantekniikka
- Tietotekniikka
- Mediatekniikka
- Sähkötekniikka
- Tuotantotalous
- Chemistry and Technology
- Industrial Management
- Information Technology
- sekä ylempi amk-tutkintoon johtava Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma

Sähkötekniikan koulutusohjelmassa on kolme suuntautumisvaihtoehtoa: energiatekniikka, sähkövoimatekniikka ja tietoliikennetekniikka. Energiatekniikka, erityisesti sähkön ja lämmön tuotannon tekniikka, on ollut painopisteenä sähköinsinöörikoulutuksen alkamisesta (1990) lähtien.

3. Tutkimus- kehitys- ja innovaatiotoiminta

Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa toteutetaan kaikilla ammattikorkeakoulun koulutusaloilla CENTRIA tutkimus ja kehitys -aputoiminimellä (<http://www.centria.fi>). Vuonna 2010 käynnissä olevien hankkeiden kokonaismäärä oli 90 kappaletta (v. 2009 83 kpl). Uusia hankehakemuksia jätettiin rahoittajille yhteensä 44 kpl (v. 2009 49 kpl). Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, CENTRIA tutkimus ja kehitys hallinnoi 57 hanketta ja toimi osatoteuttajana 33 hankkeessa. Tutkimus- ja kehityshankkeiden laajuus oli 4,4 miljoonaa euroa (v. 2009 3,5 milj. euroa) ja maksullisen palvelutoiminnan tuotot 2,1 miljoonaa euroa (v. 2009 2,0 milj. euroa). Hanketoiminnan kokonaislaajuus kasvoi edeltävästä vuodesta 19 %. Koulutuspalveluiden osuus maksullisesta palvelutoiminnasta oli 53 % (v. 2009 25 %).

ProBoat -hanke oli Tekesin Vene-ohjelmaan kuuluva tutkimushanke, joka toteutettiin yhteistyössä alan yritysten ja Lahden ammattikorkeakoulun Muotoiluinstituutin kanssa. Hankkeen tavoitteena oli tutkia ja kehittää uusien vaihtoehtoisten tuotekonseptien, ympäristöystävällisten materiaalien ja valmistusprosessien soveltamismahdollisuuksia venealalla. Hankkeessa keskityttiin veneiden sisustukseen ja osakomponenttien kehittämiseen.

Vuoden 2010 aikana toteutettiin tekniikan alalla ensimmäistä ICT SHOK -ohjelmasta rahoitettua Cooperative Traffic ICT -hanketta. R&D Wood -hanke sai jatkoaikaa vuoden 2011 loppuun saakka. Hankkeen budjetti vuosille 2008-11 on noin 1,2 miljoonaa euroa. Hankkeessa kehitetään alueen puutuotealan kehittämissympäristöä sekä Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan puutuoteteollisuusyrityksiä. Vuonna 2010

hankkeen puitteissa saatettiin valmiiksi 13 yritysten kehittämispilottia. Kehittämisympäristöosiossa mm. jatkettiin ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisevyyden laskentaosaamisen kartuttamista, kehitettiin ikkuna- ja ovitestaustaitteistoa, perehdyttiin äänieristyksen perusteisiin, tutkittiin lämpökäsitellyn puun teollista pintakäsittelyä öljyillä sekä teetettiin selvitys puumuovikomposiittien soveltamisesta ovi- ja ikkunateollisuuteen.

Energiatekniikan tutkimus on keskittynyt uusiutuvien kotimaisten energialähteiden hyödyntämiseen sähkön ja lämmön tuotannossa. 1990-luvulla tutkimus keskittyi karjatilan biokaasureaktoreihin ja CHP-tekniikkaan. 2000-luvulla tutkimus keskittyy puun kaasutuksen tekniikkaan ja CHP-tekniikkaan.

4. Täydennyskoulutus

Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu on jo pitkään ollut maamme eturivin avoimen korkeakoulutuksen tarjoaja. Avoin verkkoammattikorkeakoulu AVERKO on tarjonnut lähes 15 vuoden ajan virtuaaliopetusta ajasta ja paikasta riippumatta (<http://www.averko.fi>). Viime vuonna AVERKOssa opiskeli noin 1500 opiskelijaa suorittaen 3500 opintopistettä. AVERKOn tarjonnasta löytyy yli 70 eri alan opintojaksoa.

5. Tulevaisuudennäkymiä

Yhteistyö Fennovoiman kanssa on käynnistynyt. Ydintekniikan osuus opetussuunnitelmassa tulee kasvamaan. Huomautettakoon että ydinvoimateollisuudessa tuletaan tarvitsemaan paljon monen muunkin alan osaajia kuin varsinaisen ydintekniikan osaajia.

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Oulun seudun ammattikorkeakoulu (Oamk) on vetovoimainen, tärkeä yhteiskunnallinen toimija ja vaikuttaja Pohjois-Suomessa. Oamk on yksi merkittävimmistä monialaisista ammattikorkeakouluista maassamme. Oamkissa työskentelee yli 800 eri alojen osaajaa ja opiskelijoita on noin 9000. Oamkissa on 27 suomenkielistä ja kolme englanninkielistä ammattikorkeakoulututkintoon johtavaa koulutusohjelmaa sekä kahdeksan suomenkielistä ja kaksi englanninkielistä ylempään ammattikorkeakoulututkintoon johtavaa koulutusohjelmaa. Ammattikorkeakoulussa toimii yksi viidestä Suomen ammatillisista opettajakorkeakouluista.

Oamkin tehtävänä on toimia Oulun seudun ja koko Pohjois-Suomen korkeimman ammatillisen osaamisen kehittäjänä. Opiskelijoista 90 % on kotoisin Pohjois-Suomesta, ja Oamkin koulutusohjelmista puolet on sellaisia, ettei niitä toteuteta muissa Pohjois-Suomen ammattikorkeakouluissa. Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnalla Oamk kehittää alueen hyvinvoinnin ja työ- ja elinkeinoelämän kilpailukykyä vuositasaalla reilun sadan hankkeen ja 250 asiantuntijan voimin.

Oamk profiloituu monialaisuutta hyödyntävänä vahvana osaajana ja alueen innovaatiotoiminnan aktiivisena kehittäjänä. Oamk toimii ympäristössä, jossa vastataan tulevaisuuden haasteisiin korostamalla markkinalähtöisyyttä ja kansainvälistä liiketoimintaa- ja markkinointiosaamista sekä tehostamalla Oulun allianssisopimuksen mukaisia innovaatiokeskittymien toimintaa.

Visionsa ”Hyvinvointia luovana pohjoisen alueen uudistaja” mukaisesti Oamk toteuttaa toiminta-alueen kehitystavoitteita osana kansainvälisesti korkeatasoista alueellista innovaatiokeskittymää seuraavilla painoaloilla:

- internet- ja tietoteknologiapohjaiset innovaatiot ja palvelut,
- kestävät tuotanto-, elinympäristö- ja energiaratkaisut,
- terveyden ja hyvinvoinnin edistämisen uudet toimintamallit ja
- kulttuurin uudet sisällöt ja elämykset.

Pohjois-Suomen suurteollisuus ja toisaalta harvaan asuttu maaseutu tarvitsevat kestäviä ja kilpailukykyisiä elinympäristö- ja energiaratkaisuja. Varsinkin pohjoisissa olosuhteissa ympäristön kantokyvyn huomiointi on erityisen tärkeää kaivannais-toiminnassa, infrastruktuuri- ja korjausrakentamisessa sekä matkailun kehittämisessä. Kestävät elinympäristöratkaisut parantavat alueen elinvoimaa ja siten myös yrittämisen edellytyksiä.

Tulevaisuuden energiaratkaisujen perustana ovat energiatehokkuuden vaatimusten lisääntyminen ja uusiutuvien energiaratkaisujen määrän kasvu. Oamkin energiatekniikkaan suuntautuvassa koulutuksessa ei keskitytä johonkin erityiseen tai yksittäiseen teknologiaan vaan tavoitteena on että, opiskelijat osaavat toteuttaa järjestelmien kokonaissuunnittelua ja käytönaikaista hallintaa sekä ymmärtävät, kuinka niitä ohjataan kokonaisuutena ja automatisoidaan kokonaisuuden kannalta järkevästi.

Satakunnan ammattikorkeakoulu

1. SAMK:n kuvaus

Satakunnan ammattikorkeakoulu (SAMK) on 6500 opiskelijan ja 500 asiantuntijan monialainen, kansainvälisesti suuntautunut korkeakoulu. Koulutusta on neljällä eri paikkakunnalla: Porissa, Raumalla, Huittisissa ja Kankaanpäässä. Toimialamme ovat Liiketoiminta ja kulttuuri, Sosiaali- ja terveysala sekä Tekniikka ja merenkulku.

Tarjoamme AMK-tutkintoja ja ylempiä AMK-tutkintoja koulutusohjelmissa, joita on kaikkiaan kolmattakymmentä. Tutkintoja voi suorittaa myös kokonaan englannin kielellä. Täydennyskoulutuskeskus järjestää ammatillisia erikoistumisopintoja, avoimen ammattikorkeakoulun opintoja sekä kursseja ja seminaareja. Opetusministeriön SAMKille myöntämiä palkintoja:

- Aluekehitysvaikutuksen huippuyksikkö v. 2001–2002
- Koulutuksen laatuyksikkö v. 2002–2003 koulutusohjelmalla ”International Business and Marketing Logistics”

- Koulutuksen laatuyksikkö v. 2005–2006 innovatiivisella pedagogisella ratkaisulla Yrityskiihdyttämö

2. Tutkintokoulutus (tekniikka ja merenkulku)

- Automaatioteknologia, insinööri (ylempi AMK)
- Automaatiotekniikka, insinööri (AMK)
- Environmental Engineering, Bachelor of Engineering
 - Nuclear Technology – module gives the student the basic understanding of nuclear reactions and the needed technology behind the energy production by fission. After this module the student understands the risks involved in nuclear power plants and understands the need for regulations for nuclear and radiation safety.
- Hyvinvointitekniikka, insinööri (ylempi AMK)
- Kemia- ja prosessitekniikka, insinööri (AMK)
- Kone- ja tuotantotekniikka, insinööri (AMK)
- Logistiikka, insinööri (AMK)
- Merenkulku, insinööri (AMK) tai Merikapteeni (AMK)
- Merenkulun hallinto, Merikapteeni (ylempi AMK)
- Rakennustekniikka, insinööri (AMK)
- Sähkötekniikka, insinööri (AMK)
- Tietotekniikka, insinööri (AMK)
- Tuotantotalous, insinööri (AMK)

3. Tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminta (TKI)

TKI-toiminnassa hyödynnetään monialaisuuden tuomat vahvuudet ja monipuolinen asiantuntemus. TKI-toiminta näkyy paikallisesti, valtakunnallisesti ja kansainvälisesti yhteistyönä, hankkeina ja projekteina. Näiden toteuttajina ovat asiantuntijat, tutkijat, opettajat ja opiskelijat. SAMKin yhteistyökumppanina voi olla yhtä hyvin paikallinen pk-yritys kuin kansainvälinen suuryritys.

Tutkimusohjelma palvelee Satakunnan elinkeinoelämän kehittämistarpeita. Se kytkee SAMKin tutkimustoiminnan osaksi alueen muuta tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa sekä kansallisia ja kansainvälisiä verkostoja. Tutkimusohjelma yhdistää SAMKin monialaisuutta uutta luovalla tavalla. Se luo edellytyksiä uusille avauksille ja korkeamman riskin hankkeiden toteuttamiselle. Teeman painopisteet 2010–2013:

- Tulevaisuuden energia ja ympäristö:
- Energiajärjestelmät
- Puhtaan energian tuotantoratkaisut
- Energiatehokkaat ja älykkäät energiaverkot
- Rakennettu ympäristö ja kestävä kehitys

- Ympäristö ja esteettömyys
- Osallistumisen käyttäjälähtöinen tutkimus

Älykkyyttä teollisuuteen ja palveluihin:

- Kustannustehokkuus ja tuottavuus
- Konenäkö ja oppivat koneet
- Tuotantoprosessit ja -ketjut
- Palvelun laatu ja asiakastyytyväisyys
- Tiedon älykäs jalostaminen
- Ihmisen hyvinvointi

4. Täydennyskoulutus

Satakunnan ammattikorkeakoulun täydennyskoulutus on tarkoitettu niille ihmisille ja yrityksille, jotka haluavat kehittyä ja menestyä. Jotta ammattitaito karttuisi ja toisi ihmiselle varmuutta olla ja edetä työmarkkinoilla, keskitymme jokaisen opiskelijan oppimiseen samalla antaumuksella. Yhtä yksilöllisesti vastaamme myös yritysten haasteisiin. Järjestämme asiakkaiden tarpeiden mukaan sekä lyhyt että pitkäkestoisia koulutusta. Koska palvelemme kiireisiä ihmisiä ja yrityksiä, toimintamme on joustavaa mutta määrätietoista.

Tarjoamme opintoja liiketoiminnan ja kulttuurin, sosiaali- ja terveysalan sekä tekniikan ja merenkulun aloilta. SAMK tarjoaa Satakunnassa tutkintoon johtavaa korkeakoulutusta ja täydennyskoulutus on vahvasti alueen kartalla. Koulutamme Porissa, Raumalla, Huittisissa ja Kankaanpäässä, mutta myös verkossa. Opiskelu verkossa helpottaa aikataulujesi laatimista ja tarjoaa tehokkaan tavan oppia itsenäisesti. Tosin ryhmätyötkin onnistuvat mainiosti tässäkin ympäristössä. Myös ydinvoimatekniikan erikoisopintoja on tarjottu.

5. Ammattikorkeakoulun tulevaisuuden näkymät

Satakunta on energiamaakunta ja Satakunnan ammattikorkeakoulu panostaa jatkuvasti sekä energia- että ympäristöosaamiseen niin koulutuksen kuin tutkimuksenkin alueilla. SAMK on solminut merkittävien kumppanien kanssa strategisia kumppanuussopimuksia, jotka sisältävät yhteistyötä niin opetuksessa kuin tutkimus- ja kehittämishankkeissa ja mahdollistavat molempien osapuolten ydinosaamisen hyödyntämisen. SAMK aloittaa lähitulevaisuudessa keskustelut strategisen kumppanuussopimuksen solmimiseksi TVO:n kanssa.

SAMKilla on edustus maakunnallisessa Olkiluoto-työryhmässä. Lisäksi SAMK toimii yhdessä Posivan, Rauman kauppakamarin ja TVO:n kanssa muodostetussa pienryhmässä valmistelemassa ns. ydinvoimamoduulia, jossa suunnitelmassa on sekä nuorten insinöörikoulutuksessa, että täydennyskoulutuksena toteutettavan ydin-tekniikan opetuksen kehittämissuunnitelma. Ydinenergia-alan tutkimusyhteistyötä tehdään jo nyt jatkuvasti EMC-alan mittausten parissa.

Turva-alan koulutustarjonta

Aalto PRO

Aalto University Professional Development – Aalto PRO on kouluttanut turvallisuusjohtoa vuodesta 1990. Aiemmin koulutusta järjestänyt Teknillinen korkeakoulu Koulutuskeskus Dipoli on yksi Aalto PROhon yhdistyneistä yksiköistä. Aalto PRO on Aalto-yliopiston uusi koulutusyksikkö, joka kouluttaa uusia ja kokeneita osaajia edelläkävijöiksi alallaan.

Aalto PRO keskittyy turvallisuuskoulutuksissaan pääasiassa pitkiin turvallisuusjohtamisen ja tietoturvallisuuden johtamisen täydennyskoulutusohjelmiin mutta myös lyhyempiin teemaseminaareihin ja turvallisuustietoutta tarvitseville eri ammattiryhmille suunnattuihin koulutuskokonaisuuksiin. Osallistujat ovat yksityisen sektorin sekä julkishallinnon turvallisuus- ja tietoturvallisuusjohtoa, ja mm. niitä yleisjohdon edustajia, joiden tehtävänä on johtaa turvallisuutta ilman varsinaista turva-alan ammatillista osaamista.

Yliopistollisena täydennyskoulutuksena Aalto PROn turvallisuuskoulutuksilla on vahva yhteys sekä Aalto- yliopiston ja muiden yliopistojen perusopetukseen sekä käytännön työelämään. Koulutussisällöt rakentuvat teoreettiseen tietoon ja tutkimukseen monia tieteenaloja yhdistäen sekä soveltavaan työelämlähtöiseen tietoon ja kokemukseen, työelämän haasteiden ymmärtämiseen, yksilön asiantuntijuuden kasvun tukemiseen sekä osallistujien tarpeiden ja lähtökohtien huomioimiseen. Toteutuksessa olevissa täydennyskoulutuksissa lähtökohtana on organisaation toimintaan kuuluvien turvallisuusriskien kokonaisvaltainen lähestymistapa:

- Turvallisuusjohdon koulutusohjelma(40 op) on organisaation turvallisuudesta vastaavalle johdolle suunnattu ohjelma, jonka tavoitteena on lisätä osallistujien valmiuksia riskien hallintaan ja kykyä kehittää kokonaisvaltaisesti organisaationsa toimintavarmuutta.
- Tietoturvallisuuden koulutusohjelma (30 op) on tietoturvaa arkkitehtuurinäkökulmasta kattavasti tarkasteleva kokonaisuus, joka tarjoaa osallistujille monipuolisia ja ajankohtaisia työkaluja tietoturvallisuuden kokonaisvaltaiseen kehittämiseen.
- Professional Master of Security (105 op) on turva-alan pätevytymisohjelma, jossa opinnot antavat mahdollisuuden syventää ammatillista osaamista, täydentää sitä uusilla, työtehtävien kannalta tärkeillä tiedoilla ja kehittää valmiuksia kehittyvän turva-alan tarpeisiin.
- ACCI-Learn Onnettomuuksista ja tapahtumista oppiminen ja niiden tutkinta (8 pv) on onnettomuuksien ja tapahtumien tutkintaan osallistuville tai niitä johtaville suunnattu ohjelma, jossa tavoitteena on lisätä osallistujien kykyä kehittää tutkintaan liittyvää osaamista ja ymmärrystä omassa organisaatiossaan.

Laurea

Laurea on uutta osaamista tuottava palveluinnovaatioiden ammattikorkeakoulu, jonka toiminnassa työelämäläheisyys on keskeisessä asemassa. Laurealainen toimintamalli Learning by Developing (LbD) nivoo yhteen koulutuksen, aluekehityksen sekä t&k-toiminnan. Laurean strategista kehittämistä ohjaa erityisesti eurooppalainen ja kansallinen innovaatiopolitiikka sekä tulevaisuuden osaamistarpeet.

Laureassa opiskelijoita on noin 7 500 ja henkilöstöä n. 550. Laureasta valmistuu ammattilaisia 16 koulutusohjelmasta, joista 7 toteutetaan englannin kielellä. Laurealla on seitsemän yksikköä Uudellamaalla.

-

Turva-alan koulutusohjelma

Tutkintonimike: Tradenomi, Liiketalouden ammattikorkeakoulututkinto

Laaajuus ja opintojen kesto: 210 op, 3,5 vuotta

Turvallisen elin- ja toimintaympäristön ylläpitäminen ja kehittäminen on tulevaisuudessa yhä enemmän yhteistyötä. Entistä monimutkaisemmat ja laajemmat toimintaketjut ja logistiset verkostot asettavat korostettuja vaatimuksia myös turvallisuudelle. Turvallisuuden asiantuntijaksi voi opiskella Leppävaarassa turva-alan koulutusohjelmassa.

Organisaation arjessa osaaminen ilmenee turvallisuusasioiden suunnittelun, toteuttamisen ja arvioinnin osaamisena sekä johtamiseen liittyvien taitojen hallintana. Turva-alan tradenomin ydinosaamisalueita ovat riskienhallinta, turvallisuusjohtaminen, liiketoimintaosaaminen, henkilöturvallisuus, tietoturvallisuus ja turvallisuusjohtaminen sekä toiminnan, toimitilojen ja ympäristön turvallisuus. Opiskelun aikana opitaan myös ennakoidaan erilaisten turvallisuusuhkien ja -toimenpiteiden taloudellisia vaikutuksia. Turvallisen elin- ja toimintaympäristön ylläpitäminen ja kehittäminen vaatii yhä enemmän yhteistyötaitoja ja monialaisia verkostoja, joten opinnoissa kehitetään myös viestintä- ja monikulttuurisuusosaamista. Turva-alan tradenomi työskentelee erilaisissa turva-alan tehtävissä kuten esimerkiksi turvallisuusasiantuntijana, turvallisuussuunnittelijana, riskienhallintapäällikkönä, turvallisuuspäällikkönä, palotarkastajana tai turva-alan opettajana. Opintojen aikana on mahdollista myös käynnistää ja kehittää omaa yritystoimintaa.

Turva-alan koulutusohjelma toteutetaan myös aikuiskoulutuksena.

Koulutusohjelmasta on valmistunut 307 (6/2011).

Security management

Bachelors degree: Bachelor of Business Administration (BBA)

Duration of studies: 210cr, 3.5 years

The Degree Programme in Security Management produces competencies improving security, safety, innovative security solutions and new services. Utilizing diverse

development methods are central areas throughout the degree. The aim is to provide students with high integrity and the ability to develop innovative security solutions and new services for both private and public sector.

Graduates of the Degree Programme in Security Management have core competences in risk management, business operations, personal safety, information security, security management, and the security of operations, facilities and environment. Security management experts have good general business competence. They can predict the financial aspects of various security risks and determine the financial effects of security measures. Questions related to personal and community security are crucial. Increasingly complex operational chains and logistical networks place new demands on security. Experts in security must be able to anticipate risks and work to minimize the damages through cooperation.

Turvallisuusosaamisen koulutusohjelma

Tutkintonimike: Tradenomi (YAMK)

Laajuus ja opintojen kesto: 90 op, 1,5–3 vuotta

Laurea tarjoaa ainoana Suomessa turva-alan ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon. Opinnoissa käsitellään turvallisuuden ja riskien hallintaa niin kansallisissa kuin kansainvälisissä ympäristöissä. Ohjelmassa koulutetaan turvallisuusosaajia organisaatioiden vaativiin johto- ja asiantuntijatehtäviin.

Koulutusohjelma palvelee sekä yrityselämään että julkisen sektorinturvallisuusosaamisen tarpeita. Opiskelu tähtää laajaan ja syvälliseen osaamiseen turvallisuudesta ja sen hallinnasta sekä antaa uusimpaan tutkimustietoon pohjautuvat teoreettiset tiedot turvallisuusosaamisenvaativissa kehittämis- ja johtamistehtävissä toimimista varten. Ohjelmasta valmistuu kehittäjiä parantamaan yritysten kilpailukykyä ja organisaatioiden vaikuttavuutta kotimaisilla ja kansainvälisillä markkinoilla. Koulutusohjelmassa opiskelija syventää tietojaan, taitojaan ja osaamistaan turvallisuudesta ja sen hallinnasta sekä ymmärtää siihen liittyvän työelämän, alueellisen, kansainvälisen ja yhteiskunnallisen merkityksen. Koulutusohjelman suorittaneella opiskelijalla on valmiudet ja menetelmällinen kyky turvallisuusosaamiseen liittyvän tietämyksenelinikäiseen oppimiseen ja jatkuvaan oman ammattitaidon kehittämiseen. Opiskelija kykenee vastaamaan uusiin turvallisuuden kehittämisen ja johtamisen globaaleihin haasteisiin. Lisäksi opiskelijalla on turvallisuuden kehittämis- ja johtamistehtävissä vaadittavat viestintä- ja kielitaidot. Tutkinto on ylempi ammattikorkeakoulututkinto, joka antaa saman pätevyyden myös julkisiin virkoihin ja tehtäviin kuin ylempi korkeakoulututkinto.

Koulutusohjelmasta on valmistunut 22(6/2011)

Turvallisuusauditoijan koulutus

Laurea aloittaa joulukuussa 2011 turvallisuusauditoijan koulutuksen (30 op). Koulutus valmistaa opiskelijat Katakri-vaatimusten mukaisten turvallisuusauditointien pääauditoijan pätevyyden saamiseen. Koulutus toteutetaan sisäasianministeriön pyynnöstä osana valtioneuvoston hyväksymää sisäisen turvallisuuden ohjelmaa. Koulutus on omarahoitteinen.

Poliisiammattikorkeakoulu

Poliisiammattikorkeakoulussa annetaan ammatillista, tutkintoon johtavaa koulutusta seuraavasti:

1. poliisin perustutkinto
2. poliisialipäällystön tutkinto
3. poliisipäällystön tutkinto (poliisialan ammattikorkeakoulututkinto).

Tutkintoon johtavan koulutuksen lisäksi Poliisiammattikorkeakoulussa annetaan ammatillista lisä- ja täydennyskoulutusta. Koulun tehtävä on antaa myös laadun kehittämiseen liittyvää koulutusta ja muuta turva-alan koulutusta.

Poliisiammattikorkeakoulun suostumuksella voidaan koulutukseen ottaa opiskelemaan muitakin kuin poliisin henkilöstöön kuuluvia. Poliisiammattikorkeakoululla on myös oikeus evätä osallistumisoikeus sellaiselta henkilöltä, joka ei täytä kohde-ryhmälle asetettuja vaatimuksia tai joka ei ole tehnyt vaadittavia ennakotehtäviä määräajassa.

Poliisiammattikorkeakoulussa järjestetään myös maksullista koulutusta. Koulutus on avointa muillekin kuin poliiseille. Maksullisia koulutuksia ovat muun muassa järjestyksenvalvojakouluttajan peruskurssi ja vartijoiden voimankäytön kouluttajakoulutus. Hakuasiakirjat lähetetään Poliisiammattikorkeakoulun valintayksikköön.

- Järjestyksenvalvojakouluttajan peruskurssi on suunnattu henkilöille, jotka haluavat hakea Poliisihallitukselta järjestyksenvalvojakouluttajahyväksyntää.
- Järjestyksenvalvojakouluttajan kertauskurssi on suunnattu niille hyväksytyille järjestyksenvalvojakouluttajille, jotka haluavat hakea Poliisihallitukselta järjestyksenvalvojakouluttajahyväksynnän uusintahyväksyntää.
- Vartijoiden voimankäytön kouluttajakoulutus on suunnattu vartijakoulutusta antavien oppilaitosten ja vartioimisliiketoimintaa harjoittavien yritysten voimankäytön kouluttajille.
- Vartijoiden voimankäyttökouluttajan kertauskoulutuksen keskeisenä tavoitteena on pitää yllä valmiuksia toimia edelleen erityisen voimankäyttökoulutuksen ja voimankäyttövälineiden kertauskoulutuksen kouluttajana.
- Asekouluttajakoulutuksen keskeisenä tavoitteena on antaa valmiudet toimia erityisen voimankäyttökoulutuksen ampuma-asetta koskevan osion ja

voimankäyttövälineiden kertauskoulutuksen kouluttajana ja ampuma-aseen käsittely- ja ampumistaitoa mittavaan kokeen vastaanottajana.

- Asekouluttajan kertauskoulutuksen keskeisenä tavoitteena on pitää yllä valmiuksia toimia edelleen erityisen voimankäyttökoulutuksen ampuma-asetta koskevan osion ja voimankäyttövälineiden kertauskoulutuksen kouluttajana sekä ampuma-aseen käsittely- ja ampumistaitoa mittaavan kokeen vastaanottajana.

Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) tarjoaa koulutusta noin 10 000 opiskelijalle seitsemällä koulutusalueella. Opetus TAMKissa painottuu erityisesti tekniikkaan, hyvinvointipalveluihin sekä liiketalouteen, matkailuun ja kulttuuriin. Osana TAMKia toimii myös Tampereen ammatillinen opettajakorkeakoulu, jossa voi suorittaa opettajan ja ammatillisen erityisopettajan kelpoisuuden. Lisäksi TAMK tarjoaa monipuoliset mahdollisuudet osaamisen ylläpitämiseen erilaisissa täydennyskoulutusohjelmissa. Ammattikorkeakoulun tehtäviin kuuluu myös soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta sekä työelämälähtöinen palvelutoiminta.

Security MBA Programme in Business Administration and Security Management(120 cr)

Opinnot on suunnattu yksityisen ja julkisen sektorin hallinnon, tietotekniikan ja turvallisuuden asiantuntijoille sekä henkilöille, jotka ovat suuntautumassa kansainväliseen liiketoimintaan tai hallintoon. Ohjelmaan kuuluvat moduulit:

- 1 Turvallisuusjohtaminen 7 op
- 2 Tietoturvallisuus 7 op
- 3 Turva-alan tulevaisuuden haasteet liiketoiminnassa ja kansainvälisessä yhteistyössä 7 op
- 4 Liiketoiminnan lainsäädäntö ja toimintaympäristö 7 op
- 5 Strateginen johtaminen, ongelmanratkaisu ja kehittäminen 7 op
- 6 Eurooppalaisia turvallisuuskäytäntöjä, Bryssel 8 op
- 7 Lopputyöseminaari
- 8 Riskienhallinta 7 op

Tampereen teknillinen yliopisto

Turva-alaa voi Tampereen teknillisessä yliopistossa opiskella pää- tai sivuaineetasolla tai yksittäisinä kursseina osana diplomi-insinöörin tutkintoa. Lisäksi tarjotaan jatkotutkintoihin (tohtori, lisensiaatti) liittyvää koulutusta pääaineena turvallisuus. Turvallisuuteen liittyvää tutkimusta ja opetusta toteutetaan yli 30 vuoden kokemuksella.

Turun ammattikorkeakoulu

Turun AMK on 9500 opiskelijan ja 800 asiantuntijan monialainen koulutusyhteisö, joka tarjoaa työelämää ja yrittäjyyttä kehittävää koulutusta, tutkimus- ja kehitystyötä (T&K) sekä organisaatioiden kokonaisvaltaista kehittämistä. Turun ammattikorkeakoulussa voi opiskella ammattikorkeakoulututkinnon seitsemällä alalla, päivittää osaamista avoimessa ammattikorkeakoulussa tai saada uutta virtaa työhön täydennyskoulutuksessa. Osana täydennyskoulutusta Turun AMK järjestää turvallisuuspäällikön ammatillisia erikoistumisopintoja.

Turvallisuuspäällikkö 30 op

Koulutus on tarkoitettu yritysten turvallisuusasioista vastaaville, turva-alan asiantuntija- ja johtotehtävissä toimiville sekä turva-alan palveluita myyville ja konsultoiville henkilöille. Hakijoilta edellytetään AMK-, korkeakoulu- tai opistoasteen tutkintoa tai muuta vastaavaa koulutusta ja työkokemusta. Koulutus sisältää seuraavat kokonaisuudet:

- Kokonaisvaltainen turvallisuusjohtaminen
- Yritysturvallisuuden ja riskienhallinnan perusteet
- Toimitilaturvallisuus
- Henkilöturvallisuus
- Rikosturvallisuus
- Tietoturvallisuuden perusteet
- Tuotannon ja toiminnan turvallisuus
- Ulkomaantoimintojen turvallisuus
- Ympäristöturvallisuus
- Turvallisuussuunnittelu
- Viestintä
- Koulutukseen sisältyy myös opiskelijakohtainen kehittämis tehtävä.

Turvallisuusasiat ovat nousseet laatu- ja ympäristöasioiden rinnalle yhä merkityksellisemmiksi yrityksen kannattavuuden sekä jatkuvuuden kannalta. Koulutus antaa valmiudet järjestelmälliseen ja johdonmukaiseen riskien- ja turvallisuudenhallintaan työhön ja sen liittämiseen osaksi yrityksen johtamisjärjestelmää.

Liite 4

1 Ydinenergia-alan nykyinen henkilöstö

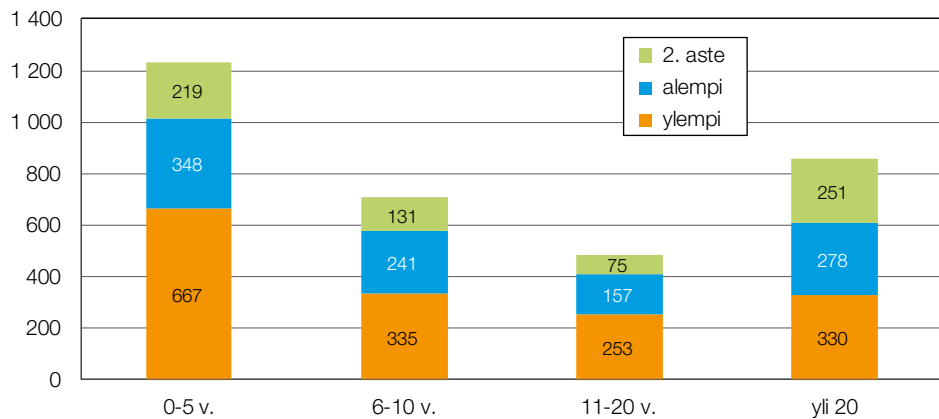
Henkilöstö lukumäärinä tutkinnoittain

Taulukko 3. Alan koko henkilöstö

Tutkinto	lukumäärä
Ylempi korkeakoulu	1585
Lisensiaatti	55
Tohtori	232
Alempi korkeakoulu	1024
Toinen aste	676

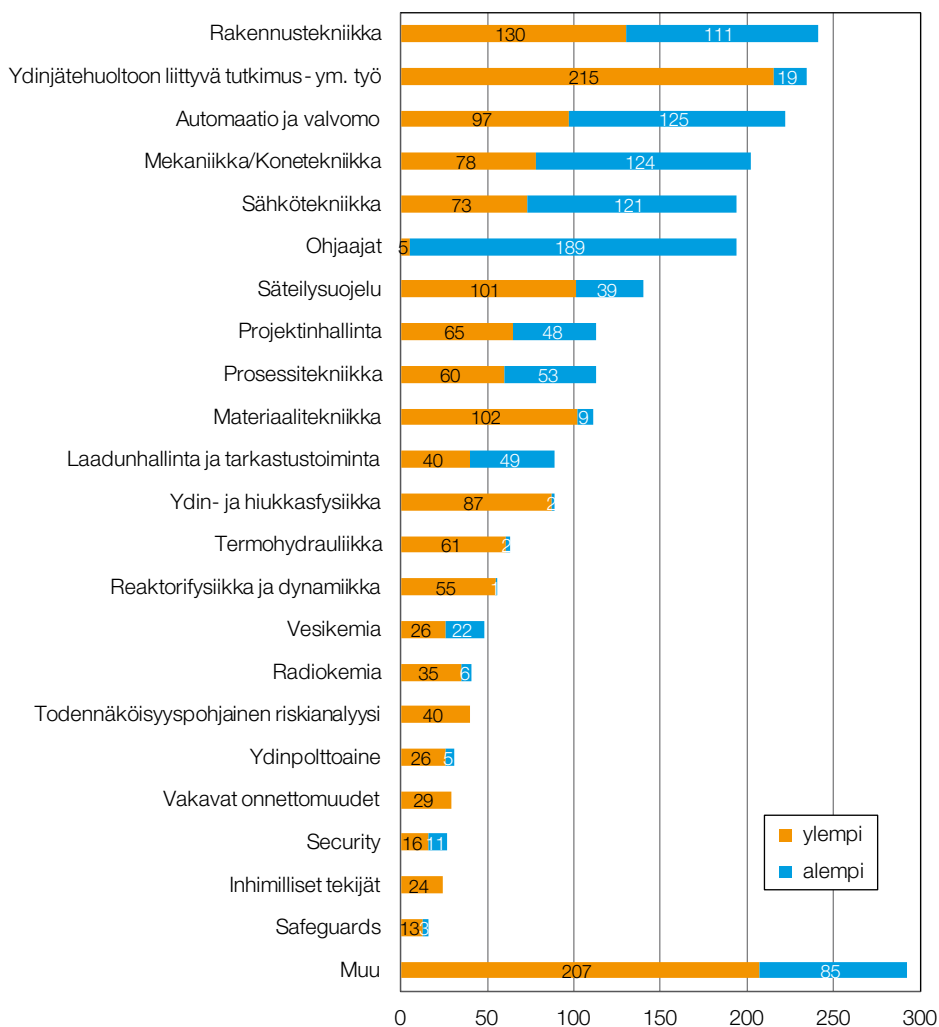
1.1 Alan henkilöstö kokemusvuosittain ja ikävuosittain

Kuva 1. Nykyinen henkilöstö



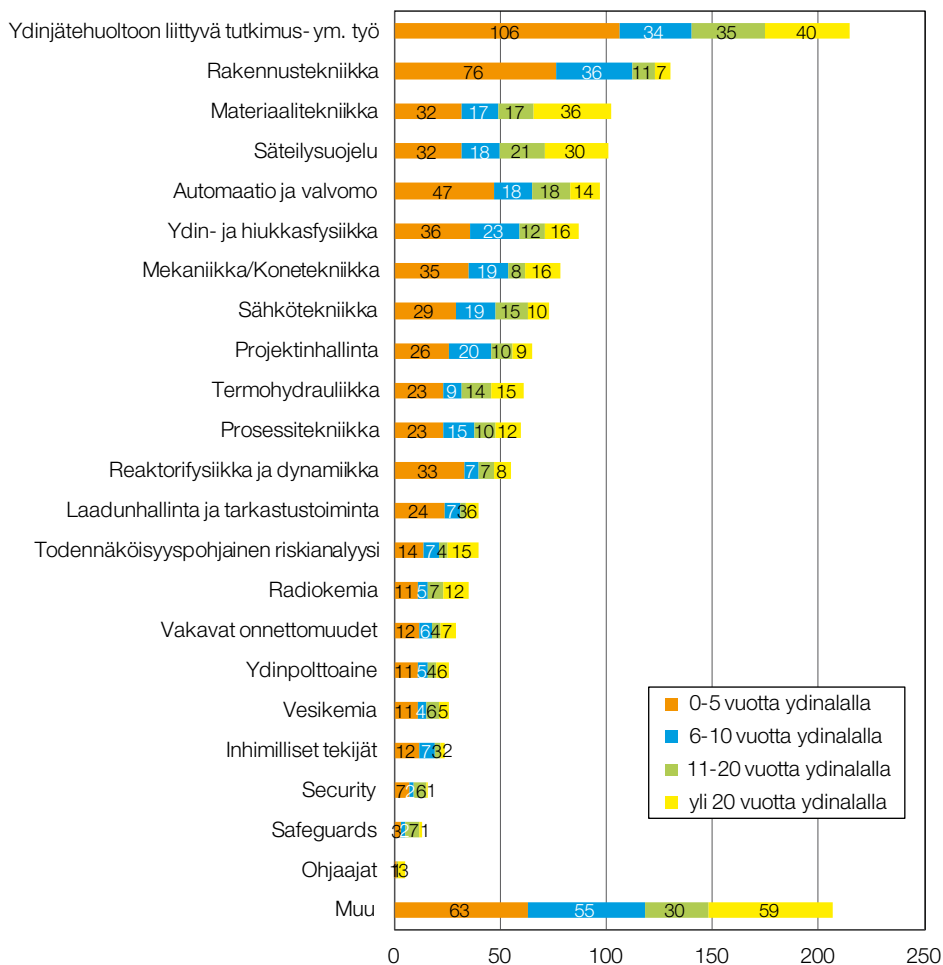
1.2 Nykyinen henkilöstö osaamisalueittain

Kuva 2. Koko nykyinen henkilöstö osaamisalueittain



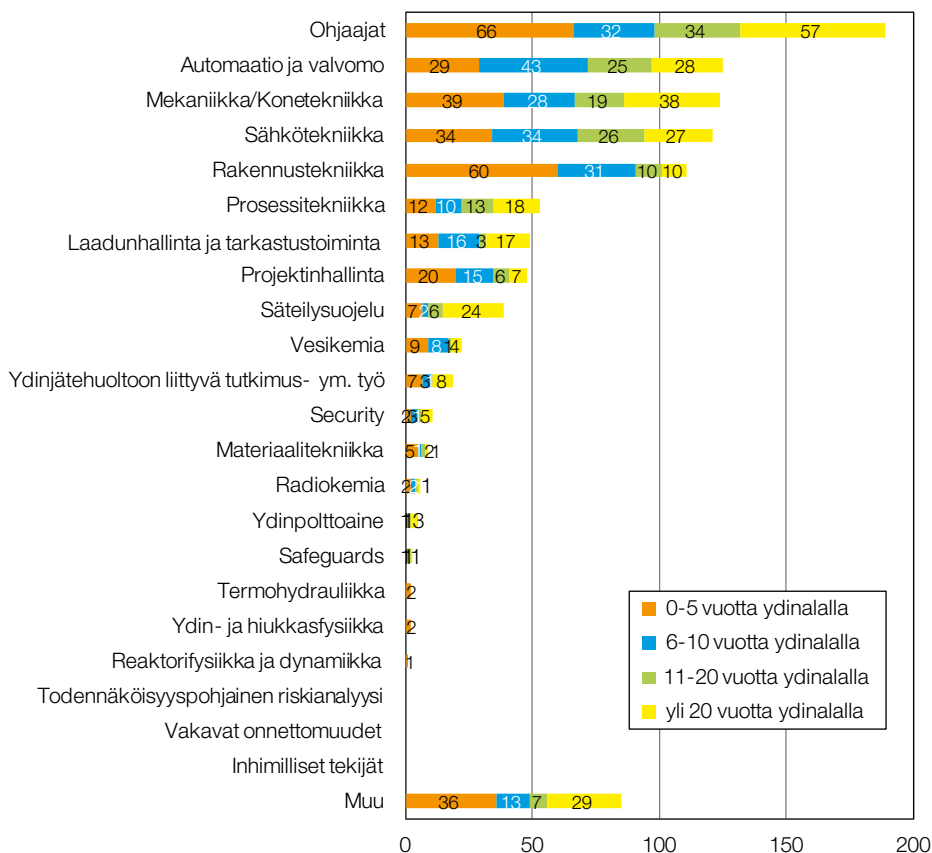
1.3 Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 3. Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



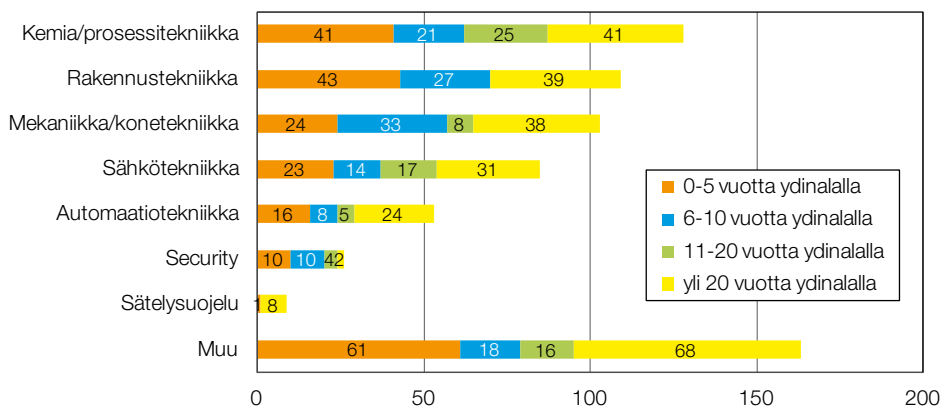
1.4 Alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 4. Alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



1.5 Toisen asteen tutkinto

Kuva 5. Toisen asteen tutkinnon suorittaneet kokemusvuosittain



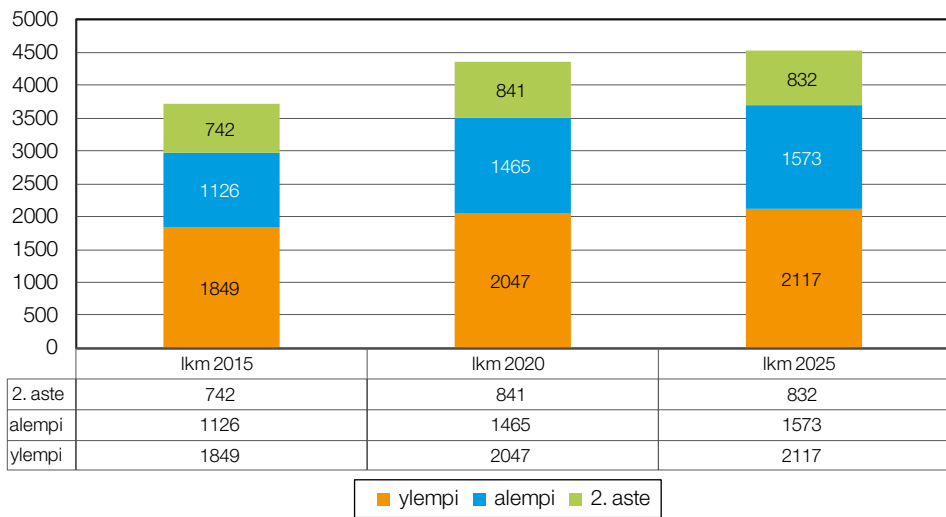
2 Tulevaisuuden tarpeet

2.1 Koko alan henkilöstö

Taulukko 4. Henkilöstötarve kokonaisuutena

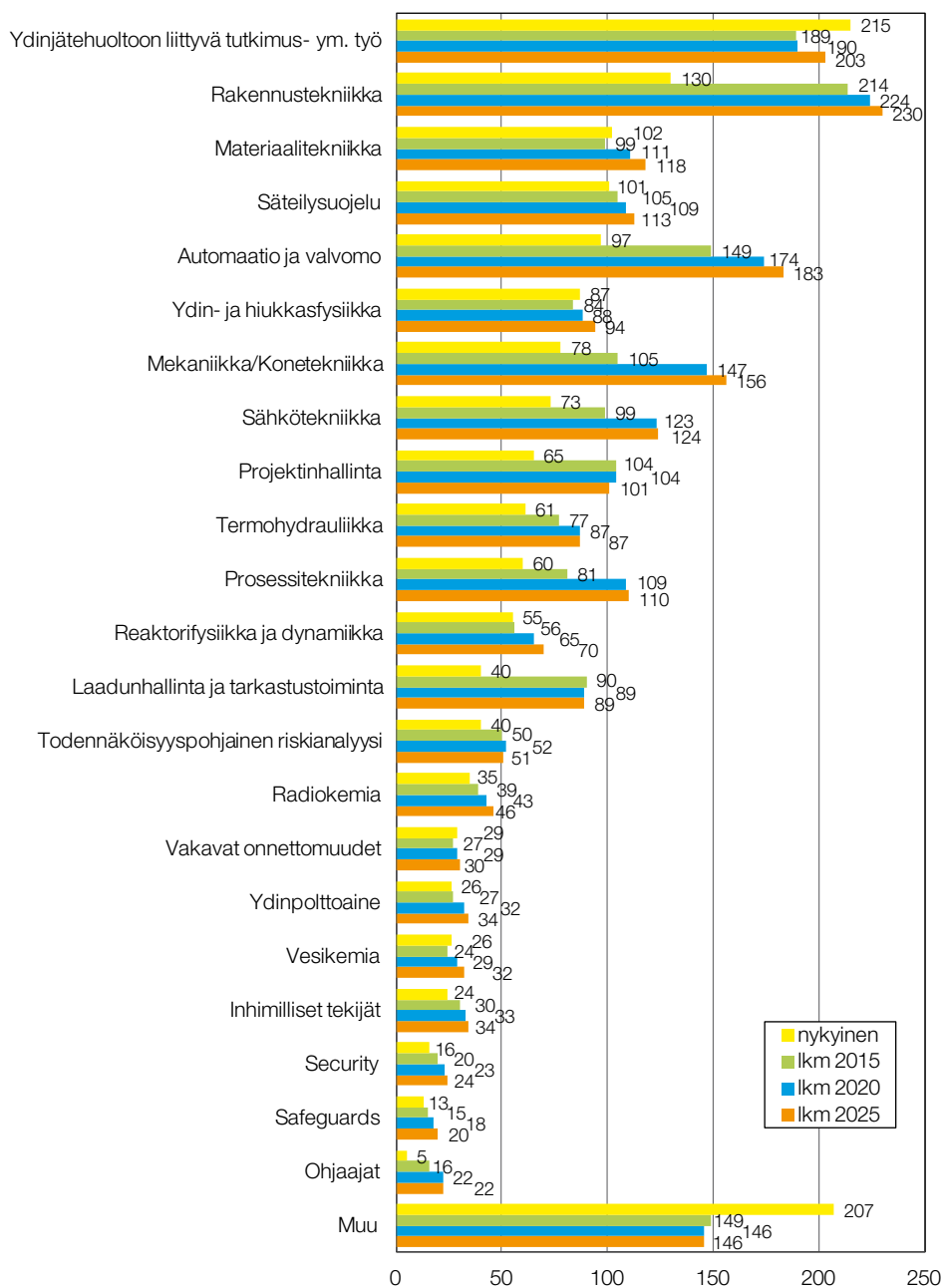
Tutkinto	lkm 2015	lkm 2020	lkm 2025
Ylempi korkeakoulu	1849	2047	2117
Lisensiaatti	46		
Tohtori	253		
Alempi korkeakoulu	1126	1465	1573
Toinen aste	742	841	832

Kuva 6. Tuleva henkilöstötarve

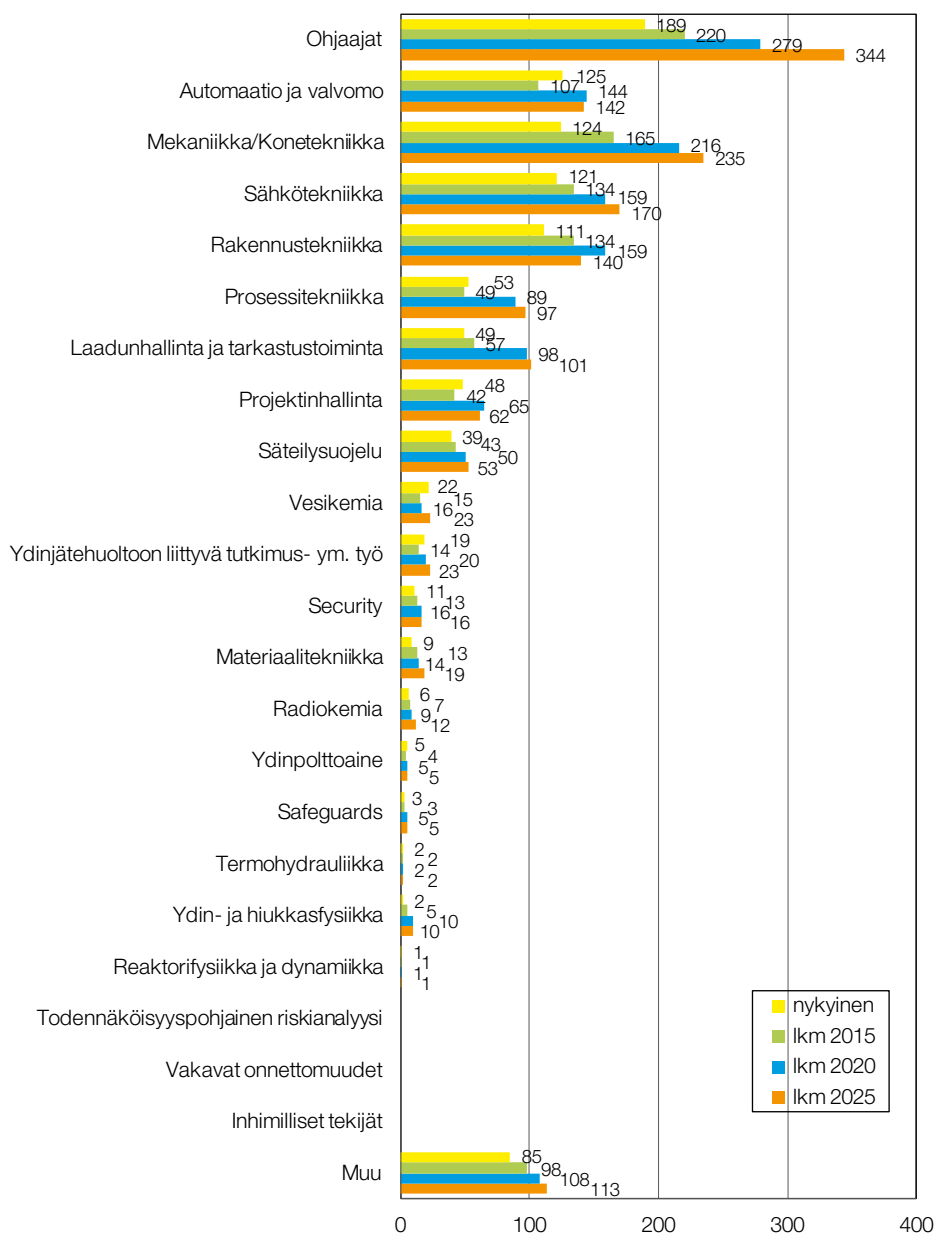


2.2 Henkilöstötarpeet alueittain ja koulutustasoin

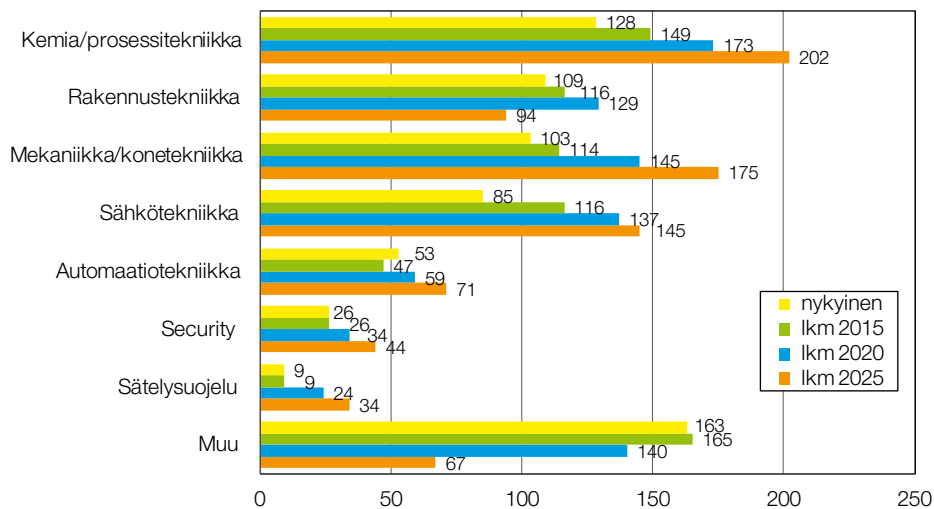
Kuva 7. Tulevaisuuden tarve, ylempään korkeakoulututkinnon suorittaneet



Kuva 8. Tulevaisuuden tarve, alemman korkeakoulututkinon suorittaneet.



Kuva 9. Tulevaisuuden tarve, toisen asteen tutkinnon suorittaneet.



Liite 5

1 Ydinenergia-alan voimayhtiöt

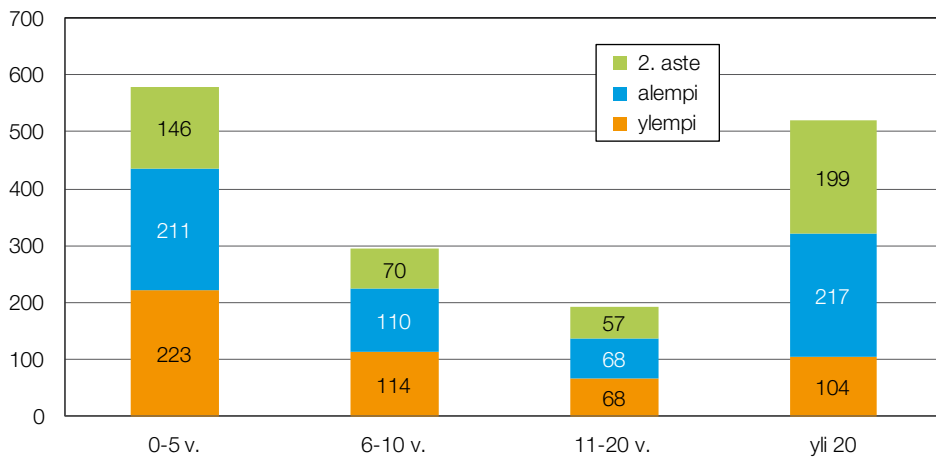
Voimayhtiöiden henkilöstö lukumäärinä tutkinnoittain

Taulukko 5. Voimayhtiöt

Tutkinto	lukumäärä
Ylempi korkeakoulu	509
Lisensiaatti	10
Tohtori	33
Alempi korkeakoulu	606
Toinen aste	472

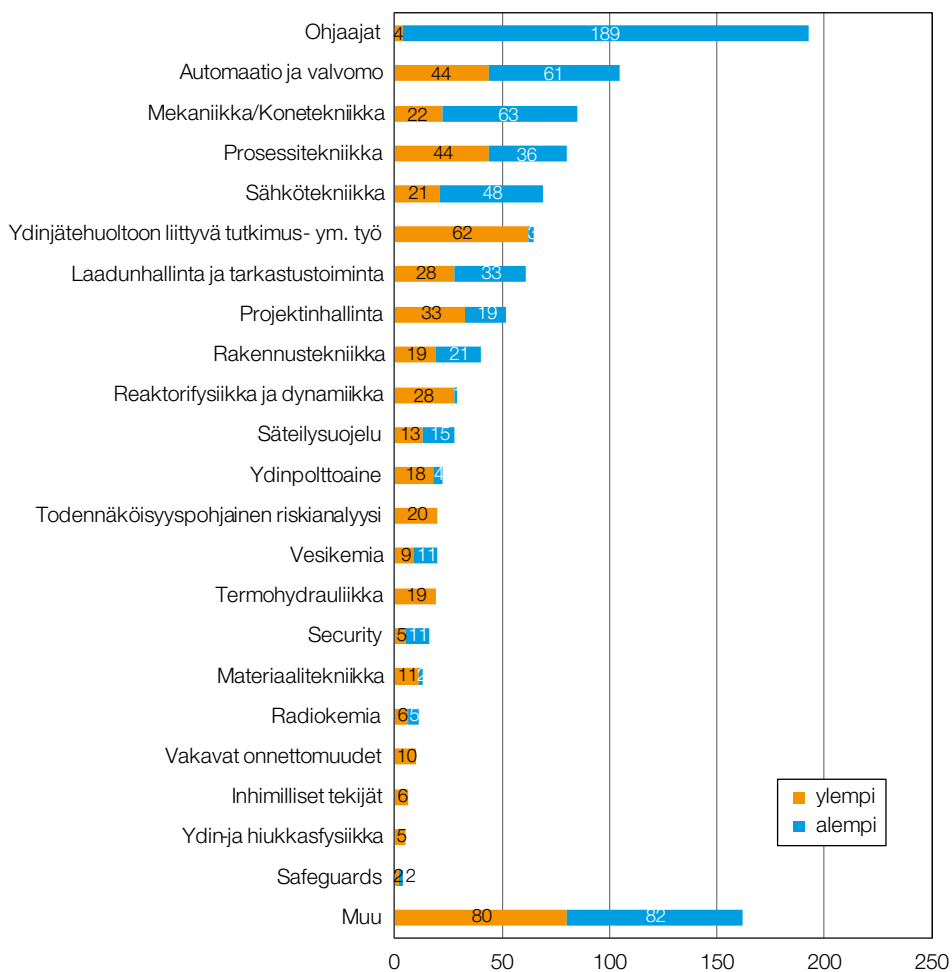
1.1 Voimayhtiöiden henkilöstö kokemusvuosittain ja ikävuosittain

Kuva 1. Nykyinen henkilöstö



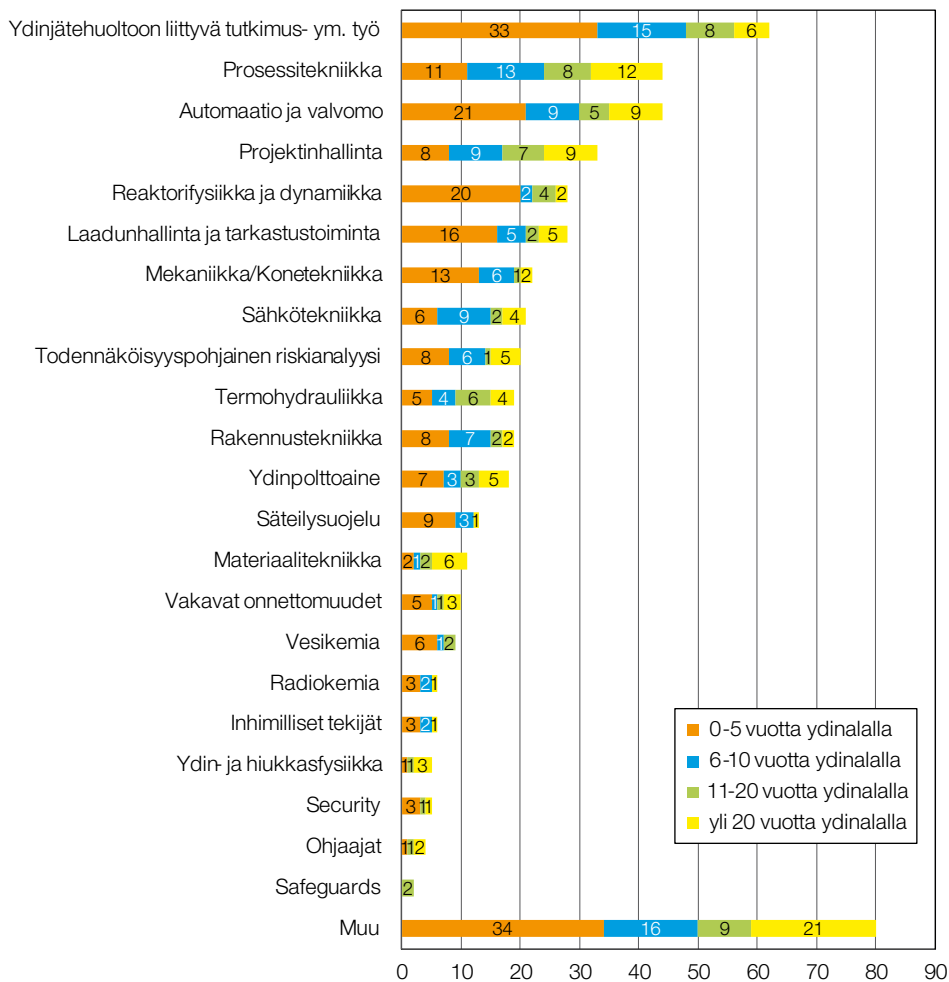
1.2 Voimayhtiöiden nykyinen henkilöstö osaamisalueittain

Kuva 2. Voimayhtiöiden henkilöstö osaamisalueittain



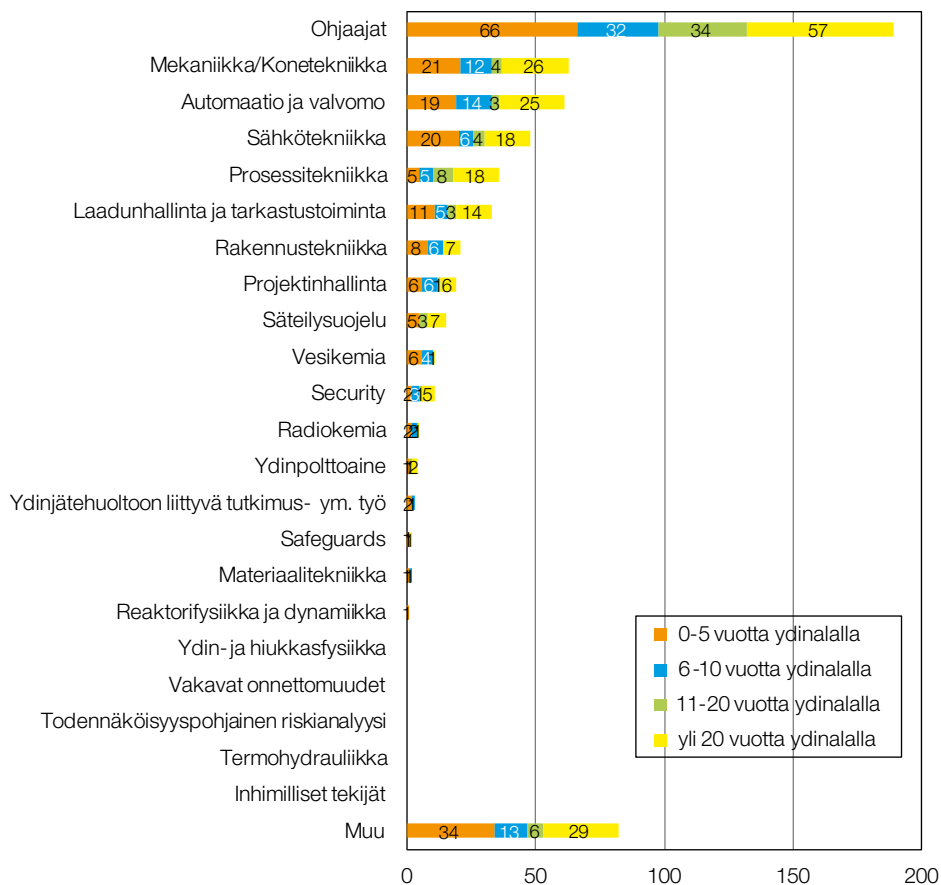
1.3 Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 3. Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



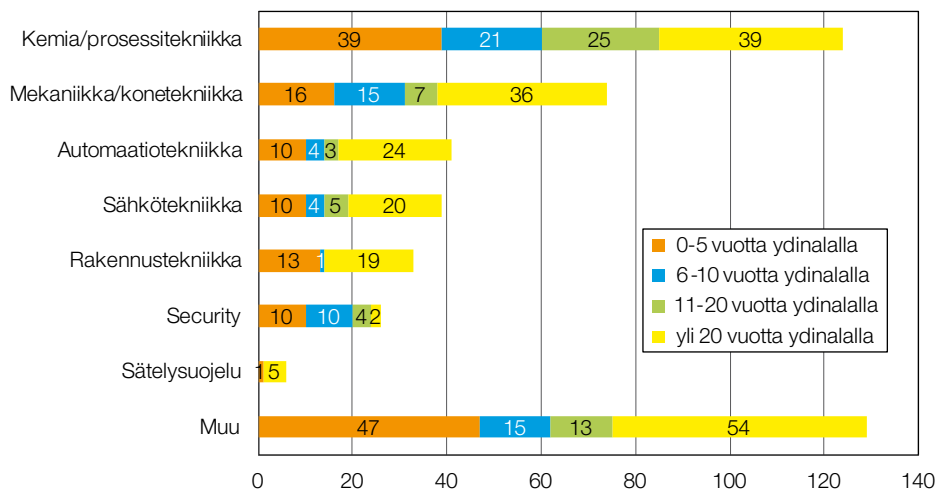
1.4 Aiemman korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 4. Aiemman korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



1.5 Toisen asteen tutkinto

Kuva 5. Toisen asteen tutkinnon suorittaneet kokemusvuosittain



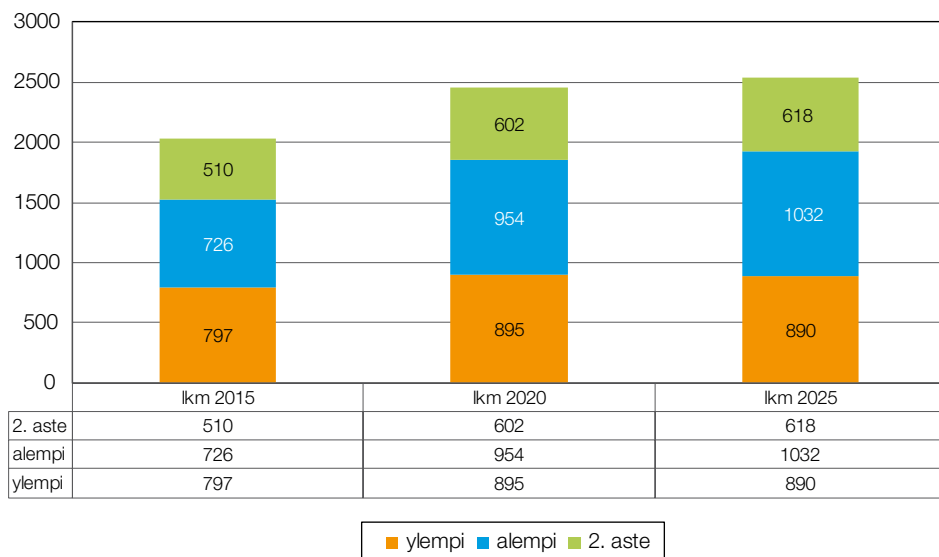
2 Tulevaisuuden tarpeet

2.1 Voimayhtiöiden henkilöstö

Taulukko 6. Henkilöstötarve kokonaisuutena

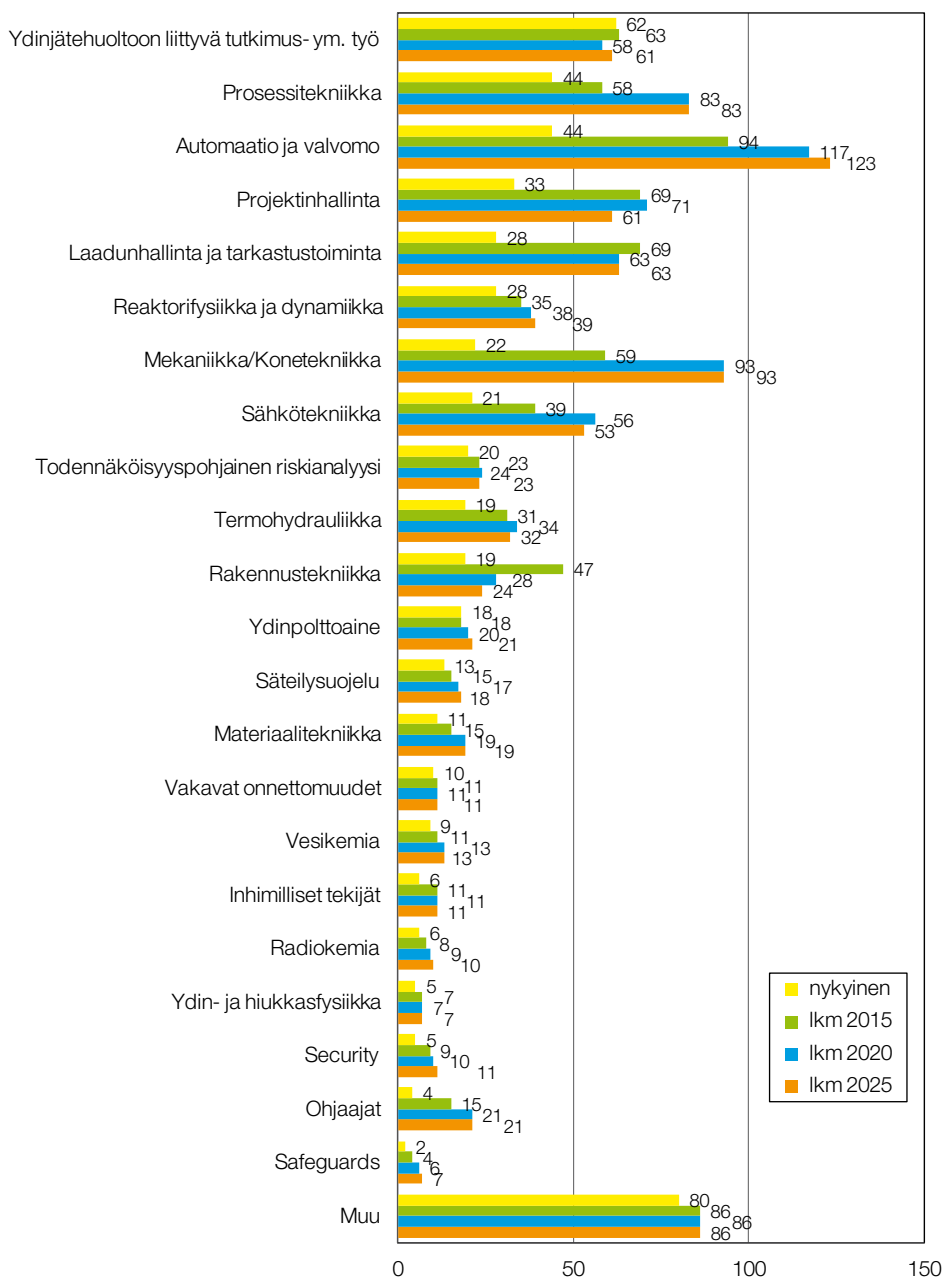
Tutkinto	lkm 2015	lkm 2020	lkm 2025
Ylempi korkeakoulu	797	895	890
Lisensiaatti	11		
Tohtori	37		
Alempi korkeakoulu	726	954	1032
Toinen aste	510	602	618

Kuva 6. Tuleva henkilöstötarve

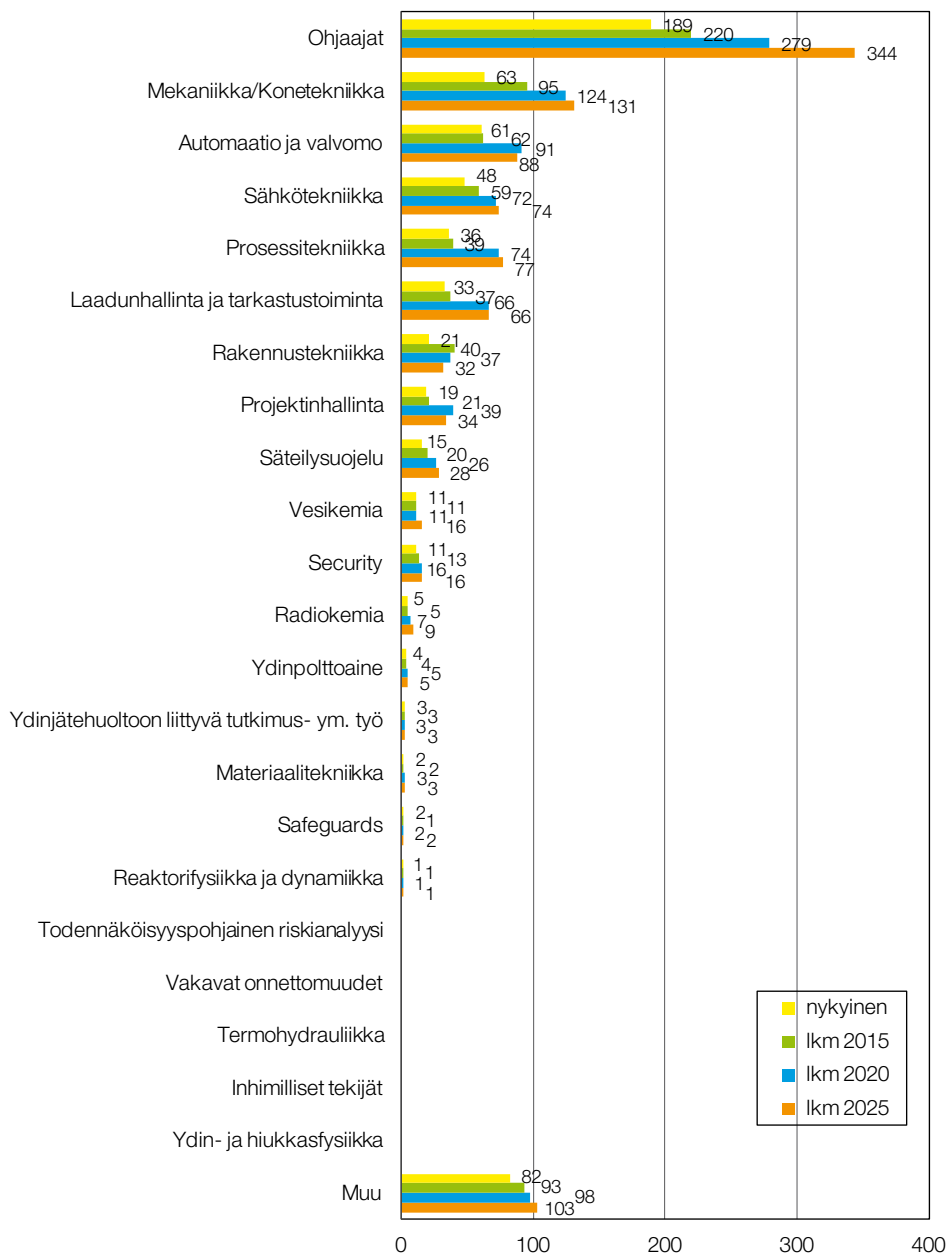


2.2 Henkilöstötarpeet alueittain ja koulutustasoin

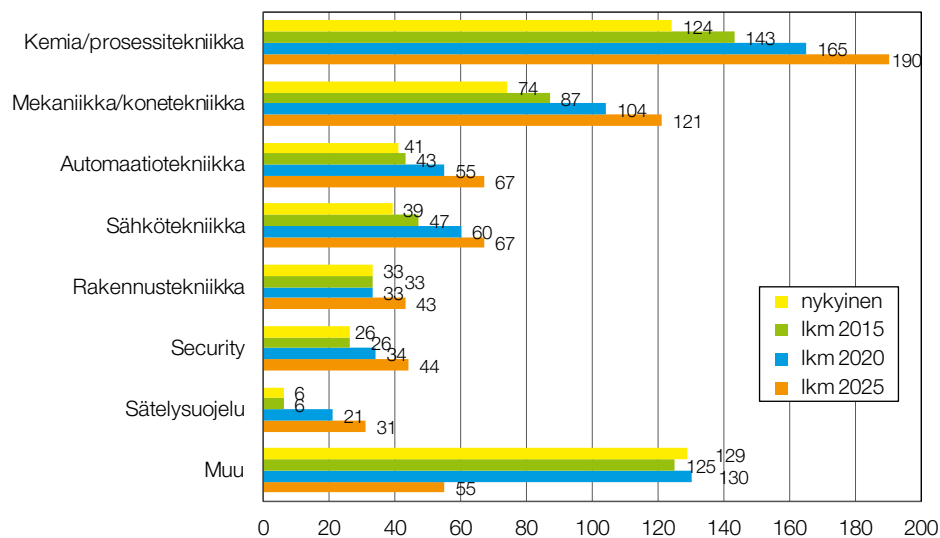
Kuva 7. Tulevaisuuden tarve, ylempään korkeakoulututkinnon suorittaneet



Kuva 8. Tulevaisuuden tarve, alemman korkeakoulututkinon suorittaneet.



Kuva 9. Tulevaisuuden tarve, toisen asteen tutkinnon suorittaneet.



Liite 6

1 Ydinenergia-alan viranomaiset

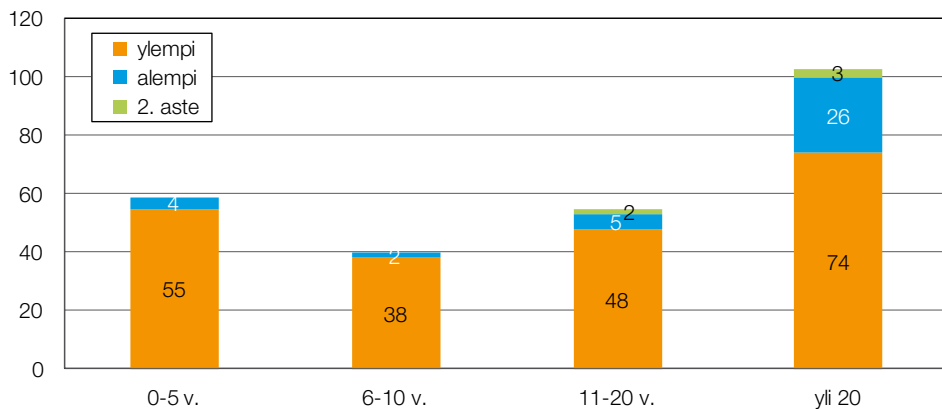
Henkilöstö lukumäärinä tutkinnoittain

Taulukko 7. Viranomaiset

Tutkinto	lukumäärä
Ylempi korkeakoulu	215
Lisensiaatti	8
Tohtori	38
Alempi korkeakoulu	37
Toinen aste	5

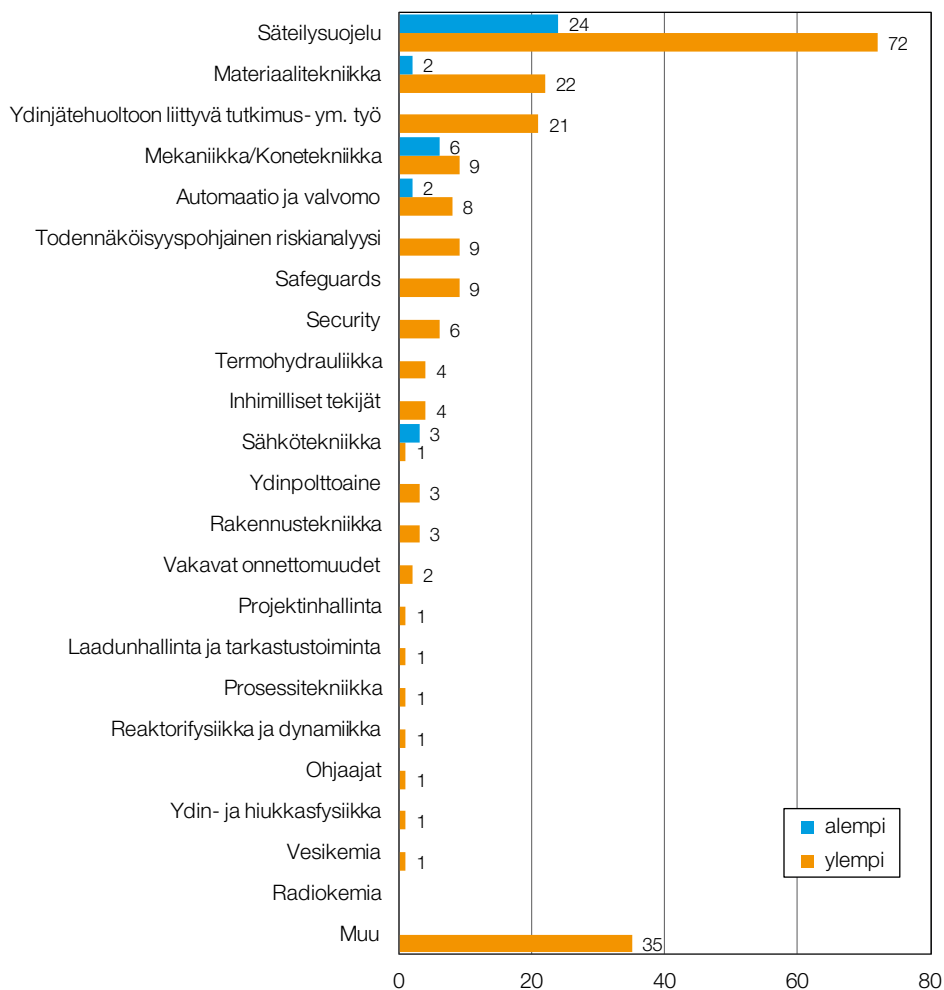
1.1 Viranomaiset kokemusvuosittain ja ikävuosittain

Kuva 1. Nykyinen henkilöstö



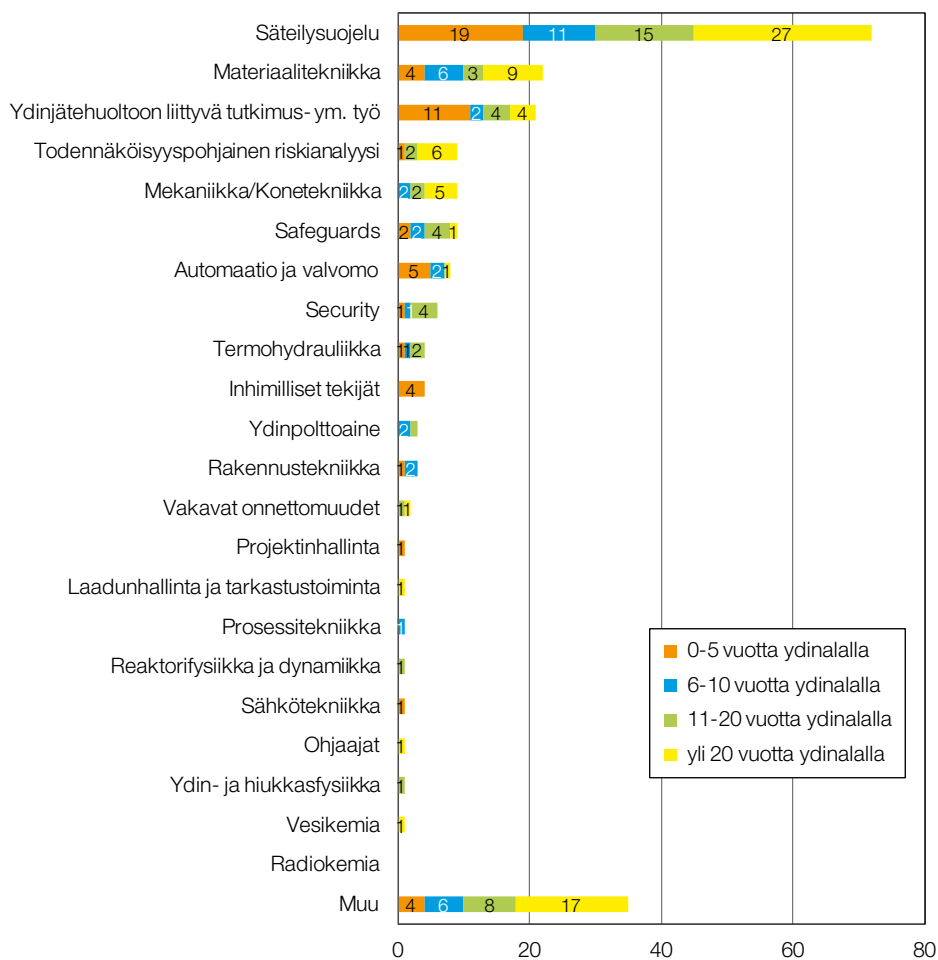
1.2 Viranomaisten nykyinen henkilöstö osaamisalueittain

Kuva 2. Viranomaisten henkilöstö osaamisalueittain



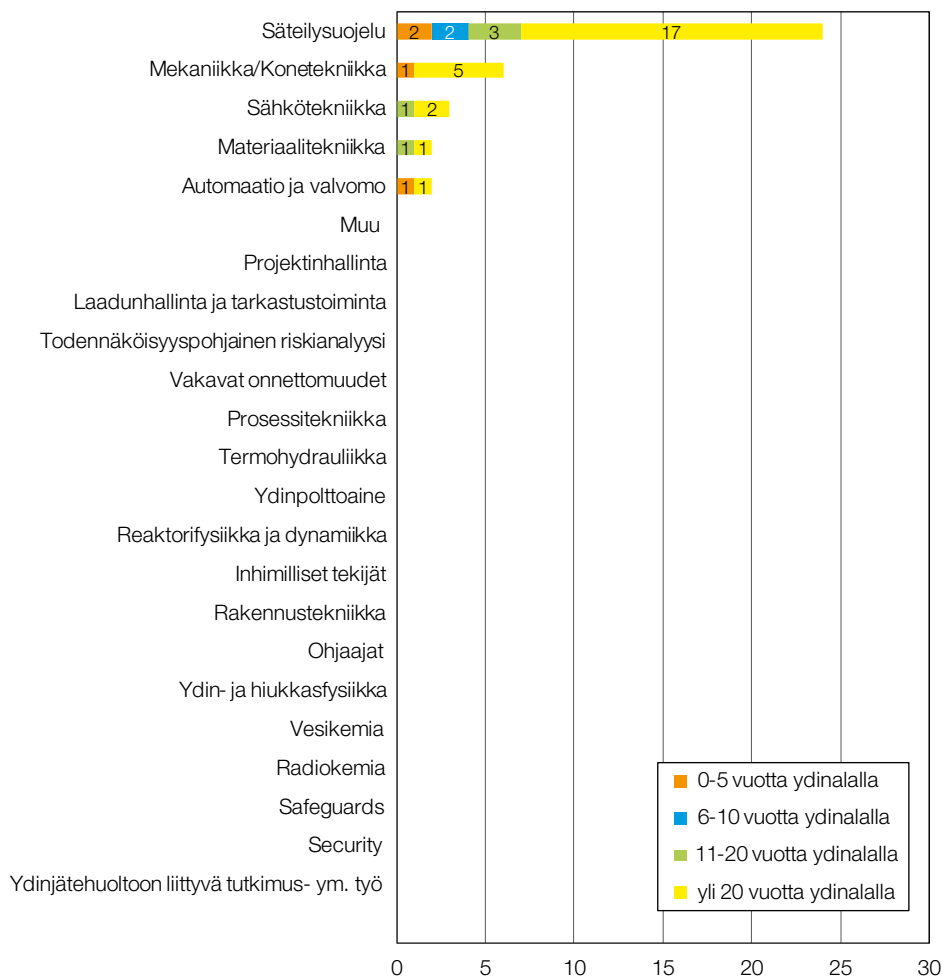
1.3 Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 3. Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



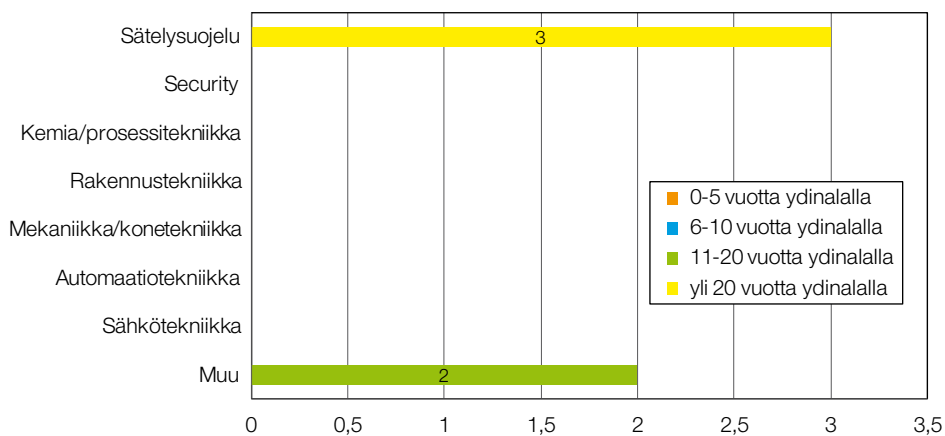
1.4 Aiemman korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 4. Aiemman korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



1.5 Toisen asteen tutkinto

Kuva 5. Toisen asteen tutkinnon suorittaneet kokemusvuosittain



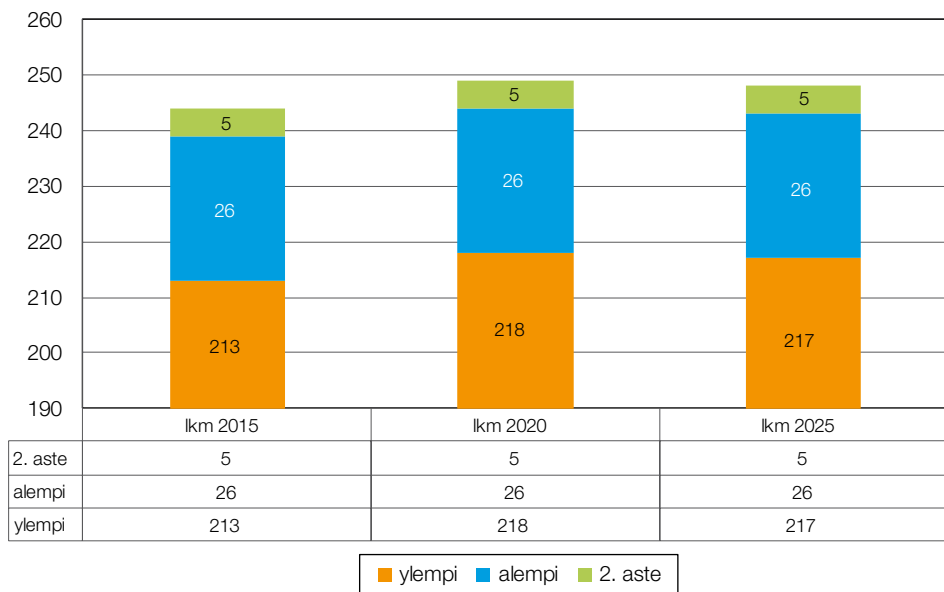
2 Tulevaisuuden tarpeet

2.1 Viranomaisten henkilöstö

Taulukko 8. Henkilöstötarve kokonaisuutena

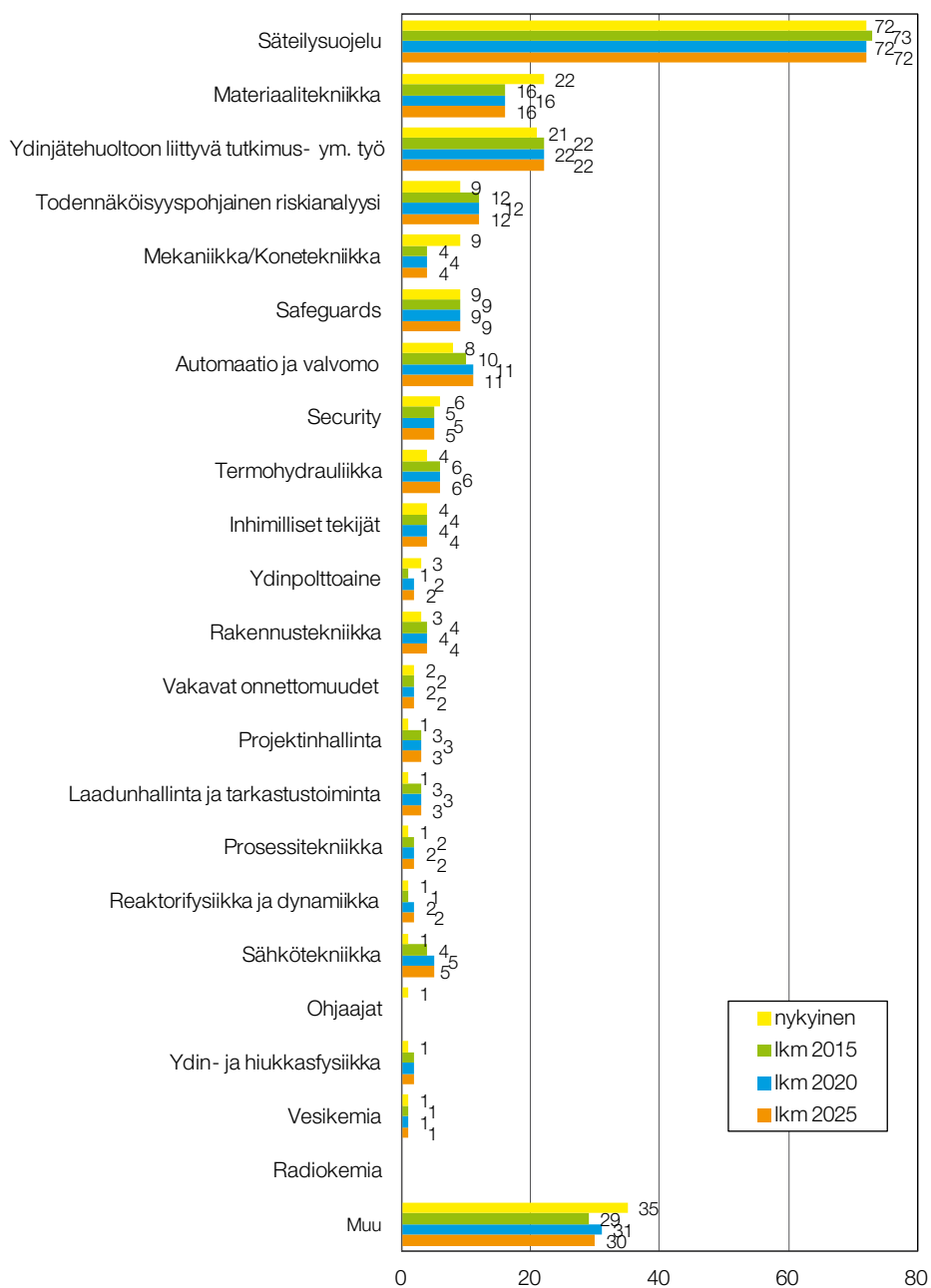
Tutkinto	lkm 2015	lkm 2020	lkm 2025
Ylempi korkeakoulu	213	218	217
Lisensiaatti	10		
Tohtori	30		
Alempi korkeakoulu	26	26	26
Toinen aste	5	5	5

Kuva 6. Tuleva henkilöstötarve

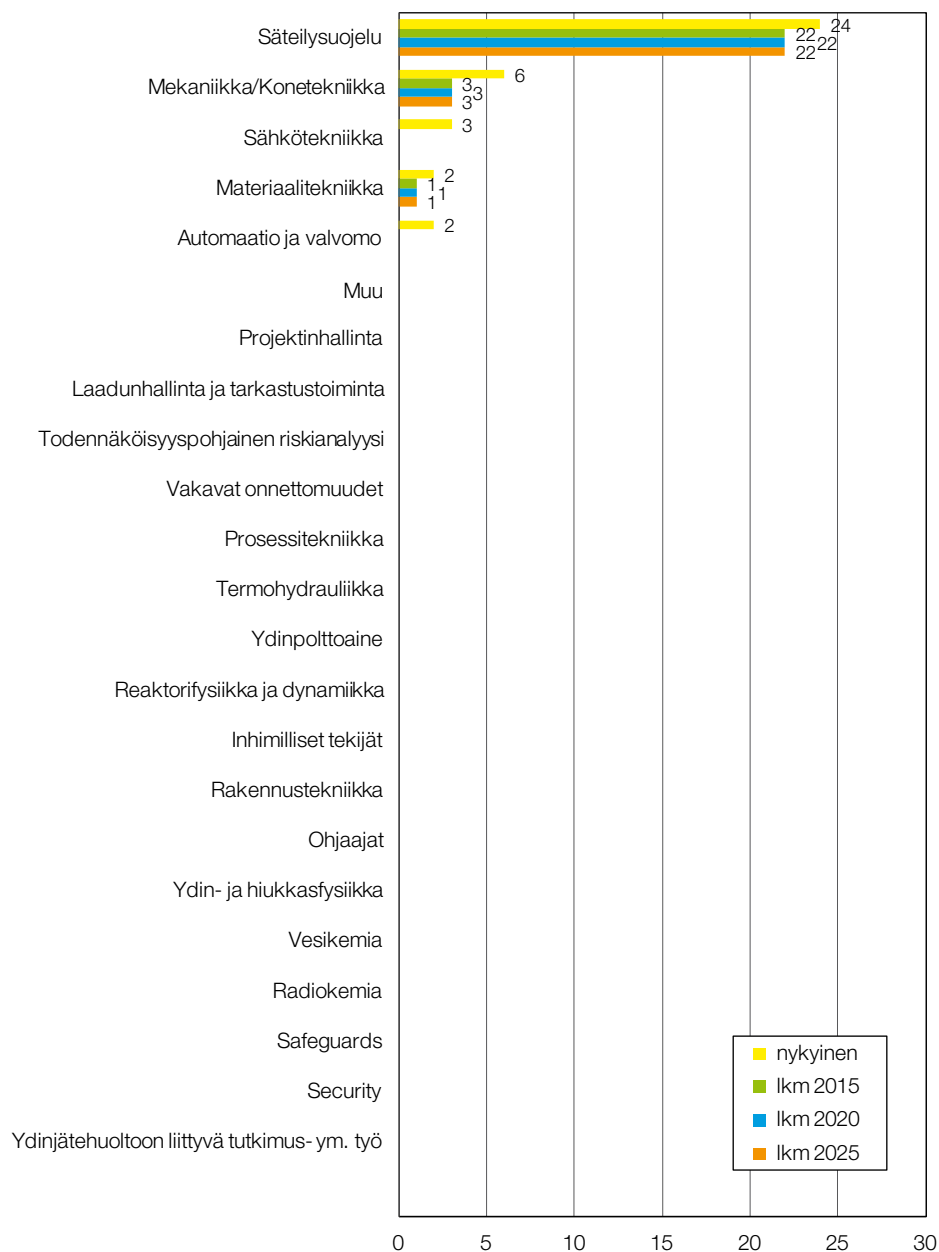


2.2 Henkilöstötarpeet alueittain ja koulutustasoisittain

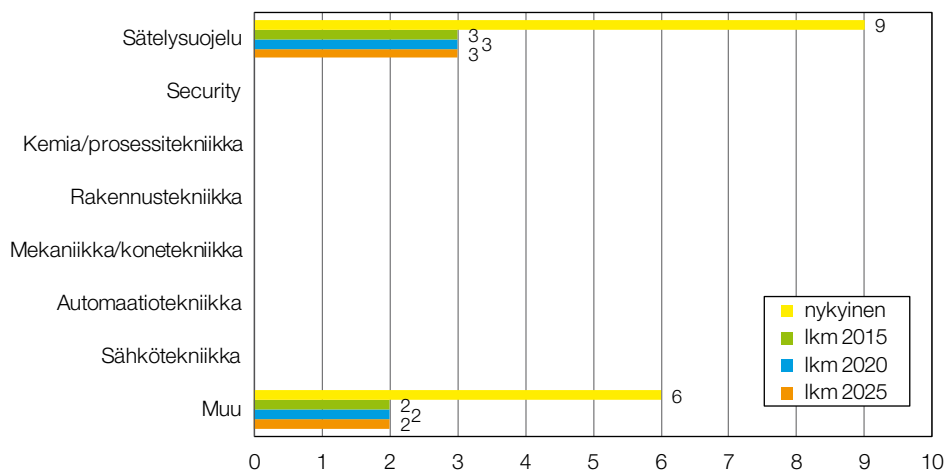
Kuva 7. Tulevaisuuden tarve, ylempään korkeakoulututkinnon suorittaneet



Kuva 8. Tulevaisuuden tarve, alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet.



Kuva 9. Tulevaisuuden tarve, toisen asteen tutkinnon suorittaneet.



1 Ydinenergia-alan nykyinen henkilöstö, yliopistot ja tutkimuslaitokset

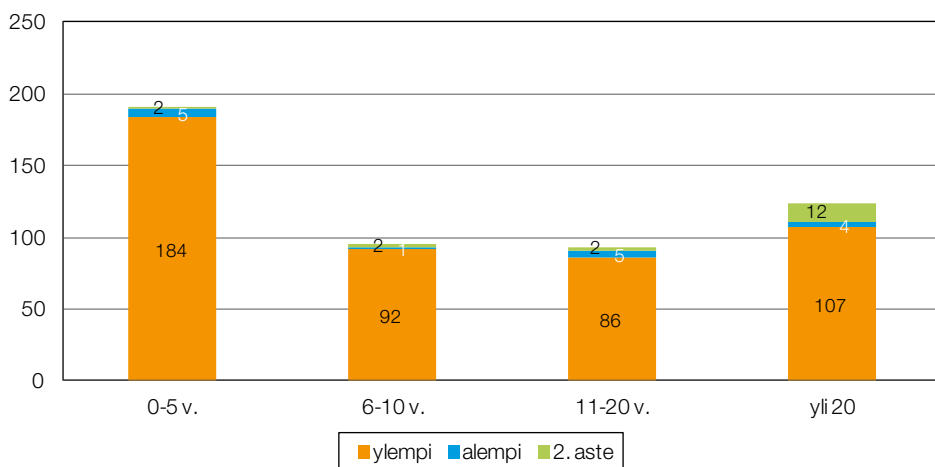
Henkilöstö lukumäärinä tutkinnoittain

Taulukko 9. Yliopistot ja tutkimuslaitokset

Tutkinto	lukumäärä
Ylempi korkeakoulu	469
Lisensiaatti	20
Tohtori	132
Alempi korkeakoulu	15
Toinen aste	18

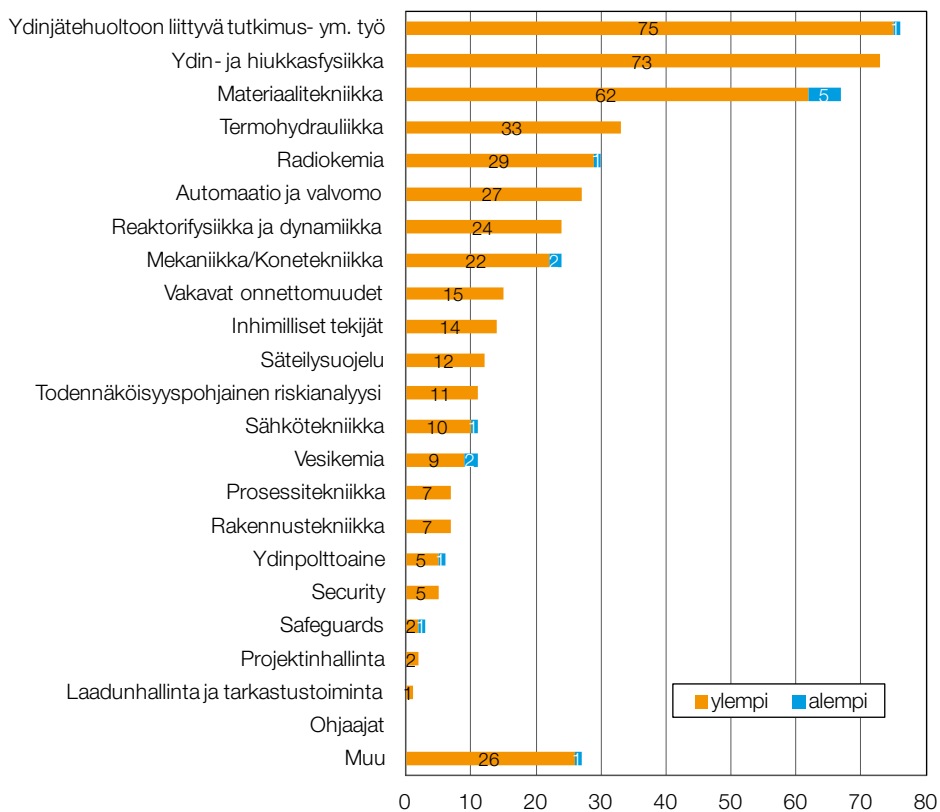
1.1 Yliopistojen ja tutkimuslaitosten henkilöstö kokemusvuosittain ja ikävuosittain

Kuva 1. Nykyinen henkilöstö



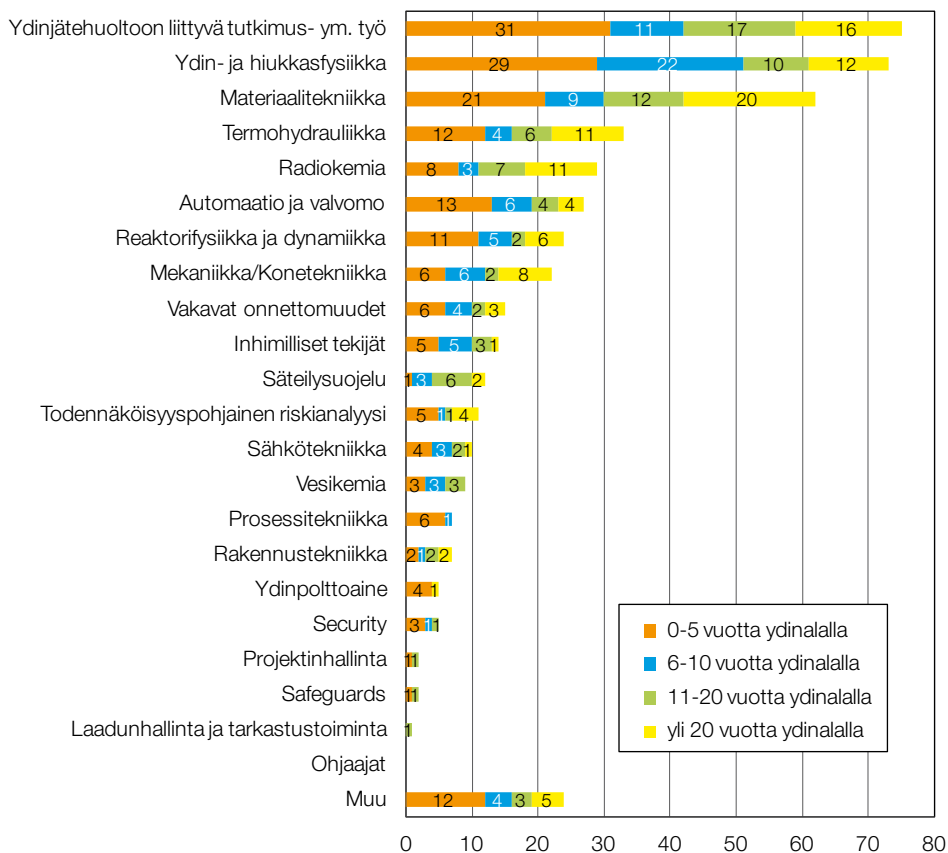
1.2 Yliopistojen ja tutkimuslaitosten nykyinen henkilöstö osaamisalueittain

Kuva 2. Yliopistojen ja tutkimuslaitosten nykyinen henkilöstö osaamisalueittain



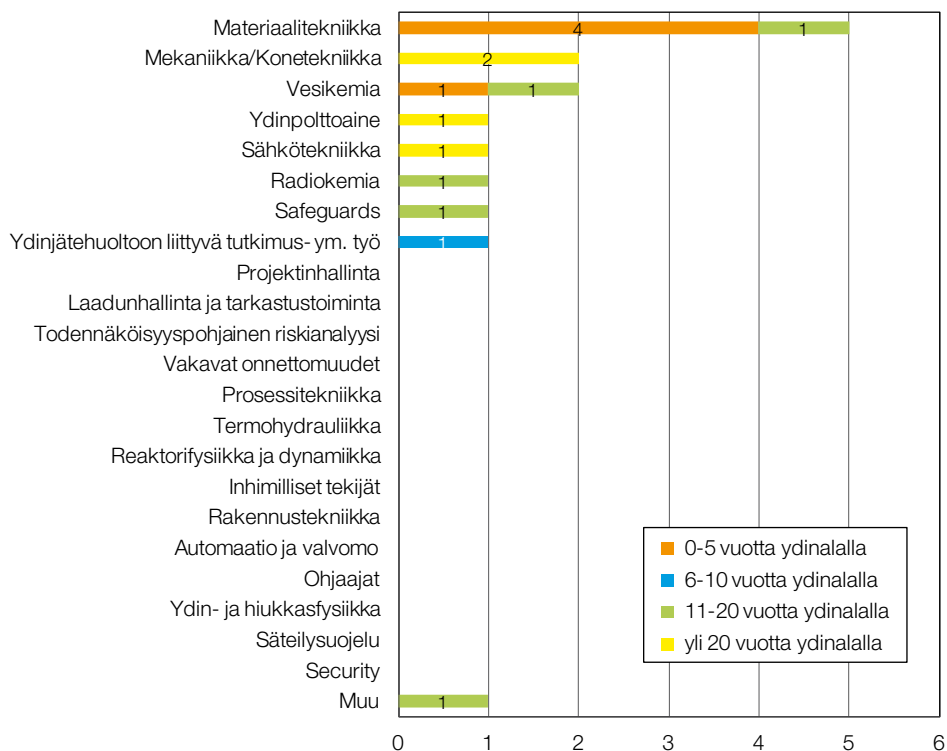
1.3 Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 3. Ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja hokemusvuosittain



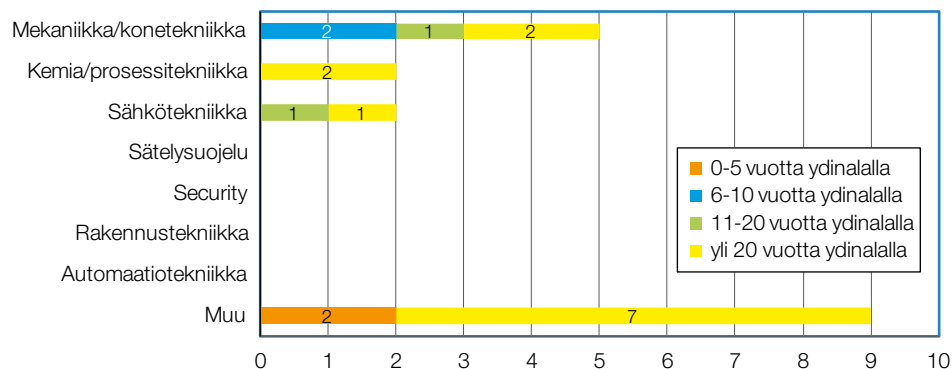
1.4 Alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet

Kuva 4. Alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet osaamisalueittain ja kokemusvuosittain



1.5 Toisen asteen tutkinto

Kuva 5. Toisen asteen tutkinnon suorittaneet kokemusvuosittain



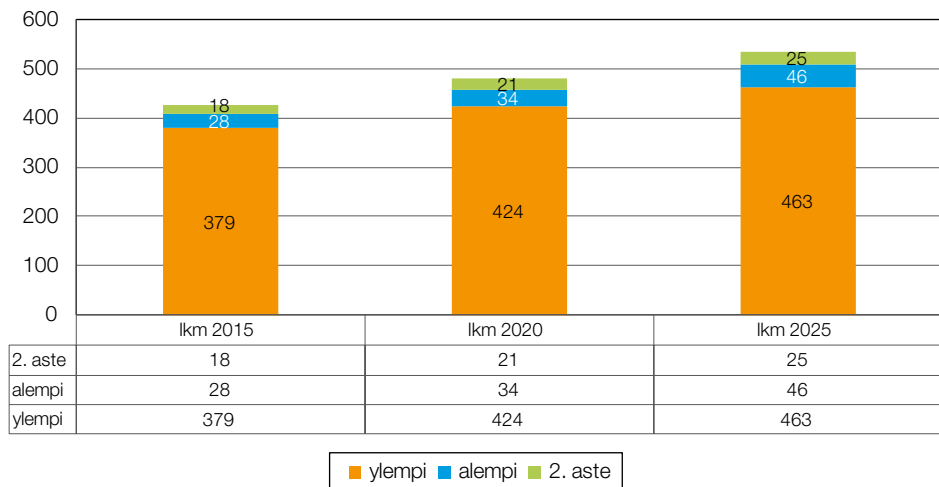
2 Tulevaisuuden tarpeet

2.1 Yliopistojen ja tutkimuslaitosten henkilöstö

Taulukko 10. Henkilöstötarve kokonaisuutena

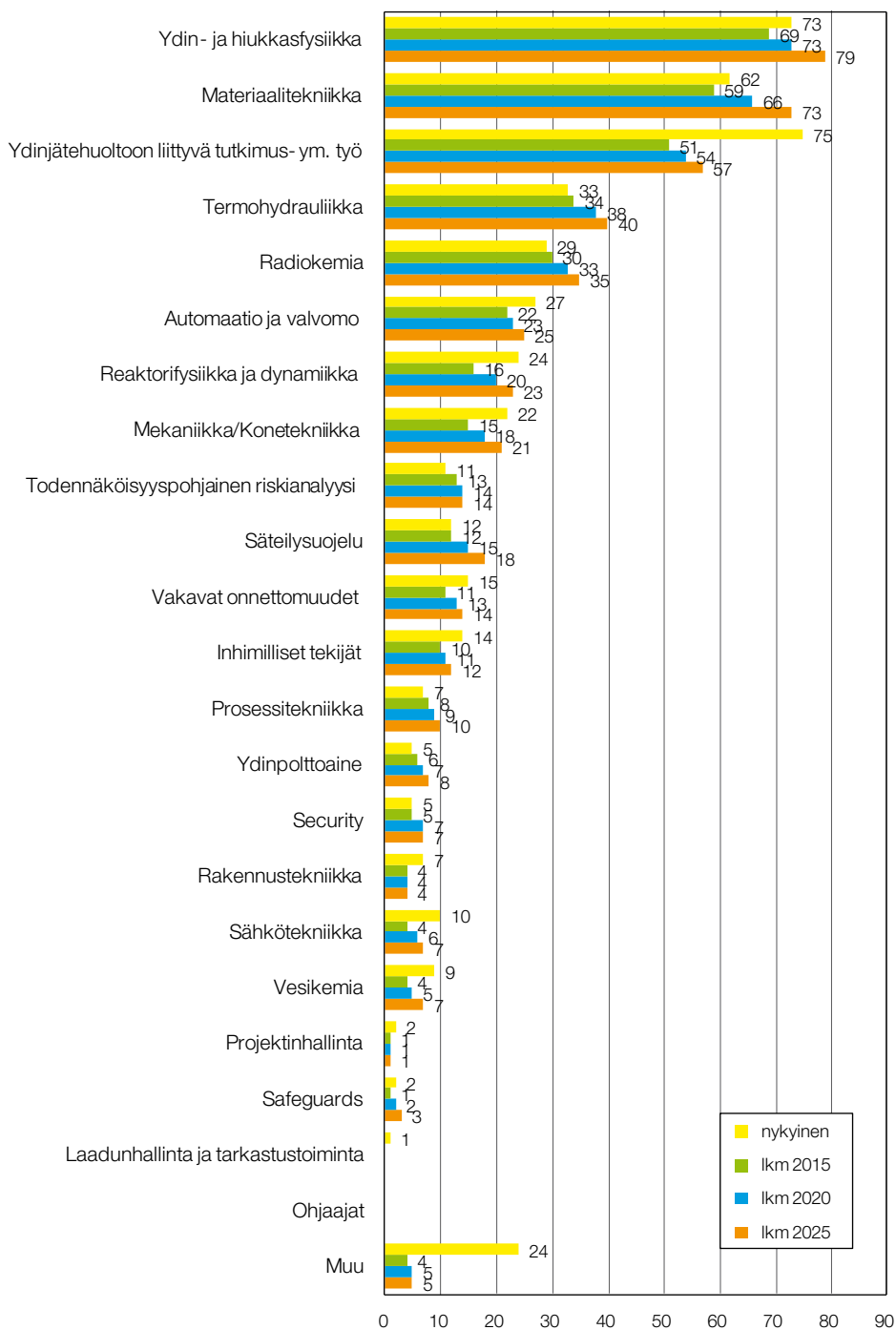
Tutkinto	lkm 2015	lkm 2020	lkm 2025
Ylempi korkeakoulu	442	494	535
Lisensiaatti	19		
Tohtori	166		
Alempi korkeakoulu	28	34	46
Toinen aste	18	21	25

Kuva 6. Tuleva henkilöstötarve

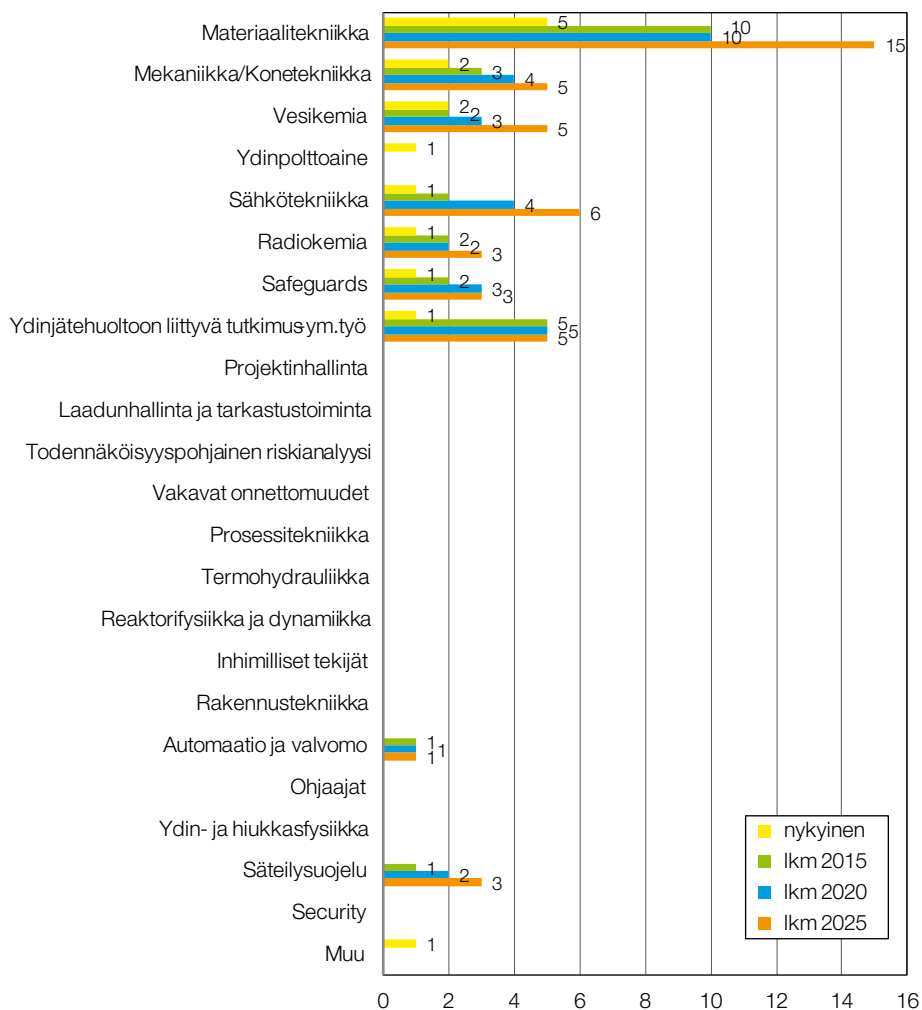


2.2 Henkilöstötarpeet alueittain ja koulutustasoin

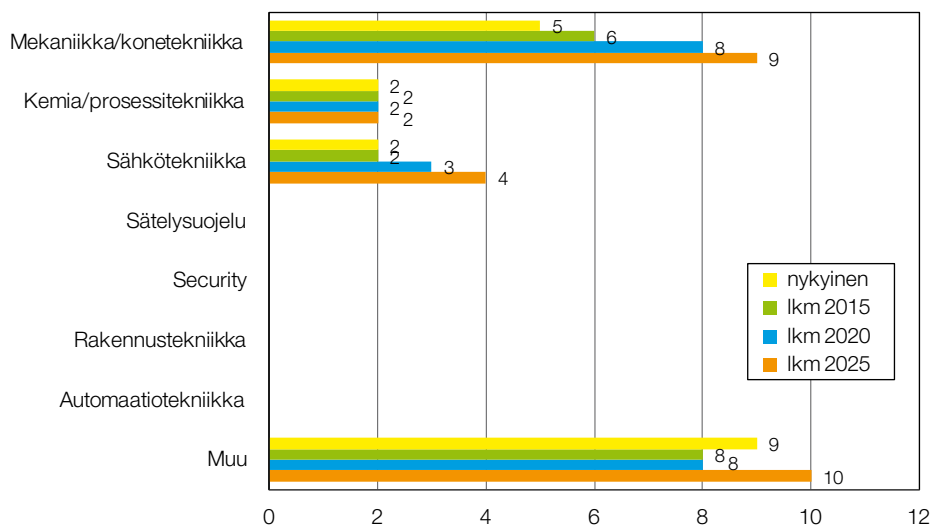
Kuva 7. Tulevaisuuden tarve, ylempään korkeakoulututkinnon suorittaneet



Kuva 8. Tulevaisuuden tarve, alemman korkeakoulututkinnon suorittaneet.



Kuva 9. Tulevaisuuden tarve, toisen asteen tutkinnon suorittaneet.



Lyhenneluettelo

Lyhenteitä on avattu ja käännetty suhteessa niiden merkitykseen. Osa lyhenteistä on avattu tekstissä. Kaikkia käytettyjä lyhenteitä kuten yksittäisten hankkeiden nimiä ei ole tähän luetteloon otettu.

AMK – Ammattikorkeakoulu

ANDES – Accurate Nuclear Data for nuclear Energy Sustainability

Andra (Ranska) – Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, Ranskan ydinjätehuolto-organisaatio

APROS – Advanced Process Simulation Software, suomalainen voimalaitosten prosessien mallintamistyökalu

AREVA – ranskalainen yhtiö, toimittaa ydinvoimalaitoksia

ATHLET – Analyse der Thermohydraulik von Lecks und Transienten, (Analysis of THERmal-hydraulics of LEaks and Transients)

AVERKO – Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun etäopiskelujärjestelmä

BAT – Best Available Technology, paras käytettävissä oleva teknologia

BBA – Bachelors degree: Bachelor of Business Administration

BELBaR – Bentonite Erosion: effects on the Long term performance of the engineered Barrier and Radionuclide Transport, bentoniitin turvallisuustoimintoja heikentävät ilmiöt, EURATOM tutkimushanke

BENTO-ohjelma – Bentoniitin asiantuntemuksen kehittämisohjelma

BMW i – (Saksa) – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

BNCT-boorineutronisädehoito – Otaniemen tutkimusreaktorin hoitomuoto

BOA-hanke – bentoniittipuskurin ominaisuuksien arviointi

CABRI – tutkimuslaitteisto vakaville reaktorionnettomuuksille Ranskan Cadarachessa

CAMP – Code Assessment and Maintenance Program, tietokonekoodeja (termohydrauliikka)

CATHARE – Code for Analysis of THERmalhydraulics during an Accident of Reactor and safety Evaluation, tietokonekoodi (termohydrauliikka)

CEA – Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, Ranskan ydintutkimuskeskus

CEID – The Centre of Computational Engineering and Integrated Design

CEMIS – Centre for Measurement and Information Systems

CENTRIA – Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun tutkimus-, kehitys- ja täydennyskoulutusyksikkö

CERN – hiukkasfysiikan tutkimuskeskus Sveitsin Genevessä

CFD – Computational Fluid Dynamics, numeerinen virtauslaskenta

CFM – Colloid formation and migration project

CIEMAT (Espanja) – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, espanjalainen tutkimuskeskus

CINCH – Cooperation in education In Nuclear CHemistry

CNRA – The Committee on Nuclear Regulatory Activities CNRA, OECD/NEAn ydinturvallisuusviranomaistoimintojen komitea

COOLOCE – Coolability of Cone, koelaitteisto (vakavat reaktorionnettomuudet)

Covra – COVRA N.V., Alankomaiden ydinjätehuolto-organisaatio

CROCK – Crystalline rock retention processes, radionuklidien sorptio

CSARP – Cooperative Severe Accident Research Program, US NRC

CSNI – Committee for Safety for Nuclear Installations, OECD/NEAn ydinturvallisuuskomitea

CST – LUT Kemian Erotustekniikan keskus

CTBT – Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, kattava ydinkoekielto

DEMO – demonstraatiovoimala

DNS – Direct Numeric Simulation

DP – Deployment Plan

DTP₂ – Divertor Test Platform

ECTS – eurooppalainen opintosuoritusten ja arvosanojen siirto- ja kertymisjärjestelmä

ECVET – ammatillisen koulutuksen opintosuoritusten eurooppalainen siirtojärjestelmä

EdF – Electricite de France, ranskalainen sähköyhtiö

EERRI – Eastern European Research Reactor Initiative

EFDA – European Fusion Development Agreement

ELFORSK – Svenska elföretagens forskning och utveckling

ELY-keskus – Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

ENEN – European Nuclear Education Network, EU:n alulle panema koulutusverkosto

ENRESA (Espanja) – Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A

EnSTe – Ympäristötieteen ja -tekniikan tutkijakoulu

EPR – European Pressurised Reactor, esimerkiksi Olkiluoto 3

ESRF – synkrotroni-säteilykeskus

EURADOS – European Radiation Dosimetry Group

EURATOM – The European Atomic Energy Community, Euroopan atomienergiayhteisö

FEBEX – Collaboration in the Full-Scale Engineered Barrier Experiment in Crystalline Host Rock

FEG-STEM – Field emission gun scanning transmission electron microscope, läpivalaisuelektronimikroskooppi

Fluent – tietokonekoodi (termohydrauliikka)

GAP – Greenland Analogue Project

GEN₄FIN-hanke – suomalainen neljännen reaktorisukupolven verkosto

GETMAT – EU-projekti Gen IV ja transmutaation alueilla (materiaalit)

GFR – Gas-Cooled Fast Reactor, kaasujäähdytteinen nopea reaktori

GTK – Geologian tutkimuskeskus

HALDEN – Reactor Project - OECD:n tutkimusohjelma Haldenissa Norjassa
 HAMLAB – Haldenissa oleva tutkimuslaboratorio (MTO)
 HECLA – thermo-chemical interaction between metallic melt and concrete
 HPLWR – High Performance Light Water Reactor (EU-projekti), reaktoriyyppi
 HRP – Halden Reactor Project
 HY – Helsingin yliopisto
 HYFL – Helsingin yliopiston Fysiikan laitos
 HYRL – Helsingin yliopiston Radiokemian laboratorio
 IAEA – International Atomic Energy Agency, kansainvälinen atomienergiajärjestö
 IGD-TP – Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform, Geologisen loppusijoituksen teknologiayhteisö (Euratom)
 ILL – Institut Laue-Langevin
 IRSN (Ranska) – Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
 ISY – Itä-Suomen yliopisto
 ITC-School (Sveitsi) – International Training Center School for Underground Storage and Disposal -yhdistys
 ITER – International Thermonuclear Experimental Reactor, fuusioreaktori Ranskan Cadarachessa
 JAEA (Japani) – Japan Atomic Energy Agency
 JET – Joint European Torus, fuusioreaktori Britanniassa
 JHR – Jules Horowitz -tutkimusreaktori Cadarachessa Ranskassa
 JHR MTR – Jules Horowitz Materials Test Reactor
 JY – Jyväskylän yliopisto
 JYFL – Jyväskylän yliopiston fysiikan laitos
 JYFLTRAP – Penningin ioniloukku
 KAJ-siilo – keskiaktiivisten ydinjätteiden siilo Olkiluodossa
 KAMK – Kajaanin AMK
 KPAMK – Keski-Pohjanmaan AMK
 KTM – kauppa- ja teollisuusministeriö
 KYT₂₀₁₄ – kansallinen ydinjätehuollon tutkimusohjelma
 LCS – Long-term Cement Studies
 LES – Large Eddy Simulation
 LFR – Liquid Lead Reactor, reaktoriyyppi
 LISSAC – pressure vessel head model specimen tests
 LONGLIFE – Treatment of long term irradiation embrittlement effects in RPV safety assessment (EU projektin nimi)
 LTKK (nykyinen LUT) – Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu
 LUT – Lappeenrannan teknillinen yliopisto
 LYTP – Laki yksityisistä turvallisuuspalveluista
 MAJ-siilo – Matala-aktiivisen voimalaitosjätteen siilo Olkiluodossa
 MATTER – Materials testing and rules (EU projektin nimi)
 MELCOR – tietokonekoodi (vakavat reaktorionnettomuudet)

MELODI – Multidisciplinary European Low Dose Initiative

Nagra (Sveitsi) – Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Sveitsin ydinjätehuollon toimija

NDA – Nuclear Decommissioning Authority, Britannian ydinjätehuollon toimija (viranomainen)

NDC – Nuclear Development Committee, OECD/NEAn kehityskomitea

NDT – Non-destructive testing, Ainetta rikkomaton tarkastus

NEA – Nuclear Energy Agency, OECD:n ydinenergiatoimisto

NEPTUNE CFD – a new software platform for advanced nuclear thermal-hydraulics

NERIS – European Platform for European Nuclear and Emergency Preparedness and Response, teknologiayhteisö

NETNUC – New Type Nuclear Reactors, suomalainen Gen IV -hanke

NKS – pohjoismainen ydinturvallisuusohjelma

NOG – Nordic Owners group

NPSAG – Nordic probabilistic safety assessment Group

NRI – Nuclear Research Institute Rez plc, UJV (Ústav jaderného výzkumu Řež), Tshekin ydintutkimuslaitos

NSC – Nuclear Science Committee, OECD/NEAn tiedekomitea

NUCPRI – Power Research Infrastructure, Lappeenrannan teknillisen yliopiston Suomen Akatemia -hanke

NULIFE – Nuclear plant life prediction, EU-hanke (ydinlaitosten käyttöikä)

NURISP – Nuclear Reactor Integrated Simulation Project, EU Projekti

OAMK – Oulun seudun AMK

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD, Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö

OKM – Opetus- ja kulttuuriministeriö (ent. OM)

OMO – Olkiluoto Monitoring Programme

Ondraf/Niras (Belgia) – The Belgian Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile materials, Belgian ydinjätehuollon toimija

ONKALO – Maanalainen kallioperän tutkimustila Olkiluodossa (Posiva)

OTR – Ydinenergia-alan osaamistyöryhmä

OY – Oulun yliopisto

PACTEL-laitteisto – Parallel Channel Test Loop, Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimuslaitteisto

PERFORM6o – Prediction of the Effects of Radiation for Pressure Vessel and in-core Materials using multi-scale Modelling – 6o years foreseen plant lifetime, EU-projekti

Petrus-verkosto – Programme for Education, Training and Research on Underground Storage

PFL DIFF – Posiva Flow Log virtausmittari

PFL TRANS – Posiva Flow Log poikkivirtausmittari

PINC – Programme for Inspection of Nickel-based components (US NRC:n kansainvälinen tutkimusprojekti eripariliitosten tarkastettavuudesta)

PINC – An Illustrative Nuclear Programme (lyhenne PINC tulee Ranskan kielisestä nimestä Programme Indicatif Nucléaire de la Communauté). Viite: Euratom-sopimuksen 40 artikla.

POOLEX – Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimuslaitteisto

PORFLO – VTT:llä kehitetty virtauslaskentaohjelma

POSEK – Porin Seudun Kehittämiskeskus Oy

Posiva – Posiva Oy, suomalainen ydinjätehuollon asiantuntija

PPOOLEX – Pressure POOLEX, Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimuslaitteisto

PRA-malli – Probabilistic Risk Assessment, todennäköisyyspohjainen riskiarvio

PSAR – Preliminary Safety Assessment Report, alustava turvallisuusseloste

PURAM (Unkari) – Public Limited Company for Radioactive Waste Management, Unkarin ydinjätehuolto-organisaatio

PWR PACTEL – Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimuslaitteisto

RAWRA/SURAO (Tsekki) – Radioactive Waste Repository Authority, Tsekin ydinjätehuolto-organisaatio

REDUPP – REDucing Uncertainty in Performance Prediction (käytetyn polttoaineen liukenemisnopeudet)

RELAP5 – tietokonekoodi (termohydrauliikka)

RIA – Reactor Initiated Accident, reaktoriperäinen onnettomuus

RSC – Rock Suitability Criteria

SAFIR – suomalaiset kansalliset ydinturvallisuustutkimusohjelmat

SAFIR2014 – Safety of nuclear power plants – Finnish national Research programme 2014, käynnissä oleva ydinturvallisuustutkimusohjelma

SAMK – Satakunnan AMK

SARNET-projekti, Euratomhanke (vakavat reaktorionnettomuudet)

SCIP – OECD/NEAn polttoaineen suojakuoren tutkimusohjelma

SCK•CEN (Belgia) – The Belgian Nuclear Research Centre SCK•CEN, tutkimuslaitos

SCWR – Super Critical Water Reactor, reaktorityyppi

SEM – Scanning electron microscope, pyyhkäiselektronimikroskooppi

Serpent – VTT:llä kehitetty neutroniikkalaskentakoodi

SKB (Ruotsi) – Svensk Kärnbränslehantering AB, ruotsalainen ydinjäteyhtiö

SMABRE – tietokonekoodi

SNETP – Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, ydinennergian teknologia-yhteisö Euratomin Fissio-ohjelmassa

SRA – Strategic Research Agenda, teknologiayhteisön strateginen tutkimusohjelma

STUK – Säteilyturvakeskus

STYX (particle bed coolability tests) – VTT:n koelaitteisto (vakavat reaktori-onnettomuudet)

SusEn – Suomen Akatemian energiatutkimusohjelma

SYTYKE – Suomessa ympäristöterveyden tohtoriohjelma

TAGS – Total Absorption Gamma Spectroscopy, analyysilaitteisto

TASS – Total Absorption Spectrometry, kokonaisabsorptio spektrometria

TEF – Technical Evaluation Forum
 TEKES – Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus
 TEM – työ- ja elinkeinoministeriö
 TKK (nykyinen Aalto-yliopisto) – teknillinen korkeakoulu
 TRACE – tietokonekoodi (termohydrauliikka)
 TTY – Tampereen teknillinen yliopisto
 TUKES – Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
 TVO – Teollisuuden Voima Oyj
 WENRA – Western European Nuclear Regulators’ Association, eurooppalainen ydin-
 turvallisuusviranomaisten yhdistys
 VHTR – Very High Temperature Reactor, reaktorityyppi
 VLJ-luola – Voimalaitosjätteen loppusijoituslaitos
 WPDD – Working Party on Decommissioning and Dismantling
 VTT – Teknologian tutkimuskeskus VTT
 VVER-reaktori – venäläinen painevesireaktori
 VYR – Valtion ydinjätehuoltorahasto
 YEL – ydinenergialaki
 YJH – Ydinjätehuolto
 YK – ydinturvallisuuskurssi
 YTERA – Ydintekniikan ja radiokemian tohtoriohjelma
 YVL-ohjeet – STUKin ohjeet, jotka koskevat ydinlaitosten turvallisuutta, ydinmate-
 riaaleja ja ydinjätteitä, sekä ydinenergian käytön edellyttämiä turvajärjestelyjä ja
 valmiusjärjestelyjä
 ÅA – Åbo Akademi
 Äspö International Task Force – SKB:n kalliolaboratoriotutkimuksiin liittyvä kan-
 sainvälinen tutkimusryhmä

Tekijät Författare Authors		Julkaisuaika Publiceringstid Date	
Kompetensarbetsgruppen Ordförande: Riku Huttunen Sekreterare: Jorma Aurela, Eriika Melkas (t.o.m. 3/2011) och Jaana Avolahti (fr.o.m. 3/2011)		Mars 2012	
		Toimeksiantaja(t) Uppdragsgivare Commissioned by	
		Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy	
		Toimielimen asettamispäivä Organets tillsättningsdatum Date of appointment	
		27.10.2010	
Julkaisun nimi Titel Title			
Rapport av den nationella kompetensarbetsgruppen på kärnenergiområdet			
Tiivistelmä Referat Abstract			
Arbets- och näringsministeriet tillsatte i oktober 2010 en arbetsgrupp för att kartlägga behovet av kunnskap på kärnenergiområdet på lång sikt. Utredningsarbetet utfördes av en omfattande grupp experter som representerade olika parter inom kärnenergiindustrin. En viktig slutsats av utredningen var att det finns behov av täckande kunskap av hög kvalitet på nationell nivå vid såväl bolagen, forskningsanstalterna som myndigheterna. Utbildningen av experter och forskningen inom sektorn förutsätter långsiktiga satsningar och långtgående samarbete både mellan finländska aktörer och internationellt. Behovet av expertis på kärnenergiområdet ökar i Finland. De kärnkraftverksenheter som är i drift samt enheten Olkiluoto 3 som håller på att byggas har ett ständigt behov av yrkeskunnig arbetskraft. Posiva ska ha beredskap för att inleda slutförvaringen av använt bränsle år 2020. Behovet av experter accentueras särskilt av de nya kärnkraftverksprojekt som är aktuella: TVO:s Olkiluoto 4 och Fennovoimas kärnkraftverk, som båda fick ett positivt principbeslut av statsrådet år 2010. När riksdagen fastställde principbesluten den 1 juli 2010 förutsatte riksdagen att regeringen skapar förutsättningar för att finländsk arbetskraft, finländsk kompetens och finländska företag ska kunna utnyttjas i stor utsträckning i kärnkraftsprojekten. I tillsättningsbrevet av den 27 oktober 2010 fick kompetensarbetsgruppen i uppdrag att 1) kartlägga befintliga personalresurser hos aktörerna inom kärnenergiindustrin, 2) kartlägga på ett omfattande sätt behovet av fortbildning och kompletterande utbildning i Finland, 3) utreda möjligheterna för finländskt deltagande i omfattande framtida kärnanläggningsprojekt, 4) kartlägga den forskningsinfrastruktur som står till förfogande för aktörerna inom kärnenergiindustrin, 5) kartlägga Finlands möjligheter att delta i det internationella forskningsarbetet och 6) gå igenom situationen för VTT:s forskningsreaktor. Arbetet utfördes i sex sektioner, som också svarade för rapportens innehåll. I syfte att samla bakgrundsmaterial för utredningen genomfördes en enkätundersökning som skickades till cirka 300 organisationer inom branschen. Resultaten av enkätundersökningen presenteras i detalj i denna rapport som publiceras på både finska och engelska. I arbetsgruppen ingick företrädare för arbets- och näringsministeriet, miljöministeriet, inrikesministeriet, undervisnings- och kulturministeriet, Strålsäkerhetscentralen (STUK), Teknologiska forskningscentralen VTT, Aalto-universitetet, Jyväskylä universitet, Uleåborgs universitet, Helsingfors universitet samt Villmanstrands tekniska universitet. Av kraftbolagen hade Fennovoima, Fortum och TVO samt Posiva företrädare i arbetsgruppen. Dessutom deltog flera andra organisationer i arbetet i sektionerna och drygt 150 personer deltog i sammanställningen av rapporten. I rapporten framläggs en hel rad rekommendationer för utveckling av kompetensen på kärnenergiområdet på lång sikt.			
Kontaktperson vid arbets- och näringsministeriet: Energiavdelningen/Jorma Aurela, puh. 010 6064832			
Asiasanat Nyckelord Key words			
kärnenergi, kunnskap			
ISSN		ISBN	
1797-3562		978-952-227-624-7	
Kokonaissivumäärä Sidoantal Pages		Kieli Språk Language	
273		Suomi, finska, Finnish	
		Hinta Pris Price	
		38 €	
Julkaisija Utgivare Published by		Kustantaja Förläggare Sold by	
Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy		Edita Publishing Oy / Ab / Ltd	

Tekijät Författare Authors Committee for Nuclear Energy Competence in Finland Chair Riku Huttunen Secretaries Jorma Aurela, Eriika Melkas until 3/2011 and Jaana Avolahti as of 3/2011	Julkaisuaika Publiceringstid Date March 2012 Toimeksiantaja(t) Uppdragsgivare Commissioned by Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy Toimielimen asettamispäivä Organets tillsättningsdatum Date of appointment 27 October 2010
Julkaisun nimi Titel Title Report of the Committee for Nuclear Energy Competence in Finland	
Tiivistelmä Referat Abstract In October 2010, the Ministry of Employment and the Economy set up a committee to examine the long-term competence needs of the nuclear energy sector. The study was implemented by a group of experts ensuring extensive representation of the nuclear energy sector. One of the key conclusions was that comprehensive high-standard national competence is needed by nuclear sector companies, research institutes as well as authorities. Training of experts and sector-specific research activities call for long-term investments and cooperation both between domestic operators and in international scale. The need for expertise in nuclear energy sector is growing in Finland. The nuclear power plant units presently in operation as well as the Olkiluoto 3 unit under construction require competent labour force on a continuous basis. Posiva must have readiness for commencing final disposal of spent fuel by 2020. Especially the new nuclear power projects – TVO's Olkiluoto 4 and Fennovoima's nuclear power plant, which were given favourable decisions-in-principle by the Government in 2010 – will increase the need for experts. When ratifying these decisions-in-principle on 1 July 2010 the parliament required in its statement that the Government create for its part preconditions for as extensive use of domestic labour, competence and business sector as possible in these nuclear power projects. The appointment letter of 27 October 2010 assigns the following duties to the Committee for Nuclear Energy Competence: 1) to survey the present personnel resources of nuclear operators; 2) to conduct an extensive review of the need of Finnish basic, further and supplementary education and training; 3) to investigate the opportunities for Finnish participation in the forthcoming major nuclear power plant projects; 4) to survey the research infrastructure available for nuclear operators; 5) to explore Finnish participation in international research activities; and 6) to review the situation of research reactor of VTT Technical Research Centre of Finland. The work was carried out in six divisions which were also in charge of writing the texts for the report. In order to acquire background material, a query, sent to some 300 organisations within the sector, was implemented. The results of the query are presented extensively in this report, which will be published both in Finnish and English. The committee included representatives from the Ministry of Employment and the Economy, the Ministry of the Environment, the Ministry of Social Affairs and Health, the Ministry of Education and Culture, the Radiation and Nuclear Safety Authority Finland (STUK), VTT Technical Research Centre of Finland, Aalto University, and universities of Jyväskylä, Oulu and Helsinki, as well as Lappeenranta University of Technology. The power companies involved were Fennovoima, Fortum, TVO and Posiva. In addition, several other organisations participated in the work of various divisions, and the number of people involved in the writing process of the report was about 150. The report presents a large number of recommendations for long-term development of expertise in the nuclear energy sector in Finland. Contact person in the Ministry of Employment and the Economy: Energy Department/Jorma Aurela, tel. +358 10 6064832	
Asiasanat Nyckelord Key words Nuclear energy, competence, capacity building	
ISSN 1797-3562	ISBN 978-952-227-624-7
Kokonaissivumäärä Sidoantal Pages 273	Kieli Språk Language Suomi, finska, Finnish Hinta Pris Price 38 €
Julkaisija Utgivare Published by Työ- ja elinkeinoministeriö Arbets- och näringsministeriet Ministry of Employment and the Economy	Kustantaja Förläggare Sold by Edita Publishing Oy / Ab / Ltd

Kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportti

Työ- ja elinkeinoministeriö asetti lokakuussa 2010 työryhmän kartoittamaan ydinenergia-alan pitkän aikavälin osaamistarpeita. Selvitystyö toteutettiin ydinenergia-alaa laajasti edustaneella asiantuntijajoukolla. Keskeinen johtopäätös oli korkeatasoisen ja kattavan kansallisen osaamisen tarve niin alan yhtiöissä, tutkimuslaitoksissa kuin viranomaistenkin osalta. Asiantuntijoiden koulutus ja alan tutkimustoiminta edellyttävät pitkäjänteistä panostusta ja yhteistyötä sekä kotimaisten toimijoiden kesken että kansainvälisesti.

Ydinenergia-alan asiantuntemuksen ja sitä tukevan infrastruktuurin tarpeet Suomessa ovat kasvavia. Käytössä olevat ydinvoimalaitosyksiköt sekä rakenteilla oleva Olkiluoto 3 -yksikkö tarvitsevat jatkuvasti osaavaa työvoimaa. Posivalla tulee olla valmius häytetyn polttoaineen loppusijoituksen aloittamiseen vuonna 2020. Erityisesti asiantuntijoiden tarvetta lisäävät uudet ydinvoimahankkeet, TVO:n Olkiluoto 4 ja Fennovoiman ydinvoimalaitos, jotka saivat valtioneuvoston myönteisen periaatepäätöksen vuonna 2010.

Tätä julkaisua myy:
Netmarket
Edita Publishing Oy
www.edita.fi/netmarket
asiakaspalvelu.publishing@edita.fi
Puhelin 020 450 05
Faksi 020 450 2380

Painettu
ISSN 1797-3554
ISBN 978-952-227-623-0

Verkkojulkaisu
ISSN 1797-3562
ISBN 978-952-227-624-7



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