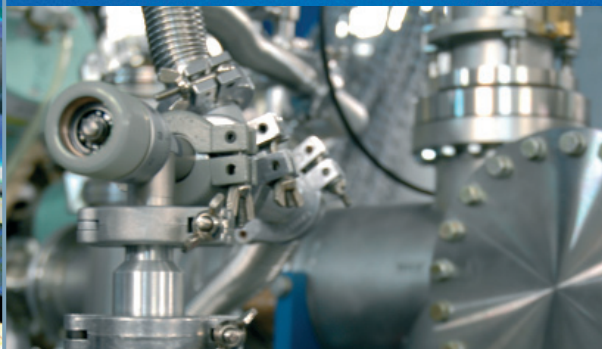


Suomen Akatemian julkaisu 6/06

SUOMEN AKATEMIAN
RAHOITTAMA LUONNON-
TIETEIDEN JA TEKNIKAN
ALOJEN TUTKIMUS



Arviointi hankkeiden
vaikuttavuuksista



SUOMEN AKATEMIA
TIETEEN RAHOITTAJA JA ASiantuntija

SUOMEN
AKATEMIAN
RAHOITTAMA
LUONNON-
TIETEIDEN JA
TEKNIIKAN ALOJEN
TUTKIMUS

Arviointi hankkeiden
vaikuttavuuksista

SUOMEN AKATEMIA LYHYESTI

Suomen Akatemia rahoittaa korkealaatuista tieteellistä tutkimusta, toimii tieteen ja tiedepolitiikan asiantuntijana sekä vahvistaa tieteen ja tutkimustyön asemaa. Toiminta kattaa kaikki tieteen- ja tutkimuksen alat.

Suomen Akatemian kehittämistöimien pääpaino on tutkijoiden uramahdollisuuksien monipuolisessa kehittämisessä, korkeatasoisten tutkimusympäristöjen edellytysten luomisessa ja kansainvälisten mahdollisuuksien hyödyntämisessä kaikilla tutkimuksen, tutkimusrahoituksen ja tiedepolitiikan alueilla.

Akatemialla on käytössään useita erilaisia tutkimusrahoitusmuotoja eri tarkoituksiin. Suomen Akatemian tutkimusrahoituksella edistetään kansainvälistä tutkimusyhteistyötä, sukupuolten tasa-arvoa ja rohkaistaan erityisesti tutkijanaisia hakemaan tutkimusvirkoja sekä tutkimusrahoitusta.

Suomen Akatemia rahoittaa tutkimusta vuosittain yli 240 miljoonalla eurolla. Se on noin 14 prosenttia Suomen valtion tutkimusrahoituksesta.

Akatemian rahoittamissa tutkimushankkeissa tehdään vuosittain noin 3 000 tutkijatyövuotta yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa.

Akatemian rahoittama monipuolinen ja korkeatasoinen perustutkimus tuottaa uutta tietoa ja uusia osaajia. Akatemia kuuluu opetusministeriön hallinnonalaan ja saa rahoituksensa valtion budjettivaroista.

Lisää tietoa Suomen Akatemiasta on verkkosivuilla osoitteessa www.aka.fi.

Taitto PixPoint ky

ISBN 951-715-598-0 (print)

ISBN 951-715-599-9 (pdf)

Edita Prima, Helsinki 2006

SISÄLLYS

ESIPUHE	8
1 Johdanto	11
2 Menetelmät ja aineisto	12
2.1 Tutkimusraportit.....	12
2.2 Kyselytutkimus.....	12
2.3 Akatemiattutkijoiden sijoittuminen.....	12
3 Tulokset ja päätelmiä	13
3.1 Tieteelliset vaikutukset.....	13
3.1.1 Hankkeiden johtajien arvio tieteellisten tulosten merkittävydestä.....	13
3.1.2 Hankkeiden rooli tutkimusalan kehittymisen kannalta Suomessa	13
3.1.3 Hankkeiden vaikutukset johtajan ja ryhmän muiden	15
tutkijoiden kannalta.....	
3.1.4 Hankkeissa syntyneet referoidut julkaisut	16
3.1.5 Suomen Akatemian rahoituksella suoritettut tutkinnot.....	16
3.2 Tutkijoiden sijoittuminen	19
3.2.1 Tutkimushankkeet	19
3.2.2 Akatemiattutkijat	20
3.3 Tutkimushankkeiden yhteistyö ja monitieteellisyys	21
3.3.1 Hankkeiden yhteistyötahot ja kansainvälinen yhteistyö	21
3.3.2 Tutkimuksen monitieteellisyys.....	22
3.4 Tutkimuksen jatkuminen.....	24
3.4.1 Jatkohankkeiden rahoitus	24
3.4.2 Jatkohankkeiden yhteistyötahot	25
3.5 Teolliset vaikutukset ja tulosten soveltaminen	25
3.5.1 Hankkeiden johtajien arvio tulosten tärkeydestä sovellusten kannalta.....	26
3.5.2 Tulosten käytännön soveltaminen ja spin-off yritysten syntyminen	27
3.5.3 Patentit ja keksinnöt	29
3.5.4 Teknologian siirtyminen	30
3.5.5 Hankkeiden johtajien arviot tulosten sovellettavuudesta tulevaisuudessa 31	
3.6 Yhteiskunnallinen muu vaikuttavuus.....	32
3.6.1 Tieteen popularisointi.....	33
3.6.2 Muu yhteiskunnallinen vaikuttavuus	33
4 Yhteenveto	35
5 Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan johtopäätökset	38
Lähteet	42
LIITE 1 Tutkimusraporttilomake	43
LIITE 2 Kyselylomake.....	52
LIITE 3 Esimerkkitapauksia Akatemian rahoittamista hankkeista,	58
joiden tuloksia on hyödynnetty teollisuudessa	

Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen Akatemia		Päivämäärä	24.3.2006
Tekijä(t)	Susan Linko ja Anton Danielsen			
Julkaisun nimi	Suomen Akatemian rahoittama luonnontieteiden ja tekniikan alojen tutkimus: Arviointi hankkeiden vaikuttavuuksista			
Tiivistelmä	<p>Tässä raportissa on analysoitu luonnontieteiden ja tekniikan alan tutkimushankkeissa saavutettuja tuotoksia tieteellisen, taloudellisen ja muun yhteiskunnallisen vaikuttavuuden näkökulmista. Raportti sisältää myös esimerkkitapauksia Akatemian rahoituksen merkityksestä. Lisäksi esitetään luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan näkemyksiä toimialansa tulevasta kehityksestä sekä tarvittavista toimenpiteistä toimialan myönteisen kehityksen varmistamiseksi.</p> <p>Luonnontieteiden ja tekniikan aloilla Suomen Akatemian rahoitus on tuottanut selvästi tehokkaammin kansainvälisiä vertaisarvioituja julkaisuja ja tohtorintutkintoja keskimääräiseen suomalaisten yliopistojen tieteelliseen toimintaan verrattuna. Miljoonalla eurolla Akatemian rahoitusta syntyi keskimäärin 31 kansainvälistä vertaisarvioitua aikakauslehtiartikkelia, 4,0 tohtorintutkintoa, 1,9 lisensiaatintutkintoa ja 4,8 maisteritason tutkintoa. Hankkeensa roolin tutkimusalan kehittymisen kannalta Suomessa erittäin merkittäväksi tai merkittäväksi arvioi 73 % tutkimushankkeiden johtajista. Tarkastelluissa hankkeissa Akatemian rahoituksella työskennelleiden tutkijoiden liikkuvuus on ollut maltillista. Yrityksiin oli siirtynyt 34 % tutkijoista, kun hankkeen päättymisestä oli kulunut 1,5-5,5 vuotta. Vuosina 1990-1997 nimitetyistä luonnontieteiden ja tekniikan alojen akatemiattutkijoista peräti 64 % oli sijoittunut professuuriin, kun viran päättymisestä oli kulunut yhdestä kymmeneen vuotta.</p> <p>Akatemian rahoittaman tutkimuksen tuloksia kaupallistetaan ja sovelletaan teollisuudessa merkittävässä määrin. Tuloksia oli hyödynnetty teollisesti tai kaupallisesti 52 %:ssa tarkasteltuja hankkeita, kun rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin 1,5-5,5 vuotta. Merkittävimmin teknologiaa arvioitiin siirtyneen teollisuuteen henkilökontaktien ja tutkimusyhteistyön kautta. Yleisin hyödyntäjä on ollut hankkeen yhteistyöyritys, mutta 7 % hankkeiden johtajista ilmoitti, että hankkeen tulosten hyödyntämistä varten oli perustettu yritys. Patenttihakemuksia oli jätetty joka kahdeksannen hankkeen tuloksista, kun hankkeen päättymisestä oli kulunut 1,5-5,5 vuotta. Keskimäärin patentteja oli jätetty 0,6 kpl hanketta kohden. Patenttihakemuksista 27 % oli tehty Suomeen, 24 % Yhdysvaltoihin ja 12 % Japaniin.</p> <p>Akatemian rahoittamalla tutkimuksella nähtiin taloudellisen ja teknologisen vaikuttavuuden ohella myös muuta yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Erityisesti ekologiset ja luonnonsuojelulliset vaikutukset painottuivat hankkeiden johtajien vastauksissa. Tieteen tuloksista tiedotettiin suurta yleisöä 37 %:ssa tarkasteltuja hankkeita.</p>			
Asiasanat	Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimus, vaikuttavuus, julkaisutehokkuus, yhteistyö, monitieteisyys, teknologian siirtyminen, tutkimustulosten soveltaminen			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen Akatemian julkaisuja 6/06			
ISSN	0358-9153			
ISBN	Painetulle kirjalle annettu tunnus	Pdf-versiolle annettu tunnus		
	951-715-598-0	951-715-599-9		
Sivumäärä	73			
Julkaisun jakaja	Suomen Akatemia, PL 99, 00501 Helsinki			
Julkaisun kustantaja	Suomen Akatemia			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima, 2006			
Muut tiedot	www.aka.fi/julkaisut			

Description

Publisher	Academy of Finland	Date	24 March 2006
Author(s)	Susan Linko and Anton Danielsen		
Title	Research in natural sciences and engineering funded by the Academy of Finland: Assessment of impact of projects		
Abstract	<p>This report analyses the outcomes generated by research projects in the fields of natural sciences and engineering in terms of their scientific, economic and other social impacts. The report also includes examples of the significance of Academy funding. Furthermore, it presents the views of the Research Council for Natural Sciences and Engineering concerning future development in the field and the measures required to ensure positive development.</p> <p>In comparison with average scientific outcomes by Finnish universities, Academy funding in the fields of natural sciences and engineering has clearly resulted in more efficient production of internationally peer reviewed publications and PhDs. Academy funding totalling one million euros led to an average of 31 international peer reviewed journal articles, 4.0 doctoral degrees, 1.9 Licentiate degrees and 4.8 Master's degrees. In terms of the importance of the project in developing the research field in Finland, 73% of research project leaders assessed its role as being very important or important. The mobility of researchers working with Academy funding was moderate in the assessed projects. About 35% of researchers had moved to the private sector 1.5–5.5 years after completion of the project. As many as 64% of the Academy Research Fellows appointed in the fields of natural sciences and engineering in 1990–1997 had received a professorship within 1–10 years of the end of their term as Academy Research Fellow.</p> <p>A significant amount of the results of the research funded by the Academy are commercialised and applied in industry. The results of 52% of the assessed projects had been utilised industrially or commercially within 1.5–5.5 years of the end of the funding period. Personal contacts and research cooperation with the industry were considered to be the most effective means of transferring engineering knowledge into industrial use. The most common beneficiary has been the partner company in the project, but 7% of project leaders stated that a company had been established to utilise the results of the project. Patent applications were submitted for the results of every eighth project within 1.5–5.5 years of completion of the project. An average of 0.6 patent applications per project were submitted. In total, 27% of patent applications were made in Finland, 24% in the United States and 12% in Japan.</p> <p>In addition to economic and technological impact, Academy-funded research had other social impacts as well. The responses of project leaders particularly emphasised the ecological and environmental protection impact of the research. The research results reached a wide audience in 37% of the projects examined.</p>		
Key words	Natural sciences and engineering research, impact, publication efficiency, cooperation, multidisciplinary, technology transfer, application of research results		
Name and number of series	Publication of the Academy of Finland		
ISSN	0358-9153		
ISBN	Print 951-715-598-0	Pdf 951-715-599-9	
Number of pages	73		
Distributed by	Academy of Finland, POB 99, FI-00501 Helsinki, viestinta@aka.fi		
Published by	Academy of Finland		
Place and date of printing	Edita Prima, 2006		
Other information	www.aka.fi/publications		

ESIPUHE: VAIKUTTAVUUSARVIOINTI SUOMEN AKATEMIASSA

Valtioneuvoston periaatepäätös julkisen tutkimusjärjestelmän rakenteellisesta kehittämisestä vuodelta 2005 pitää keskeisenä haasteena kansainväliseen huippuun yltävän t&k-toiminnan kehittämisen aloilla, jotka ovat kansantalouden, yhteiskunnan muun kehityksen ja kansalaisten hyvinvoinnin kannalta kaikkein tärkeimpiä. Päätöksessä tutkimus- ja innovaatiorahoituksen vaikuttavuuden parantaminen asetetaan tutkimusrahoittajien yhteistyön pääkriteeriksi. Suomen Akatemian ja Tekesin tehtäväksi asetetaan yleinen tutkimus- ja innovaatiotoiminnan vaikutusten arvioinnin kehittäminen. Molempien tulee selvittää yhteistyössä myös julkisen tutkimusjärjestelmän rakenteellisten kehittämistoimien vaikutukset.

Vuonna 2005 voimaan tullut uusi yliopistolaki määrittelee yliopistojen tehtäviksi toimia vuorovaikutuksessa muun yhteiskunnan kanssa sekä edistää tutkimustulosten ja taiteellisen toiminnan yhteiskunnallista vaikuttavuutta perinteisen vapaan tutkimuksen sekä koulutuksen ja kasvatuksen ohella. Tämä yliopistojen nk. kolmannen tehtävän myötä vaikuttavuuden arviointi tulee osaksi akateemista tutkimustoimintaa, millä on huomattava vaikutus myös Akatemiaan - suuntautuuhan yli 80 prosenttia Akatemian rahoituksesta yliopistoissa tehtävään tutkimukseen.

Perustutkimuksen vaikuttavuuden arvioinnista

Perustutkimuksen vaikuttavuuden arvioinnin vaikeuksiin kuuluvat vaikutuksen pitkäaikaisuus, välillisuus, monimutkai-

suus ja ennakoimattomuus. Keskeisiä haasteita ovat:

- Milloin perustutkimuksen vaikutukset tulisi arvioida? (Time lag)
- Mikä on varsinaisen tutkimustyön merkitys havaittujen vaikutusten kannalta? (Attribution)
- Ketkä kaikki hyötyvät rahoitetuista tutkimuksista? (Appropriability)
- Millaisten mekanismien ja prosessien tuloksena vaikutukset syntyvät? (Complexities)

Perustutkimuksen vaikutukset jaetaan usein tieteellisiin, teknologisetaloudellisiin, yhteiskunnallisiin, kulttuurisiin ja ympäristöllisiin. Eniten menetelmiä on kehitetty tieteellisen ja teknologisetaloudellisen vaikuttavuuden arvioinnissa.

Tieteellisten vaikutusten arviointi ja kehittäminen on yksi Akatemian perustehtävistä. Akatemian tärkein menetelmä on vertaisarviointi, jonka suorittavat kunkin tieteellisen alan asiantuntijat. Vertaisarviointia käytetään enimmäkseen tutkimuksen tieteellisen laadun ”ex ante”-arviointiin, mutta sitä voidaan käyttää myös tutkimuksen ja tutkimusrahoituksen muun (laajasti ottaen yhteiskunnallisen) vaikuttavuuden ”ex post”-arviointiin, jolloin sitä kutsutaan modifoiduksi vertaisarvioinniksi. Tällöin arviointipaneeli koostuu jäsenistä, joiden asiantuntemus ja kokemus mahdollistavat tutkimuksen tai tutkimusrahoituksen relevanssin ja arvon määrittelyn käyttäjien ja yhteiskunnan näkökulmasta.

Bibliometriset menetelmät ovat vakiinnuttaneet asemansa viimeisen kymmenen vuoden aikana perustutkimuk-

sen tieteellisen vaikuttavuuden arvioinnissa. Ne perustuvat julkaisutietojen käyttöön. Akatemia on käyttänyt näitä menetelmiä 1990-luvun lopulta lähtien Suomen tieteen tilan ja tason arviointiin. Näiden lisäksi Akatemia käyttää yhteiskunnallisen vaikuttavuuden arvioinnissa useita muita menetelmiä, kuten muun muassa tapaustutkimusmenetelmiä, survey-menetelmiä, tiede- ja teknologia-indikaattoreita sekä sosiaalisten verkostojen analyysiä.

Akatemia ja tutkimusrahoituksen vaikuttavuuden arviointi 2005-2006

Akatemian tekemien vaikuttavuusarviointien tavoitteena on tutkimus- ja innovaatiojärjestelmän kehittäminen sekä Akatemian oman toiminnan ja rahoitusinstrumenttien kehittäminen. Akatemia toimii aktiivisessa yhteistyössä erityisesti opetusministeriön kanssa tutkimusrahoituksen vaikuttavuusarviointiin sovellettavien menetelmien ja menettelytapojen kehittämiseksi. Akatemia vastaa kasvavaan tarpeeseen kehittää järjestelmä, joka ilmaisee Akatemian toiminnan tuloksellisuutta ja vaikuttavuutta yhteiskunnallisten hyötyjen kannalta.

Vaikuttavuusarvioinnin kehittämiseksi Akatemia toimii jo vakiintuneiden käytäntöjen pohjalta tiiviissä yhteistyössä tutkimus- ja innovaatiojärjestelmän muiden toimijoiden – erityisesti tutkimusrahoittajien, yliopistojen ja tutkimuslaitosten – kanssa. Lisäksi Akatemia jatkaa hyväksi osoittautunutta, Suomen tieteen tilaa ja tulevaisuutta kuvaavien arviointien laatimiskäytäntöä.

Akatemia asettaa oman toimintansa kehittämisen näkökulmasta perustavoitteeksi sen, että vaikuttavuusarviointi tulee entistä kiinteämmäksi osaksi organisaation toimintaa ja erityisesti eri rahoitusinstrumenttien käyttöä ja kehittä-

mistä. Tällöin arviointien tulokset pääsevät vaikuttamaan keskeisiin toimintoihin tehokkaammin kuin vain aika ajoin tehdyt ”ad hoc”-arviointit. Vahvistaessaan tutkimusrahoituksen vaikuttavuutta Akatemia yhdistää työssään jo toteutuneen kehityksen arvioinnin ja tulevaisuuden ennakoinnin.

Tämä julkaisu on osa SIGHT 2006-hanketta, joka selvittää monipuolisesti Suomen tieteen tilaa, tasoa ja vaikuttavuutta. Alla on luettelo kaikista SIGHT2006-julkaisuista.

SIGHT 2006 - Suomen tieteen tilaan, tasoon ja vaikuttavuuteen liittyvä arviointi- ja selvitystyö

Sivistystä ei voi tuoda - tutkijapuheenvuoroja kulttuurin ja yhteiskunnan tutkimuksen vaikuttavuudesta. Suomen Akatemian julkaisu 5/2006.

Suomen Akatemian rahoittama luonnontieteiden ja tekniikan alojen tutkimus: Arviointi hankkeiden vaikuttavuuksista. Suomen Akatemian julkaisu 6/2006.

Tutkimuksen vaikuttavuus biotieteiden ja ympäristön tutkimuksen aloilla. Suomen Akatemian julkaisu 7/2006.

Strategisella rahoituksella vaikuttavampaa tutkimusta? Kolme esimerkkiä terveyden tutkimuksen alalta. Suomen Akatemian julkaisu 8/2006.

Methods for Evaluating the Impact of Basic Research Funding: an Analysis of Recent International Evaluation Activity. Kanninen, S. & T. Lemola. Publications of the Academy of Finland 9/2006.

Akatemian tutkimusrahoituksen vaikuttavuus. Professori Jussi Huttusen johtaman riippumattoman ulkopuolisen paneelin arviointi. Suomen Akatemian julkaisu, elokuu 2006.

Suomen tieteen taso ja rakenne

Bibliometrinen analyysi Suomen tieteen rakenteesta, eri tutkimusalojen ja yksiköiden suhteellisesta tasosta ja tuloksellisuudesta sekä OECD-maiden tieteen bibliometrinen vertailu. Suomen Akatemian julkaisusarja, lokakuu 2006

Tutkimusjärjestelmätason vaikuttavuus

Indikaattorityö Suomen osaamisen tason ja suuntautumisen muutoksista. Suomen Akatemia ja Tekes. Vuoden 2006 loppu.

Ennakointi: FinnSight 2015

Selvittää Suomen tutkimus- ja innovaatiojärjestelmän toimintaympäristön asetamat haasteet, niistä avautuvat kehittämismahdollisuudet, tasoltaan ja vaikuttavuudeltaan lupaavat osaamisalueet sekä tarvittavat strategiset valinnat. Akatemian ja Tekesin yhteishanke toteutetaan 120 eri alojen asiantuntijoiden voimin kymmenessä paneelissa. Kaksi julkaisua kesäkuussa 2006 ja englanninkielinen julkaisu elokuussa 2006.

Pääjohtaja Raimo Väyrynen
Johtaja Paavo Löppönen

I JOHDANTO

Viiime vuosina akateemiselle tutkimukselle on monissa maissa asetettu kasvavia paineita aikaansaada tuotoksia maan teollisuuden ja yhteiskunnan hyväksi. Huolenaiheena Euroopassa on ollut, että korkea koulutus- ja tiedepohjaa ei ole pystytty täysimittaisesti hyödyntämään vahvaksi teknologiseksi ja taloudelliseksi kehitykseksi (Anon., 2005a)

Julkisilla varoilla tapahtuvan tutkimusrahoituksen vaikuttavuuden mittaamiselle ja raportoinnille on myös kasvava tarve. Tulosten osoittaminen ja toiminnan vaikuttavuudesta raportointi on kuitenkin erityisen haasteellista perustutkimusta rahoittaville organisaatioille. Tutkimuksen merkittävimmät vaikutukset välittyvät monimutkaisen vuorovaikutusverkon kautta laajalle yhteiskuntaan ja niiden luotettava mittaaminen on osoittautunut erittäin hankalaksi (Geisler, 2000). Lisäksi tulisi ottaa huomioon tiedon kumulatiivinen luonne: vaikka yksittäinen tutkimus ei tuottaisikaan mitään konkreettista, se voi luoda välttämättömiä edellytyksiä merkittävälle jatkotutkimuksille.

Tutkimustyön ja tieteen ensisijainen tulos on uusi tieto ja kasvava ymmärrys ympäröivästä todellisuudesta. Tieto on dokumentoitava ja se julkaistaan tyypillisesti alan vertaisarvioituissa aikakauslehtisarjoissa, konferenssijulkaisuissa tai muissa lehdissä, joskus myös patenttijulkaisuina. Tiedon kertyminen mahdollistaa uusien tuotteiden ja menetelmien kehittymisen ja niiden kautta tutkimuksen vaikutukset leviävät yhteiskunnassa. Tähän perustuen tieteellisten julkaisujen lukumäärä ja tiettyyn julkaisuun tehtyjen kirjallisuus- sekä patenttiviittausten määrä ovat olleet yleisesti hyväksytyjä bibliometrisiä indikaattoreita tieteellisen työn tehokkuuden ja vaikuttavuuden raportoisissa ja mittaamisissa. Akatemi-

an Suomen tieteen tila ja taso -julkaisut vuosilta 1997, 2000 ja 2003 tarkastelivat suomalaisen tieteen laatua ja vaikutuksia pitkälti juuri bibliometristen mittareiden pohjalta.

Suomen Akatemia pyrkii osaltaan toiminnallaan mm. siihen, että tutkimuksen tuloksia hyödynnetään laajasti koko yhteiskunnan hyväksi ja että Suomeen saataisiin luotua järjestelmä, jolla yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa syntyneet innovaatiot ja keksinnöt voitaisiin hyödyntää ripeästi. Rahoitushakemusten arviointikriteerinä käytetään tieteellisen laadun ja uutuusarvon rinnalla tutkimuksen merkitystä sovelluksille ja tulosten käyttäjille.

Tässä raportissa on pyritty analysoimaan Suomen Akatemian rahoittaman tutkimuksen tuloksellisuutta ja tuotoksia luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan toimialalla. Tutkimushankkeissa saavutettuja tuotoksia tarkastellaan paitsi tieteellisten myös taloudellisten ja muun yhteiskunnallisen vaikuttavuuden näkökulmasta. Tavoitteena oli selvittää, minkälaisiin tieteellisiin aikaansaannoksiin ja sovelluksiin hankkeissa on päästy, eritellä niihin vaikuttavia tekijöitä, tarkastella hankkeiden soveltavaa ja teollista merkitystä, teknologian siirtoa ja sen käyttöönottoa sekä Akatemian rahoituksen vaikutusta tutkimukselle ja innovaatiojärjestelmälle. Akatemian rahoituksen merkitystä havainnollistetaan myös muutamien esimerkitapausten kautta. Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan näkemyksiä toimialansa tulevasta kehityksestä sekä tarvittavista toimenpiteistä käsitellään luvussa 5 Johtopäätökset. Raportissa tieteen ja tutkimuksen keskeistä merkitystä rationaalisen maailmankuvan muodostamisessa ja ihmiskunnan sivistyksen tukijalkana on käsitelty vain lyhyesti.

2 MENETELMÄT JA AINEISTO

2.1 Tutkimusraportit

Akatemian rahoittamien tutkimushankkeiden tieteellisiä tuotoksia ja tieteen popularisointia tarkasteltiin tutkimusraporteissa esitetyn tiedon pohjalta. Hankkeiden vastuullisten johtajien tulee laatia hankkeestaan tutkimusraportti (liite 1) rahoituskauden päättymistä seuraavan vuoden kesäkuun puoleen väliin mennessä. Tarkasteltavana oli Suomen Akatemian luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan yleisen tutkimusmäärärahaan rahoituspäätökset vuosilta 1995-2000.

Aineistona oli yhteensä 355 tutkimusraporttia, joista tallennettiin tietoa Access-tietokantaan. Yhdessä tutkimusraportissa saatettiin raportoida useamman rahoituspäätöksen tuotoksista, koska aiemmin jatkorahoituspäätökset liitettiin alkuperäisen hankenumeron alle ja ennen vuotta 2003 päättyneistä hankkeista raportoitiin hankekohtaisesti eikä päätöskohtaisesti. Aineistossa on mukana 42 rahoituspäätöstä, jotka liittyivät aiemmin tehtyyn rahoitusmyöntöön. Tällaisissa tapauksissa tiedot tallennettiin ensimmäisen rahoituspäätöksen alle.

Julkaisujen osalta analysoitiin ainoastaan tutkimushankkeissa syntyneiden vertaisarvioitujen kansainvälisten aikakauslehtiartikkeleiden määrää. Näin olen esim. konferenssijulkaisut rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Tutkimushankkeessa syntyneeksi referoiduksi julkaisuksi hyväksyttiin vain sellaiset julkaisut, joissa kirjoittajalistasta löytyi hankkeessa palkattuna ollut tutkija. Vastavasti opinnäytetyöanalyysissä otettiin huomioon ainoastaan ne henkilöt, jotka olivat saaneet palkkaa hankkeesta ennen valmistumistaan.

2.2 Kyselytutkimus

Kyselytutkimuksella selvitettiin Akatemian rahoittamien tutkimushankkeiden taloudellisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia, tutkimuksen monitieteisyyttä ja tieteellistä merkitystä sekä hankkeessa toteutunutta kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä. Tarkasteltavaksi joukoksi valittiin vuosina 1997 ja 1998 yleistä tutkimusmäärärahaa saaneet elektroniikan ja sähkötekniikan, kone- ja valmistustekniikan, prosessi- ja materiaalitekniikan, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan ja tietojenkäsittelytieteiden tutkimushankkeet sekä tutkimusohjelmien Elektroniikan materiaalit ja mikrosysteemit (EMMA, 1999-2002) ja Tulevaisuuden kone- ja valmistustekniikka (TUKEVA, 2000-2003) hankkeet. Kyselyn toteutusketkellä tutkimushankkeiden rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin 1,5-5,5 vuotta.

Otoksessa oli mukana yhteensä 132 tutkimushanketta, joista toukokuun yleisen tutkimusmäärärahaan hankkeita oli 84 kpl, EMMA-hankkeita 30 kpl ja TUKEVA-hankkeita 18 kpl. Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin hankkeet, joiden vastuullinen johtaja oli kuollut. Kysely (liite 2) osoitettiin tutkimushankkeiden vastuullisille johtajille ja se toteutettiin kesällä 2005. Vastausprosentti oli 78%.

2.3 Akatemiatutkijoiden sijoittuminen

Akatemiatutkijoiden (aikaisemmin vanhempi tutkija) sijoittumista sekä heti virkakauden päättymisen jälkeen että yhdestä kymmeneen vuotta virkakauden päättymisen jälkeen selvitettiin sähköpostin välityksellä toteutetulla kyselyllä.

Kohderymänä oli luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimialalta vuosina 1990-1997 akatemiaturkijan virkaan nimitetyistä 66 henkilöstä ne, jotka olivat olleet virassa koko virkakautensa ajan. Heitä oli 43 kpl. Professuuriin nimitetyiltä kysyttiin lisäksi professuuriin nimittämisen ajankohta ja akatemiaturkijan viran merkitys professuurin saamisessa. Selvitys tehtiin kesällä 2003.

Akatemiaturkijoiden sijoittumista professuureihin selvitettiin lisäksi vuoden 2005 valtiokalenterista ja Akatemian hallintoyksiköstä saatujen tietojen pohjalta (tilanne marraskuussa 2005). Tarkastelussa olivat luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan vuosina 1995-2000 akatemiaturkijan viisivuotiseen virkaan nimittämät 81 henkilöä.

3 TULOKSET JA PÄÄTELMIÄ

3.1 Tieteelliset vaikutukset

Akatemian rahoittamien hankkeiden tieteellisiä vaikutuksia tarkasteltiin hankkeissa syntyneiden referoitujen julkaisujen ja opinnäytetöiden pohjalta käyttäen tutkimusraporteista saatua tietoa. Lisäksi tarkasteltiin hankkeissa saatujen tieteellisten tulosten merkittävyyttä sekä tiedeyhteisön ja tutkimusryhmän saamaa hyötyä kyselytutkimuksen (kuvattu luvussa 2.2) vastausten perusteella.

3.1.1 *Hankkeiden johtajien arvio tieteellisten tulosten merkittävyydestä*

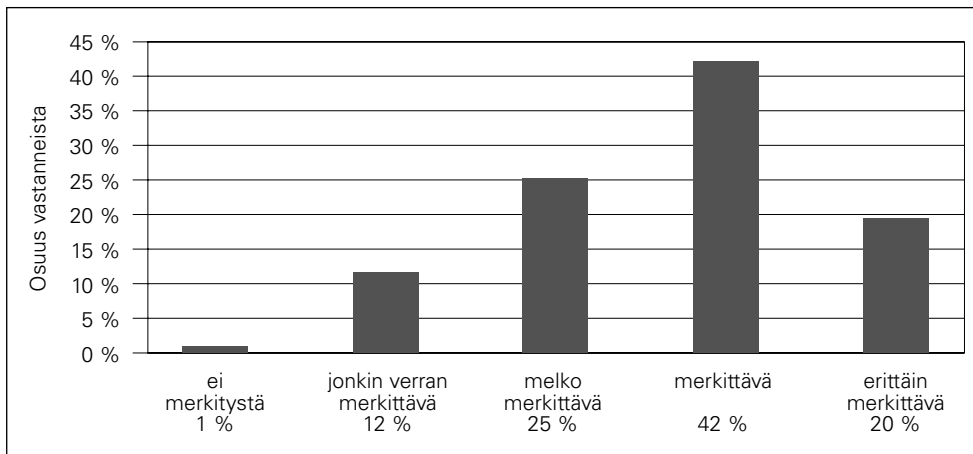
Vastuullisista johtajista runsaat 60 % oli sitä mieltä, että Suomen Akatemian rahoittaman hankkeen tieteellisten tulosten merkittävyys kansainvälisesti oli erittäin merkittävä tai merkittävä (kuva 1). Tieteelliset tuloksensa ”erittäin merkittäväksi” arvioineet perustelivat arvionsa useimmiten sillä, että hankkeessa oli oivallettu jokin tieteellisesti merkittävä asia tai kehitetty uusi menetelmä ensimmäisenä maailmassa. Toinen usein esitetty perustelu oli, että projektin tuotoksia oli julkaistu hyvin arvostetuissa tieteellisissä julkaisuissa kuten Science-lehdessä.

Tieteellisten tulosten arviointi ”merkittäväksi” tapahtui pitkälti samoin perustein kuin edellä, mutta monessa vastauksessa painotettiin tieteellisen läpimurron sijaan tutkimustiedon lisääntymistä alalla ja menetelmien kehittymistä oleellisella tavalla. Tulosten ilmoitettiin kasvattaneen tutkimusryhmän arvostusta alalla. Tieteelliset tulokset arvioitiin merkittäviksi myös sillä perusteella, että teollisuus oli kiinnostunut tuloksista tai oli jopa jo hyödyntänyt niitä. Eräs hankkeiden johtajista kiteytti ajatuksen vastauksessaan seuraavasti: ”*Hanke on tuottanut teollisesti hyödynnettyjä tuloksia. Se ei siis ole jäänyt pelkäksi paperiksi*”.

”Melko merkittäväksi” tieteelliset tulokset arvioitiin silloin, kun tutkimuksessa oli ollut kyse uuden tutkimussuunnan perusteiden rakentamisesta, jolloin tulokset olivat realisoituneet vasta myöhemmissä hankkeissa. ”Jonkin verran merkittäväksi” tutkimuksensa kokeneet perustelivat vastaustaan tyypillisesti sillä, että hanke jäi jostakin syystä keskeneräiseksi.

3.1.2 *Hankkeiden rooli tutkimusalan kehittymisen kannalta Suomessa*

Tutkimushankkeiden johtajista 73 % arvioi hankkeensa roolin tutkimusalan kehittymisen kannalta Suomessa erittäin

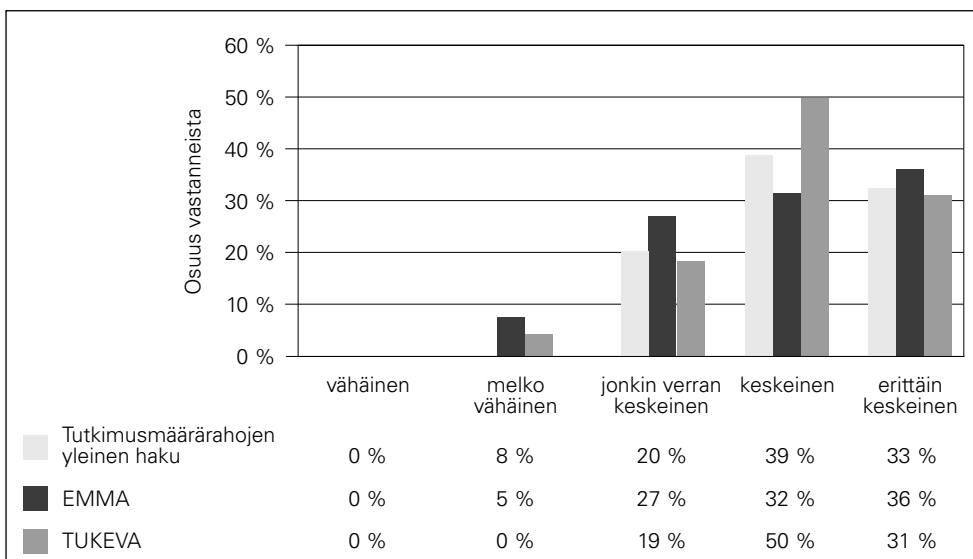


Kuva 1. Hankkeiden tieteellisten tulosten merkittävyys kansainvälisesti (Lähde: kyselytutkimus 2005).

keskeiseksi tai keskeiseksi. Tarkastelluista kokonaisuuksista Tulevaisuuden kone- ja valmistustekniikan tutkimusohjelmassa (TUKEVA) mukana olleiden hankkeiden johtajat näkivät hankkeensa keskimäärin merkittävämpinä (kuva 2). Peräti 81 % vastaajista piti hankkeensa roolia erittäin keskeisenä tai keskeisenä alan tutkimuksen kehittymisen kannalta Suomessa. Samoilla linjoilla oli myös oh-

jelman loppuarvioinnista vastannut asiantuntijaneeli, joka vuonna 2003 arvioi, että ohjelman päätavoite kone- ja valmistustekniikan yliopistollisten tutkimusympäristöjen kehittäminen alan tohtori- ja tutkijankoulutuksen lisäämiseksi saavutettiin erinomaisesti.

Monet tutkimushankkeen roolin ”erittäin keskeiseksi” arvioineista vastuullisista johtajista ilmoittivat hankkeen



Kuva 2. Hankkeen rooli tutkimusalan kehittymisen kannalta Suomessa (Lähde: kyselytutkimus 2005).

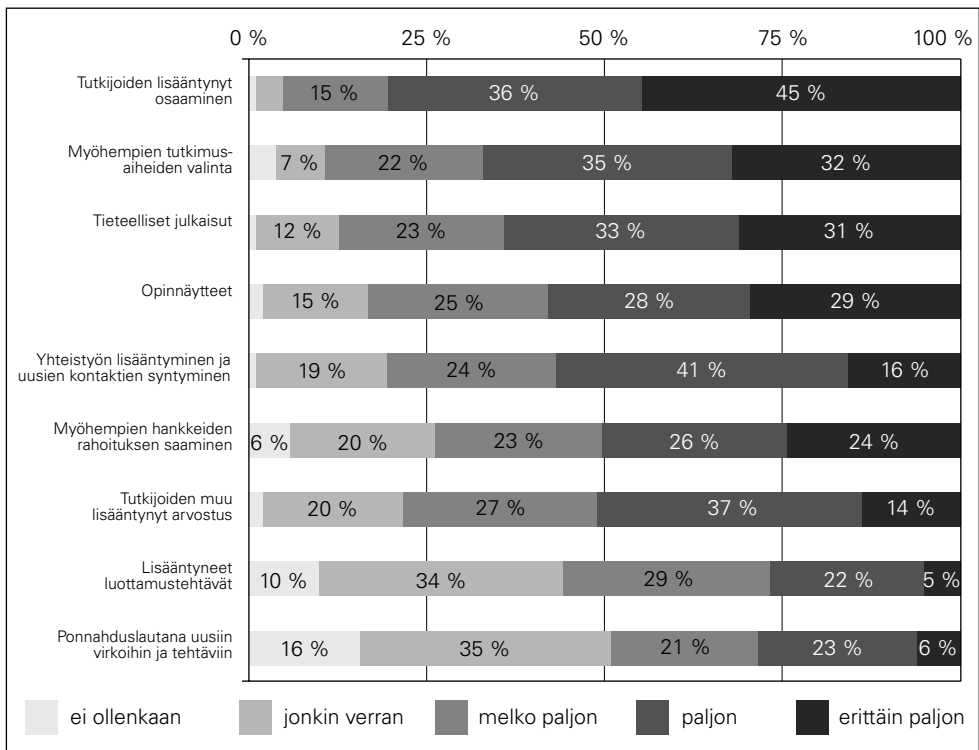
tulosten avanneen kokonaan uuden tutkimusalueen Suomessa. Erästä vastaajaa lainaten: ”Vastaavaa tutkimusta ei ole aiemmin tehty Suomessa. Nyt muutkin ryhmät ovat tulleet tutkimusalueelle”. Tehdyn teoreettispainotteisen tutkimuksen tärkeyttä teollisuuden kannalta ja sen jatkumista tuotekehitys- ja tuoteistamishankkeina korostettiin monissa vastauksissa.

Tutkimuksensa ”keskeiseksi” arvioineet painottivat perusteluissaan tyypillisesti tutkimustiedon lisääntymistä alalla sekä valmistustekniikan kehittymistä. Melko yleinen oli myös perustelu, jonka mukaan kyseessä oli ollut kokonaan uuden tutkimussuunnan avaus kansallisesti tai kansainvälisesti. Ohjelmahankkeiden johtajista muutamat näkivät keskeiseksi myös sen, että hankkeen seurauksena yhteistyö alalla lisääntyi, mikä puolestaan oli vienyt tutkimusta eteenpäin.

Hankkeensa roolin ”jonkin verran keskeiseksi” arvioineiden perustelut olivat moninaisia. Tyypillisin vastaus liittyi tutkimustiedon lisääntymiseen alalla tai uusien menetelmien luomiseen. Myös hankkeen rooli mm. Tekes- tai EU-jatkoprojektien pohjana ilmoitettiin muutamassa vastauksessa perusteluksi. Suurin osa ”melko vähäiseksi” hankkeensa roolin nähneistä ilmoitti syyksi sen, että tutkimuslinjaa ei syystä tai toisesta ole jatkettu.

3.1.3 Hankkeiden vaikutukset johtajan ja ryhmän muiden tutkijoiden kannalta

Akatemian rahoittamien hankkeiden merkitystä tutkimusryhmän jäsenten tieteelliselle uralle on havainnollistettu kuvassa 3. Selvästi tärkeimmäksi vaikutukseksi nousi hankkeen merkitys tutkijoiden lisääntyneen osaamisen kannalta,



Kuva 3. Tutkimusryhmän hyötyminen hankkeesta (Lähde: kyselytutkimus 2005).

mikä pitää sisällään sekä tutkimustietojen että -taitojen karttumisen. Erityisesti tutkimustaitojen merkitystä teknologialle ja teollisuudelle korostivat myös Patel ja Pavitt (1995). Tutkimusryhmän jäsenten tieteellisen uran edistämisen näkökulmasta tärkeinä nähtiin myös hankkeen merkitys myöhempien tutkimusaiheiden valinnan, tieteellisten julkaisujen, opinnäytetöiden sekä yhteistyön lisääntymisen ja uusien kontaktien syntyminen kannalta.

3.1.4 Hankkeissa syntyneet referoidut julkaisut

Taulukossa 1 on esitetty Akatemian rahoituksella syntyneiden vertaisarvioitujen kansainvälisten aikakauslehtiartikkelien määrä rahoitusvolyyymiin ja henkilötyövuosiin suhteutettuna luonnontieteiden ja tekniikan aloilla. Taulukon 1 luvut heijastavat selkeästi julkaisukäytäntöjen erilaisuutta tutkimusalasta riippuen. Eksakteissa luonnontieteissä tutkimustulokset julkaistaan tyypillisesti referoiduissa aikakauslehtisarjoissa, mikä näkyy fysiikan, matematiikan ja kemian

alan hankkeiden korkeina julkaisumäärinä. Teknisten tieteiden ja tietojenkäsittelytieteiden osalta luvut ovat selvästi alhaisempia johtuen siitä, että tutkimuksen julkaisufoorumina on pääsääntöisesti alan konferenssit. Keskimäärin hankkeissa syntyi 4,3 referoitua julkaisua.

Julkaisutehokkuuteen vaikutti myönteisesti hankkeessa tehty yhteistyö muiden kuin omaa tutkimusalaa edustavien tutkijoiden kanssa. Sen sijaan hankkeessa tehdyn yliopisto- ja tutkimuslaitosyhteistyön määrän ei havaittu korreloivan hankkeessa tuotettujen julkaisujen määrän kanssa.

Kuva 4 havainnollistaa Akatemian rahoittamien hankkeiden julkaisutehokkuuksien kehitystä hankkeiden päätösvuoden funktiona. Julkaisutehokkuus laskettiin rahoituspäätösvuosikohtaisesti kahdella tavalla: 1) tietynä vuonna päätettyjen hankkeiden tuottamien referoitujen julkaisujen yhteenlaskettu määrä jaettuna resurssien summalla, 2) tietynä vuonna päätettyjen hankkeiden hankekohtaisten julkaisutehokkuuksien medi-

Taulukko 1. Akatemian tutkimushankkeissa syntyneiden vertaisarvioitujen aikakauslehtiartikkelien määrä rahoitukseen suhteutettuna (Lähde: vuosina 1995-2000 päätettyjen tutkimushankkeiden tutkimusraportit).

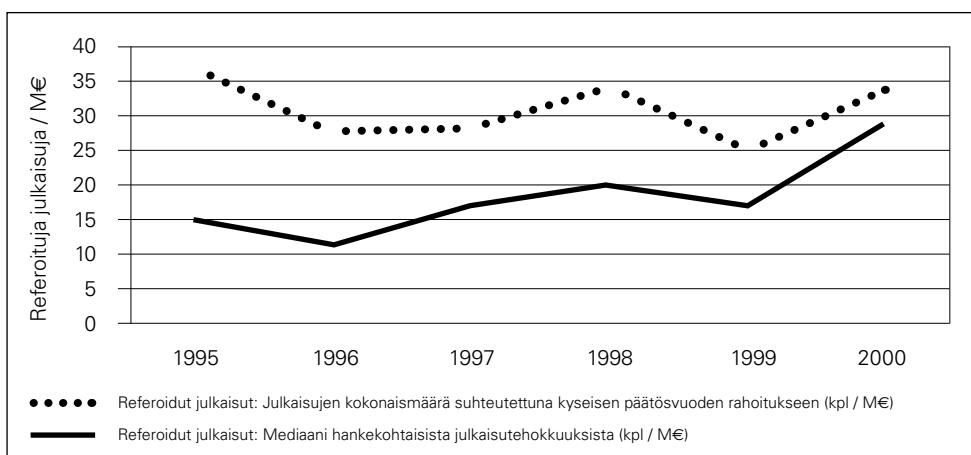
Tutkimusala	kpl / M€	kpl / 10 htv*
Arkkitehtuuri ja teollinen muotoilu	11	3
Avaruustieteet ja tähtitiede	36	13
Fysiikka	56	19
Geotieteet	26	9
Kemia	42	13
Kone- ja valmistustekniikka	5	2
Matematiikka	48	11
Prosessi- ja materiaalitekniikka	20	6
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka	12	4
Sähkötekniikka ja elektroniikka	22	7
Tietojenkäsittelytieteet	12	4
Kaikki tutkimusalat	31	10

* Hankkeiden keskimääräinen koko oli 137 000 € ja 4,3 henkilötyövuotta

sekä suuret että pienet hankkeet saavat tehokkuusluvussa saman painoarvon. Lisäksi mediaanin käyttäminen vähentää julkaisutehokkuudeltaan poikkeuksellisen korkeiden tai alhaisten hankkeiden vaikutusta tehokkuuslukuun. Ensin mainittu laskentatapa antaa selvästi korkeampia julkaisutehokkuuksia ja tehokkuudet ovat tarkasteluajankohtana keskimäärin noin 30 kpl/M€ ja 10 kpl /10 htv. Mediaanipohjaisten lukujen mukaan luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan vuosina 1995-2000 päättämässä hankkeissa syntyvien julkaisujen määrä suhteutettuna resursseihin on lähes kaksinkertaistunut ollen vuonna 2000 päätettyjen hankkeiden osalta vajaat 30 kpl/M€.

Akatemian rahoittamien hankkeiden julkaisutehokkuuksien vertailupohjaksi valittiin suomalaisten yliopistojen tieteellinen julkaisu-toiminta koulutusaloitain tarkasteltuna. Vertailuarvot laskettiin jakamalla koulutusalan tuottamien referoitujen ulkomaisten julkaisujen kokonaismäärä kyseisen koulutusalan saamalla kokonaisrahoituksella KOTA-tie-

tokannan tietojen pohjalta (Anon., 2005b). KOTA-tietokannan mukaan vuonna 2004 kansainvälisiä referoituja tieteellisiä julkaisuja tuotettiin luonnontieteellisellä koulutusosalalla 9,9 kpl/M€ ja teknistieteellisellä koulutusosalalla 3,7 kpl/M€. Kun lukuja verrataan taulukossa 1 esitettyihin julkaisutehokkuuksiin, nähdään Akatemian rahoittamien tutkimushankkeiden luonnontieteiden ja tekniikan aloilla tuottaneen selvästi tehokkaammin tieteellisiä julkaisuja rahoitukseen suhteutettuna kuin yliopistoissa tehtävä tutkimus keskimäärin. Tulos on odotetunlainen ottaen huomioon kova kilpailu Akatemian tutkimusrahoituksesta. Ero pienenee jonkin verran, kun otetaan huomioon, että yliopistojen kokonaisrahoituksella katetaan myös opetusvelvollisuudesta aiheutuvia kuluja. Eroja vertailuaineistoon voi aiheutua myös eri tarkasteluvuosista johtuen. Esimerkiksi vuonna 1996 KOTA-tietokannan mukaan julkaisutehokkuus luonnontieteellisellä koulutusosalalla oli 13,7 kpl/M€ ja teknistieteellisellä koulutusosalalla 3,3 kpl/M€.



Kuva 4. Referoitujen julkaisujen määrä suhteessa Suomen Akatemian rahoitukseen (Lähde: vuosina 1995-2000 päätettyjen tutkimushankkeiden tutkimusraportit). Vuodet ovat hankkeiden päätösvuosia ja päätösvuosien tehokkuusluvut on laskettu kahdella tavalla: 1) tietyn päätösvuoden hankkeissa syntyneet julkaisut jaettuna resurssien määrällä, 2) tietyn päätösvuoden hankekohtaisten julkaisutehokkuuksien mediaani.

3.1.5 Suomen Akatemian rahoituksella suoritettut tutkimukset

Tarkastelluissa tutkimushankkeissa suoritettujen tutkintojen määrät suhteutettuna Akatemian rahoituspanostuksiin käyvät ilmi taulukosta 2. Lähitulevaisuudessa valmistuviksi tohtoreiksi määriteltiin ne henkilöt, joiden hankkeen vastuullinen johtaja oli arvioinut valmistuvan raportointivuotta seuraavan vuoden aikana. Keskimäärin hankkeissa syntyi 0,5 tohtorintutkintoa, 0,3 lisensiaatintutkintoa ja 0,7 maisteritason tutkintoa. Syntyvien perustutkintojen määrä on yllättävän korkea, koska luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunta on viimeisen kymmenen vuoden ajan tukenut rahoituspäätöksillään erityisesti jatko-opintovaihetta.

Taulukko 2. Suomen Akatemian rahoituksella tutkimushankkeissa suoritettut tutkimukset luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen aloilla (Lähde: vuosina 1995-2000 päätettyjen tutkimushankkeiden tutkimusraportit).

Tutkinto	kpl / M€*
Tohtorintutkinto	4,0
Lähitulevaisuudessa valmistuvat tohtorit	3,0
Lisensiaatintutkimukset	1,9
Maisterin tai diplominsinöörin tutkimukset	4,8

* Hankkeiden keskimääräinen koko oli 137 000 €

Akatemian rahoittamien tutkimushankkeiden tutkintotehokkuutta voidaan verrata suomalaisissa yliopistoissa syntyviin tutkintomääriin koulutusaloit-

tain tarkasteltuna, kuten tehtiin julkaisujen osalta luvussa 3.1.2. Luonnontieteellisen ja teknistieteellisen koulutusalan tutkintotehokkuudet on esitetty taulukossa 3. Taulukoiden 2 ja 3 mukaan Akatemian rahoittamien hankkeiden tutkintotehokkuus erityisesti jatkotutkintojen osalta on huomattavasti korkeampi verrattuna yliopistojen keskimääräiseen tutkintotehokkuuteen. Tutkintotietoja verrattaessa on kuitenkin huomattava, että Akatemian hankkeissa raportoidaan ilmeisesti kokonaisina myös tutkintoja, jotka on vain osin tehty Akatemian hankkeessa ja siten vain osin Akatemian rahoituksella.

Akatemian korkeampaa tutkintotehokkuutta verrattuna yliopistojen keskimääräiseen tutkintotehokkuuteen selittää mm. kova kilpailu rahoituksesta, mikä takaa sen, että tutkimus toteutuu laadukkaassa ympäristössä ja että se pohjautuu huolellisesti mietittyyn ja selkeästi esitettyyn suunnitelmaan. Koska Akatemian rahoitus on tyypillisesti kolme- tai neljävuotista, se mahdollistaa pitkäjänteisen tutkimuksen tekemisen soveltuvin oin erinomaisesti jatkotutkimuksen suorittamiseen. Lisäksi toimikunta arvioi huolellisesti hakemuksissa palkattavaksi esitettävien/esityksien tutkijoiden ansio- ja julkaisu- ja julkaisu- ja julkaisu-

Taulukossa 4 on esitetty tutkintotehokkuus tutkimusaloittain Akatemian rahoittamissa hankkeissa luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan toimialalla. Eniten tohtorintutkintoja syntyi rakennus- ja yhdyskuntatekni-

Taulukko 3. Luonnontieteellisellä ja teknistieteellisellä koulutusaloilla suoritettut tutkimukset vuonna 2004 suhteutettuna panoksiin (Lähde: KOTA-tietokanta (Anon., 2005b)).

Koulutusala	Perustutkinto	Lisensiaatti	Tohtori
	kpl / M€		
Luonnontieteellinen	5,5	0,5	1,2
Teknistieteellinen	5,7	0,3	0,6

Taulukko 4. Hankkeissa syntyneet ja lähitulevaisuudessa valmistuvat tohtorintutkinnot (Lähde: vuosina 1995-2000 päätettyjen tutkimushankkeiden tutkimusraportit).

Tutkimusala	Tohtorintutkinto	Lähitulevaisuudessa valmistuvat tutkinnot
	kpl / M€*	
Arkkitehtuuri ja teollinen muotoilu	0	0
Avaruustieteet ja tähtitiede	3,6	0,7
Fysiikka	5,5	0,7
Geotieteet	4,1	1,6
Kemia	3,6	1,4
Kone- ja valmistustekniikka	1,8	2,1
Matematiikka	4,9	1,8
Prosessi- ja materiaalitekniikka	4,0	1,2
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka	6,8	0,9
Sähkötekniikka ja elektroniikka	3,4	0,9
Tietojenkäsittelytieteet	3,2	2,9
Kaikki tutkimusalat	4,0	3,0

* Hankkeiden keskimääräinen koko oli 137 000 €

kan hankkeissa, joita tutkintotehokkuudessa seurasivat fysiikan, matematiikan ja geotieteiden hankkeet. Tulokset ovat ainoastaan suuntaa antavia, koska otoksessa hankkeiden määrät vaihtelivat suuresti tutkimusalasta riippuen.

3.2 Tutkijoiden sijoittuminen

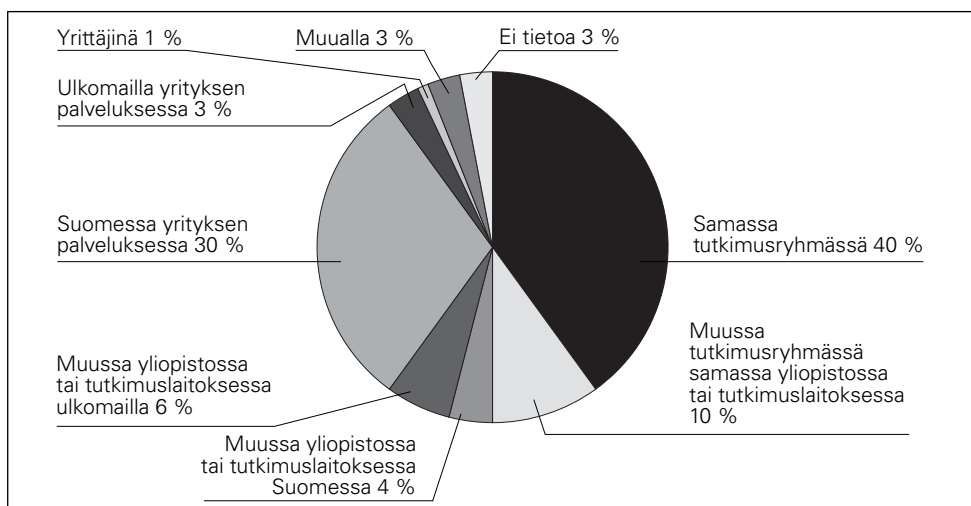
3.2.1 Tutkimushankkeet

Tarkastelluissa hankkeissa Suomen Akatemian rahoituksella työskennelleistä tutkijoista suurin osa eli 60 % työskenteli pääasiallisesti edelleen yliopistossa tai tutkimuslaitoksessa (kuva 5), kun hankkeen päättymisestä oli kulunut 1,5-5,5 vuotta. Heistä noin kaksi kolmesta oli edelleen samassa tutkimusryhmässä. Muut yliopistoissa tai tutkimuslaitoksissa työskennelleet olivat vaihtaneet tutkimusryhmää yliopiston tai tutkimuslaitoksen sisällä (10 % hankkeissa työskennelleistä tutkijoista), olivat siirtyneet muuhun kotimaiseen yliopistoon tai tutkimuslaitokseen (4 % tutkijoista) tai olivat siirtyneet ulkomaille yliopistoon tai tutkimuslaitokseen töihin (6 % tutkijoista).

Yksityiselle sektorille oli siirtynyt noin kolmasosa Suomen Akatemian rahoittamista tutkijoista (kuva 5). Heistä suurin osa työskenteli Suomessa yrityksen palveluksessa. Tutkijoiden siirtyminen teolliseen tutkimukseen on Dasguptan ja Davidin (1994) mukaan mahdollisesti kaikkein tärkein ja palkitsevin teknologian siirtomekanismi. Se tuo uusinta tutkimustaitoa ja -tietoa teollisuudelle, parantaa yhteistyöverkostoja sekä luo yhteyksiä yliopistojen tutkijoiden tutkimuksen suuntaamiseksi.

Yhteensä 3 % Akatemian rahoituksella työskennelleistä tutkijoista sijoittui ryhmään ”muualla”. He työskentelivät mm. eduskunnassa, opetustehtävissä, puolustusvoimissa, sairaalassa ja Suomen Akatemiassa. Kolmesta prosentista tutkijoita ei osattu sanoa, missä he nykyään työskentelevät.

Tutkimushankkeen yhteistyöverkosto ja sen rakenne eivät ohjanneet vahvasti tutkijoiden sijoittumista tutkimushankkeen päättymisen jälkeen. Ainoastaan kotimaisten yritysten kanssa hankkeessa tehty yhteistyö näytti vaikuttavan



Kuva 5. Tutkimushankkeissa Suomen Akatemian rahoituksella työskennelleiden tutkijoiden sijoittuminen (Lähde: kyselytutkimus 2005). Hankkeissa raportoituihin olleen palkattuna keskimäärin 3,9 henkilöä per hanke.

tutkijoiden sijoittumiseen yritysten palvelukseen Suomessa. Tämä tukee käsitystä ns. hiljaisen tiedon siirtymisestä yliopistoista ja tutkimuslaitoksista yrityksiin palkkaamalla osaajat hankkeen tulosten soveltamista varten, mihin eräs kyselyyn vastanneista johtajistakin viittasi.

3.2.2 Akatemiatutkijat

Enemmistö akatemiatutkijoista sijoittui akatemiatutkijan virkansa jälkeen yliopistojen virkoihin. Koko virkakauden virassa olleista vuosina 1990-1997 nimitetyistä akatemiatutkijoista noin 84 % (36 kpl) sijoittui kotimaisten yliopistojen virkoihin ja 7 % (3 kpl) ulkomaisten yliopistojen virkoihin heti akatemiatutkijan viran jälkeen. Heistä 11 siirtyi professoriksi ja 2 apulaisprofessoriksi, 8 henkilöä siirtyi hoitamaan professorin viransijaisuutta ja 18 yliopiston muita virkoja. Akatemiatutkijoita sijoittui myös valtion laitosten virkoihin (2 %), yksityiselle sektorille (2 %) ja muutama sai palkkarahoituksensa kansallisilta tutkimuksen rahoittajilta (5 %). Professoriksi kesken virkakauden oli nimitetty 23 akatemiatutkijaa eli 35 % vuosien 1990-

1997 akatemiatutkijoista.

Selvitysten mukaan liikkuvuus akatemiatutkijan viran jälkeen on ollut mallista. Vuosina 1990-1997 nimitetyistä akatemiatutkijoista 71 % työskenteli edelleen samassa organisaatiossa kuin akatemiatutkijan viran myöntöhetkellä ja 16 % oli vaihtanut yliopistoa, kun virkakauden päättymisestä oli kulunut yhdestä kymmeneen vuotta. Entisistä akatemiatutkijoista 8 % oli siirtynyt yksityiselle sektorille ja 5 % julkisiin laitoksiin. Useimmat julkisissa laitoksissa työskentelevistä olivat tutkimuslaitosten palkkalistoilla.

Vähäistä liikkumista selittää osaltaan se, että suuresta osasta akatemiatutkijoita tulee professoreita. Vuosina 1990-1997 nimitetyistä akatemiatutkijoista peräti 64 % oli sijoittunut professuuriin, kun viran päättymisestä oli kulunut yhdestä kymmeneen vuotta. Heidän mielestään akatemiatutkijan viralla oli ollut huomattava merkitys professuurin saamiseen. Akatemiatutkijan viran myötä tärkeinä mahdollistuneina asioina pidettiin mm. pitkäjänteistä tutkimustyötä, merkittävää tieteellistä tuotantoa, omaa päte-

vöitymistä sekä kansainvälisen verkoston rakentumisesta. Vuosina 1995-2000 akatemiaturkijien virkaan nimitetyistä vastaavasti noin joka toinen (49 %) eli 40 henkilöä toimi professorina marraskuussa 2005. Heistä neljä oli professorina ulkomailla: Japanissa, Kanadassa sekä Yhdysvalloissa kussakin yksi henkilö ja Ruotsissa apulaisprofessorina niin ikään yksi henkilö. Professorina toimivista vuosien 1995-2000 akatemiaturkijoista 67 % nimitettiin professuuriin kesken akatemiaturkijien virkakauttaan ja 33 % 0-4 vuotta viran päättymisen jälkeen.

3.3 Tutkimushankkeiden yhteistyö ja monitieteellisyys

Patel ja Pavitt (1995) pitivät ns. hiljaisena tietona leviäviä tutkijoiden verkostojen jäsenyyksiä yhtenä tieteen tärkeimmistä anneista teknologialle ja teollisuudelle. Rosenberg ja Nelson (1994) puolestaan painottivat, että mikäli akateemisen tutkimuksen on määrä edistää teollisia innovaatioita, niin yliopistojen ja teollisuuden välistä yhteistyötä on lisättävä. Heidän mukaansa lisääntyneet yhteydet yliopistojen ja yritysten välillä voivat hyödyttää molempia tahoja, kun kunnioitetaan työnjakoa ja annetaan yliopistotutkijoiden työskennellä pitkän tähtäimen asioiden eikä käytännön tuotekehitysongelmien parissa.

Tällä hetkellä vallitsee laaja yhteisymmärrys siitä, että tieteen edistyminen

ja tiedelähtöiset innovaatiot syntyvät tieteenalojen rajapinnoilla ja useamman tieteenalan yhteistyön tuloksena. Bruun *et al.* (2005) ovat tutkineet, missä määrin ja miten Suomen Akatemia on edistänyt tieteidenvälistä tutkimusta yleisessä tutkimusmäärärahaossa vuosina 1997, 2000 ja 2004. Tässä raportissa on tarkasteltu Akatemian rahoittaman tutkimuksen monitieteellisyttä sekä tutkimusaiheen että tutkimusyhteistyön näkökulmista luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen aloilla (ks. luku 2.2). Tässä yhteydessä monitieteisyydellä tarkoitetaan tutkimusta, jossa hyödynnetään kahden tai useamman eri tutkimusalan materiaalia, menetelmiä, käsitteitä tai teorioita.

3.3.1 Hankkeiden yhteistyötahot ja kansainvälinen yhteistyö

Suurimmassa osassa Akatemian rahoittamia hankkeita (88 %) tehtiin yhteistyötä kotimaisten ja/tai ulkomaisten yliopistojen, tutkimuslaitosten, yritysten tai muiden tahojen, kuten Maailmanpankin ja Energia-alan keskusliitto ry:n kanssa (Taulukko 5). Hankkeista 75 %:ssa tehtiin yhteistyötä jonkin kotimaisen tahon kanssa. Vastaavasti yhteistyötä ulkomaisen tahon kanssa oli tehty 48 %:ssa hankkeista. Merkittävin yhteistyötaho määrällisesti tarkasteltuna oli kotimaiset ja ulkomaiset yliopistot. Tutkimuslaitosten kanssa yhteistyötä teki reilu kolmasosa hankkeista. Yritysyhteistyötä ilmoitettiin tehdyn 37 %:ssa hankkeista.

Taulukko 5. Tutkimushankkeissa toteutunut yhteistyö (Lähde: kyselytutkimus 2005).

Yhteistyöorganisaatio	Kotimainen	Ulkomainen	Kotimainen tai ulkomainen
	Osuus hankkeista		
Yliopisto	50 %	42 %	72 %
Tutkimuslaitos	17 %	18 %	35 %
Yritys	34 %	8 %	37 %
Muu organisaatio	4 %	4 %	6 %
Kaikki organisaatiot	75 %	48 %	88 %

Kun yleisiä tutkimusmääräraha- ja tutkimusohjelmahankkeita tarkasteltiin omina kokonaisuuksinaan, tutkimusohjelmien hankkeet osoittautuivat yhteistyörakenteeltaan vahvasti kansallisiksi. Ohjelmahankkeista 81 %:ssa tehtiin yhteistyötä kotimaisten tahojen, erityisesti yliopistojen kanssa, kun ulkomaista yhteistyötä toteutui ainoastaan noin joka kolmannessa hankkeessa. Tutkimusmäärärahojen yleisen haun hankkeissa sekä ulkomaista yhteistyötä (55 %:ssa hankkeita) että yritys yhteistyötä (41 %:ssa hankkeita) tehtiin selvästi tutkimusohjelmahankkeita (vastaavat luvut 35 % ja 30 %) enemmän.

Akatemian rahoittamissa hankkeissa toteutunut kansainvälinen yhteistyö painottui voimakkaasti Eurooppaan (kuva 6). Yhteensä 66 % yhteistyöstä tapahtui eurooppalaisten, 20 % pohjoisamerikkalaisien ja 11 % aasialaisten organisaatioiden kanssa. Euroopassa yhteistyötä tehtiin niin yliopistojen, tutkimuslaitosten kuin yritystenkin kanssa. Muissa maanosissa yhteistyö tutkimusorganisaatioiden kanssa tapahtui lähes poikkeuksetta yliopistoissa työskentelevien tutkijoiden kanssa. Yritys yhteistyötä tehtiin eurooppalaisten yritysten lisäksi ainoastaan pohjoisamerikkalaisen elinkeinoelämän kanssa.

Maakohtainen tarkastelu tutkimusorganisaatioiden kanssa tehdyn yhteistyön määristä nostaa Yhdysvallat ja Iso-Britannian kärkipaikalle, Saksan, Ruotsin, Japanin ja Ranskan tullessa seuraavina. Yritys yhteistyötä oli puolestaan tehty amerikkalaisten, italialaisten, itävaltalaisien, kanadalaisten, ranskalaisten, ruotsalaisten, saksalaisten ja tanskalaisien yritysten kanssa. Kaiken kaikkiaan kansainvälistä yhteistyötä oli tehty 28 eri maan organisaatioiden kanssa.

Akatemian rahoittamien hankkeiden kansainvälisten yhteistyösidosien laatua tarkasteltiin yliopistoyhteistyön osalta vertaamalla hankkeiden johtajien ilmoittamia yliopistotahoja shanghai-laisen yliopiston tekemään maailman yliopistojen paremmuusjärjestykseen (Anon., 2005c). Vertailun tulokset on esitetty taulukossa 6. Hankkeissa toteutuneista yhteistyösidosista ulkomaisten yliopistojen kanssa 59 % oli sellaisten yliopistojen kanssa, jotka sijoittuvat listalla 300 parhaimman yliopiston joukkoon maailmassa. Sadan parhaimman yliopiston kanssa yhteistyötä oli tehty 17 %:ssa hankkeita.

3.3.2 Tutkimuksen monitieteellisyys

Tarkastelluista hankkeista 70 % oli tutkimukseltaan monitieteellistä.



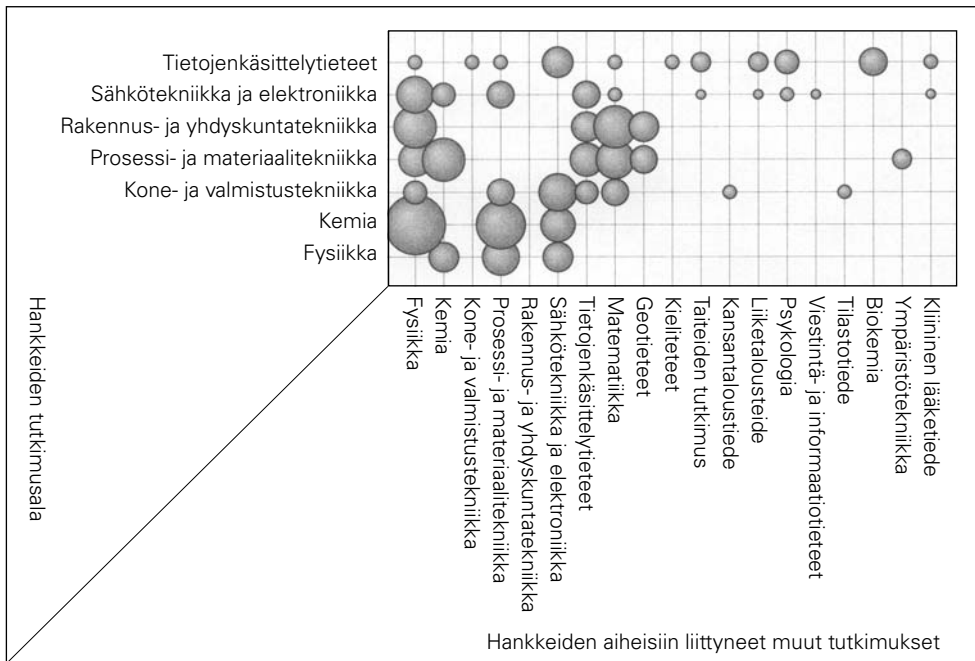
Kuva 6. Akatemian rahoittamissa hankkeissa toteutunut kansainvälinen yhteistyö maanosittain tarkasteltuna (Lähde: kyselytutkimus 2005).

Taulukko 6. Akatemian rahoittamissa hankkeissa toteutuneiden kansainvälisten yliopistoyhteistyösidososten laatu (Lähde: kyselytutkimus 2005 ja Anon., 2005c).

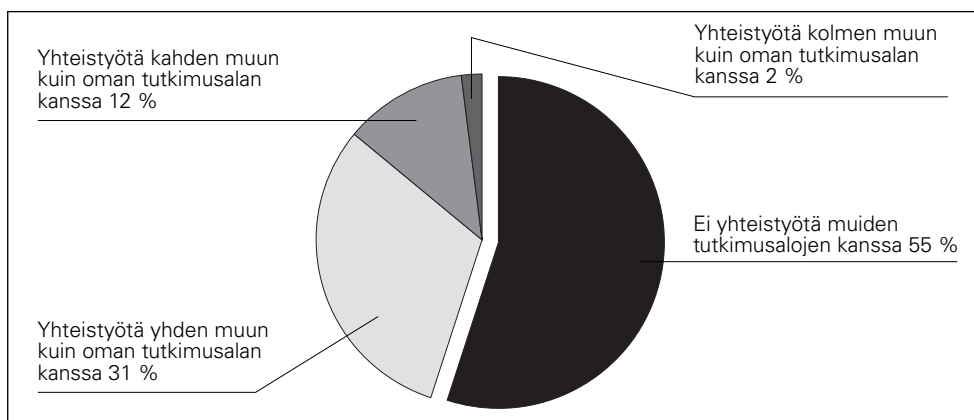
Ranking	Osuus kansainvälisistä yhteistyösuhteista	Osuus hankkeista
1–100	23 %	17 %
101–202	21 %	14 %
203–300	15 %	10 %
301–400	11 %	8 %
401–500	4 %	4 %
Ei listalla	26 %	18 %
Yhteensä	100 %	–

Kuva 7 havainnollistaa tiettyä tutkimusala edustavien hankkeiden liityntäpintoja muihin tutkimusaloihin. Hankkeiden johtajat ilmoittivat eniten liityntä-

pintoja fysiikan, prosessi- ja materiaali- tekniikan, sähkötekniikan ja elektroniikan, tietojenkäsittelytieteiden ja matematiikan alojen kanssa. Mainintoja saivat myös mm. biokemia, kielitieteet, liiketaloustiede, taiteiden tutkimus, psykologia ja kliininen lääketiede. Hankkeista 28 %:ssa hyödynnettiin kahden, 31 %:ssa kolmen, 9 %:ssa neljän ja 2 %:ssa viiden tutkimusalan materiaalia, menetelmiä, käsitteitä tai teorioita. Yhteistyötä muiden tutkimusalojen tutkijoiden kanssa tehtiin 45 %:ssa tarkasteltuja hankkeita (kuva 8). Yleisimmin yhteistyötä tehtiin yhtä muuta tutkimusala edustavien tutkijoiden kanssa. Maksimissaan yhteistyötä ilmoitettiin tehdyn kolmen muun alan tutkijoiden kanssa, mutta tällaisia hankkeita oli ainoastaan 2 % tarkastelluista hankkeista.



Kuva 7. Monitieteellisten tutkimushankkeiden liityntäpinnat muihin tutkimusaloihin (Lähde: kyselytutkimus 2005). Tutkimusalat ovat Akatemian tutkimusaluokituksen mukaisia. Siten "Biokemia" käsittää biokemian, molekyylibiologian, mikrobiologian, perinnöllisyystieteen sekä biotekniikan ja "Liiketaloustiede" liiketaloustieteen, talousmaantieteen ja tuotantotalouden. Ympyrän koko kuvaa kyseistä tutkimusala edustavien hankkeiden liityntöjen määrää tietyn tutkimusalan kanssa.



Kuva 8. Hankkeissa toteutunut tutkimusyhteistyö muiden kuin oman alan tutkijoiden kanssa (Lähde: kyselytutkimus 2005).

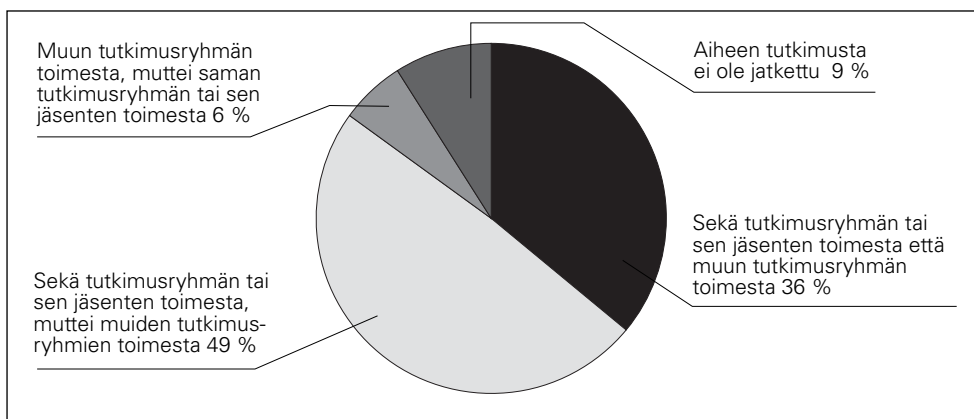
3.4 Tutkimuksen jatkuminen

Akatemian rahoituksen päättymisen jälkeen hankkeen aiheen tutkimusta oli jatkettu 91 %:ssa tarkasteltuja hankkeita (kuva 9). Hankkeiden johtajien tietämyksen mukaan 36 %:ssa hankkeita tutkimus jatkui sekä tutkimusryhmän tai sen jäsenten että jonkun muun tutkimusryhmän toimesta ja 49 %:ssa hankkeita tutkimusta oli jatkettu ainoastaan tutkimusryhmän tai sen jäsenten toimesta. Hankkeista 6 %:n osalta aiheen tutkimus jatkui pelkästään jonkun muun tutkimusryhmän toimesta.

Niiden hankkeiden osalta, joissa tutkimusta on jatkettu, tutkimusryhmän tai sen jäsenten käynnistämien jatkohankkeiden määrä oli keskimäärin 3,9 kpl, kun hankkeen päättymisestä oli kulunut n. 1,5-5,5 vuotta. Enimmillään jatkohankkeita oli käynnistetty peräti 20 kappaletta.

3.4.1 Jatkohankkeiden rahoitus

Akatemian rahoittamissa hankkeissa tehdyn tutkimuksen jatkumista tarkasteltiin luokittelemalla jatkotutkimus suuntaa antavasti luonteeltaan perustutkimukseksi, soveltavaksi tutkimukseksi tai ke-



Kuva 9. Akatemian rahoittamien hankkeiden aihealueiden tutkimuksen jatkuminen hankkeen päättymisen jälkeen (Lähde: kyselytutkimus 2005).

hitysprojehtiksi rahoituslähteen/-lähteiden perusteella seuraavasti:

1. Akatemian rahoitus, yliopistorahoitus, COST-rahoitus → perustutkimushanke
2. Tekesin tutkimusrahoitus, EU-rahoitus → soveltava tutkimushanke
3. Yritykseltä tuleva Tekesin tukema tilaustutkimus, yrityksen kokonaan rahoittama hanke, EUREKA-hanke → kehitysprojehti

Taulukossa 7 on esitetty, mikä osa hankkeista jatkui kunkin rahoituslähteen tukemana. Merkittävimmit kansalliset jatkohankkeiden rahoittajat olivat Tekes, Suomen Akademia, elinkeinoelämä sekä yliopistot. Taulukon 7 mukaan Akatemian rahoittamissa hankkeissa tehty tutkimus jatkui 59 %:ssa hankkeita perustutkimuksellisesta näkökulmasta. Kahdessa kolmasosassa hankkeita tutkimus jatkui soveltavaa tutkimusta tukevilla rahoituslähteillä. Hankkeiden aihealueilta oli kyselyn toteutushetkellä käynnissä myös yritysten tukemia kehitysprojehteja lähes 40 %:ssa hankkeita. Koska samoilla henkilöillä oli samalta aihealueelta jatko-

hankkeita käynnissä niin perustutkimuksellisesta kuin soveltavan tutkimuksen näkökulmasta, näyttäisi rinnakkaisia innovaatioprosesseja syntyvän julkisella rahoituksella tehokkaasti tekniikan aloilla.

Yhteensä 40 % vastaajista mainitsi tutkimuksen jatkuvan kansainvälisenä tutkimusyhteistyönä COST-, EU- tai EUREKA-projehtina tai jonkin muun kansainvälisen rahoituksen tuella. Kansainvälisistä jatkohankkeista joka viides oli ao. tutkimusryhmän koordinoima. Kansainvälisistä rahoituslähteistä EU:n rooli oli selvästi merkittävin.

3.4.2 Jatkohankkeiden yhteistyötahot

Akatemian rahoittamien hankkeiden johtajien ilmoittamista jatkohankkeiden yhteistyösidosista 52 % oli yliopiston, 33 % yritysten ja 12 % tutkimuslaitosten kanssa (taulukko 8).

3.5 Teolliset vaikutukset ja tulosten soveltaminen

Kirjallisuuden (Brooks, 1994; Martin *et al.*, 1996) mukaan perustutkimus edistää

Taulukko 7. Akatemian rahoittamien hankkeiden jatkuminen eri rahoituslähteiden tuella (Lähde: kyselytutkimus 2005). Prosenttiluku on niiden hankkeiden osuus, jonka tutkimus jatkuu kyseisen rahoituksen tuella. Mukana ovat kaikki hankkeet.

Perustutkimusta tukevalla rahoituksella	59 %
Suomen Akatemian rahoitus	51 %
Yliopiston rahoitus	33 %
COST-hanke	8 %
Soveltavaa tutkimusta tukevalla rahoituksella	66 %
Tekesin tutkimushanke	53 %
Euroopan unionin hanke	28 %
Kehitysprojehteja tukevalla rahoituksella	39 %
Tekesin tukema yritykseltä tuleva tilaustutkimus	21 %
Yrityksen / yritysten kokonaan rahoittama hanke	25 %
EUREKA-hanke	2 %
Muulla rahoituksella	31 %
Ministeriön tai säätön rahoittama hanke	16 %
Muu kansainvälisesti rahoitettu hanke	12 %
Muu rahoitus	9 %

Taulukko 8. Jatkohankkeiden yhteistyötahoista (Lähde: kyselytutkimus 2005).

Yhteistyöorganisaatio	Osuus yhteistyöstä		
	kotimaiset	ulkomaiset	yhteensä
Yliopistot	30 %	22 %	52 %
Tutkimuslaitokset	6 %	6 %	12 %
Yritykset	27 %	6 %	33 %
Muut tahot	3 %	0 %	3 %
Yhteensä	65 %	35 %	100 %

teknologiaa ja antaa taloudellista hyötyä hyvin monilla tavoilla, joista tärkeimmät ovat:

- uusi tieto, joka on teknologisten ideoiden lähde,
- uudet tutkimusvälineet ja työkalut sekä menetelmät ja laboratoriotekniikat, jotka mahdollisesti otetaan käyttöön myös teollisuudessa ja muilla tieteenaloilla,
- tutkimustaidot, jotka tutkijoiden siirtyessä leviävät teollisuuteen,
- pääsy asiantuntija- ja informaatioverkostoihin perustutkimukseen osallistumisen ansiosta,
- tietopohjan luominen teknologian laajempien sosiaalisten ja ekologisten vaikutusten arviointiin ja
- tietopohja, joka mahdollistaa tehokkaampia strategioita sovelletussa tutkimuksessa, tuotekehityksessä ja teknologioiden jalostamisessa.

Mansfield (1991) on puolestaan todennut, että akateemisen tutkimuksen anti teollisuuden innovaatioille on ollut merkittävä, ja että ilman viime aikaista tutkimusta merkittäviä hyötyjä olisi jäänyt kokematta.

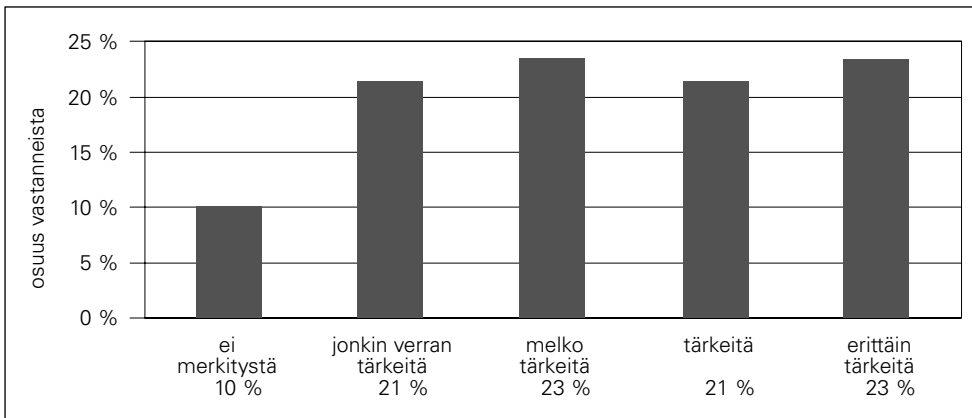
Tässä luvussa tarkastellaan Akatemian rahoittamissa hankkeissa saavutettujen tutkimustulosten teollista ja kaupallista hyödyntämistä, ja sitä kautta hankkeiden taloudellisia vaikutuksia hankkeiden johtajille osoitetun kyselyn (ks. luku 2.2) vastausten pohjalta. Kyselyyn osallistui hankkeita fysiikan, kemian, kone- ja valmistustekniikan, prosessi- ja mate-

riaalitekniikan, sähkötekniikan ja elektroniikan sekä tietojenkäsittelytieteiden aloilta. Patenttitietoa saatiin myös hankkeiden tutkimusraporteista.

3.5.1 Hankkeiden johtajien arvio tulosten tärkeydestä sovellusten kannalta

Akatemian rahoittamien tutkimushankkeiden johtajat olivat keskimäärin sitä mieltä, että hankkeissa saavutetut tulokset ovat olleet elinkeinoelämän kannalta melko tärkeitä (mediaani asetuu tähän ryhmään). Kuitenkin 45 % johtajista piti hankkeensa tuloksia erittäin tärkeinä tai tärkeinä alan teollisten sovellusten kannalta (kuva 10). ”Erittäin tärkeiksi” tulokset arvioitiin tyypillisimmin sillä perusteella, että hankkeen tulokset olivat jo teollisuuden hyödynnettävinä uuden tiedon, menetelmien, teknologian tai uusien alan osaajien muodossa. Myös perustan luominen uusille tuotteille, yritystoiminnalle tai teollisuusalalle Suomessa koettiin erittäin tärkeäksi elinkeinoelämän kannalta. Yksittäisissä vastauksissa viitattiin lisäksi mm. tutkimustiedon lisääntymiseen alalla, yrityksen tai yritysten perustamiseen ja patentoituihin keksintöihin.

”Tärkeiksi” tai ”melko tärkeiksi” hankkeiden tulokset arvioitiin pitkälti samoin perustein kuin edellä, kuitenkin sillä erotuksella, että monen hankkeen kohdalla tulosten teollinen hyödyntäminen oli vielä tuotekehitysvaiheessa, tai tuloksia suunniteltiin otettavaksi käyttöön yritysten tuotekehitysprojekteissa.



Kuva 10. Hankkeissa saavutettujen tulosten merkitys elinkeinoelämän (sovellusten) kannalta (Lähde: kyselytutkimus 2005).

Useaa vastausta perusteltiin myös sillä, että hankkeessa on syntynyt uutta tietoa, menetelmiä tai teknologiaa.

”Jonkin verran tärkeiksi” sovellusten kannalta nähtiin sellaiset perustutkimushankkeet, joiden tulokset eivät vielä olleet merkityksellisiä elinkeinoelämän kannalta, mutta joilla saattoi olla nähtävissä sovelluksia tulevaisuudessa: *”Tutkimus on ollut pääosin perustutkimusta, mutta siinä on hyvää potentiaalia korkean teknologian sovelluksiin ja pyrimme ilman muuta tähän tavoitteeseen pidemällä aikavälillä – hidas prosessi väistämättä”*. Myös tutkimuksen jatkuminen jatkohankkeen muodossa sekä hankkeessa syntyneen osaamisen siirtyminen tutkijoiden mukana teollisuuteen koettiin jonkin verran tärkeäksi muutamassa perustelussa. Hankkeen arvioiminen ”täysin merkityksettömäksi” sovellusten kannalta perustui tyypillisesti siihen, että tutkimus on ollut luonteeltaan sellaista, että teollisuus ei ole voinut hyödyntää tuloksia tai siihen, että tulosten teollinen hyödyntäminen ei vielä ole ajankohtaista.

3.5.2 Tulosten käytännön soveltaminen ja spin-off yritysten syntyminen

Hankkeiden johtajilta kysyttiin, onko hankkeessa saavutettuja tuloksia kauppal-

listettu tai teollisesti hyödynnetty tutkijoiden, yritysten tai jonkun muun tahon toimesta. Vastausten mukaan noin joka toisen hankkeen tuloksia (52 % hankkeista) on käytännössä sovellettu elinkeinoelämässä tai kaupallistettu, kun hankkeen rahoituksen käynnistymisestä oli kulunut noin 5–7,5 vuotta. Mansfieldin (1991) mukaan keskimääräinen viive akateemisen löydön ja siihen perustuvan innovaation kaupallistamisessa oli 7 vuotta. Vanhemmissa tutkimuksissa puhutaan merkittävästi pidemmistä hyödyntämisajoista. Esimerkiksi Illinois Institute of Technology Researchissä vuonna 1968 tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että kestää tyypillisesti 20–40 vuotta ennen kuin perustutkimuksen tulokset siirtyvät kaupallisiksi tuotteiksi (Anon, 1968). Tässä selvityksessä lähtöhetkeksi otettiin tutkimuksen käynnistäminen, eikä löydön tekeminen, jota Mansfield (1991) käytti laskelmiensa pohjana. Lisäksi ratkaisevaa ajan kannalta on tarkasteltavien innovaatioiden luonne: onko kysymyksessä vähäinen parannus vai uuden teknologisen järjestelmän alku sekä mahdollisuudet yksilöidä tarkasteltavan innovaation perusta johonkin tiettyyn tutkimukseen. Ilmeistä kuitenkin on, että innovaatioprosessi on huomattavasti nopeampi kuin muutamia vuosikymmeniä sitten.

Seuraavassa on esimerkkejä hankkeiden johtajien ilmoittamista tuotteista, prosesseista ja menetelmistä, joissa hankkeissa saatuja tuloksia on hyödynnetty (Lähde: kyselytutkimus 2005):

- sellun keitossa
- paperikoneiden ja työkoneiden kehitystyössä
- teräksen valssauksessa
- kaupallisessa laseretäisyysmittaustekniikassa, sykkeen mittaauksessa
- puolijohdeiden mittausten kehittämisen
- GSM-tukiasemien valvonnassa
- mobiililaitteiden videokoodaamisessa, videovalvontajärjestelmissä, elektroniikassa kuvanvakaimissa
- moniulotteisissa etenemiskanavaluotaimissa, matkapuhelinverkkojen suunnittelussa tarvittavissa etenemismalleissa sekä monielementtisten antennirakenteiden kehittämisessä
- matkapuhelimien ns. monitaajuisissa antennissa, joita tarvitaan useassa järjestelmässä (GSM 900/1800/1900, UMTS, DVB-H, WLAN jne.) toimivissa matkapuhelimeissa tai -viestintälaitteissa
- BF-panosmateriaalin kehityksessä: sintrauksessa, raudan valmistuksessa
- sähkökemiallis-kineettisen metallisulfidien liuotusmallin kehittämisessä. Mallin avulla voidaan ennustaa mallien liukenemistapahtumaa ja sen kautta suunnitella uusia liuotusprosesseja ja ohjata olemassa olevia liuotusprosesseja.
- masuunin kulumismallin kehittämisessä. Mallia sovelletaan nykyisin Suomen masuuneilla.
- teollisuussähköjärjestelmien ennakoivan kulunvalvonnan prosesseissa ja menetelmissä, sähköyhtiöiden liiketaloudellisessa kehittämisessä, sähköverkkoliiketoiminnan valvontamethodiikan kehittämisessä
- erilaisten tuotteiden sekä toimitus- ja

varastoerien automaattisessa tunnistamisessa

- uuden laaduntarkastuskonseptin luomisessa: paperipintojen tarkastus, puupintojen tarkastus jne.
- erilaisten koepengerten ja olemassa olevien kaivantojen ja tunneleiden käyttäytymisen jälkianalysoinnissa. Kyseessä on tarpeellinen esivaihe ennen mallien soveltamista käytännön suunnittelussa.
- rakennusten energiatehokkuusdirektiivin vaatiman virallisen energiakulutuksen laskentamenetelmän luomisessa
- puhesovellusten toteutuksessa hankkeessa kehitetyn arkkitehtuurin avulla. Konkreettisesti TKL:n liikennelaitoksen aikataulupalvelun puhekäyttöliittymässä sekä www-sivujen äänenlukusovelluksessa näkövammaisille.
- suoraikäytökoneissa ja niihin liittyvisä konejärjestelmissä
- tuulimyllyn voimansiirtokomponenttien laserpintakarkaisussa
- traktorin hyttiin/kuljettajaan kohdistuvien värähtelyjen vaimennuksessa

Liitteessä 3 on kuvattu yksityiskohdaisemmin viisi esimerkkitapausta Akatemian rahoittamista tutkimushankkeista, joiden tuloksia on kaupallistettu.

Akatemian rahoittamissa hankkeissa saavutettujen tutkimustulosten teollinen tai kaupallinen hyödyntäminen tapahtui useimmiten hankkeen yhteistyöyrityksen toimesta. Hankkeiden johtajista 7 % ilmoitti, että hankkeen tulosten hyödyntämistä varten oli syntynyt yritys (spin-off). Joka kymmenes vastaaja ilmaisi oheisyrittäjyyden perustamiseen olleen halua, tai että asiaa oli harkittu. Kiinnostus yrittäjyyttä kohtaan lienee ollut huomattavasti suurempi, koska peräti 40% vastaajista ilmoitti syitä sille, miksi yrityksen perustaminen ei ollut toteutunut.

Yleisin syy spin-off -yrityksen syntymättä jäämiselle oli liian aikainen ajan-

kohta sovelluksia ajatellen. Eräs vastaaja totesi myös, että markkinat eivät ole tarpeeksi kehittyneitä tulosten teolliselle soveltamiselle. Monessa vastauksessa todettiin, että oheisyrittäjien perustaminen ei ole ollut tarpeellista tai mielekästä, koska hankkeissa on ollut mukana yritys, joka on hoitanut tuotteistamisen. Eräs vastaaja kiteytti asian seuraavasti: ”*Asiaa tutkittiin, mutta yhteistyö olemassa olevien yritysten kanssa osoittautui järkevämmäksi*”. Muutamassa vastauksessa epäiltiin myös mahdollisen yrityksen menestymismahdollisuuksia Suomen suppeilla markkinoilla suurten yritysten dominoivissa. Yrityksen perustamisen todettiin myös vaativan liian suuria alkuinvestointeja tai suuren yrityksen voimavaroja. Tutkijoilta puuttui osaaminen liiketoiminnan aloittamiseen, vaikka halua siihen olisi ehkä ollutkin. Ennakoitua huonommat tutkimustulokset ilmoitettiin parissa vastauksessa syyksi sille, että oheisyrittäjä ei ole perustettu

3.5.3 Patentit ja keksinnöt

Patenttihakemuksia oli tutkimusraporttien mukaan jätetty 8 %:ssa Akatemian rahoittamia tutkimushankkeita, kun hankkeen rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin puoli vuotta. Keskimäärin patenttihakemuksia oli jätetty 2,4 kpl. Suurin osa patenttihakemuksista oli tehty Suomeen. Ulkomailla patenttihakemuksia oli jätetty eniten Yhdysvaltoihin ja Saksaan.

Suomen Akatemian rahoituksella syntyi keskimäärin 1,4 patenttihakemusta M€ kohden (taulukko 9). Selvästi eniten patenttihakemuksia suhteessa rahoitukseen syntyi sähkötekniikan ja elektroniikan alan hankkeissa, joiden osuus otoksessa oli noin 20 %. Myös fysiikan, geotieteiden ja kone- ja valmistustekniikan aloilla patentteja syntyi keskimäärin yli yksi patentti M€ Akatemian rahoitusta kohden.

Taulukko 9. Patenttihakemusten määrä suhteessa Suomen Akatemian rahoitukseen tutkimusaloittain (Lähde: vuosina 1995-2000 päätettyjen tutkimushankkeiden tutkimusraportit).

Tutkimusala	kpl / M€*
Arkkitehtuuri ja teollinen muotoilu	0
Avaruustieteet ja tähtitiede	0
Fysiikka	2,2
Geotieteet	1,4
Kemia	0,6
Kone- ja valmistustekniikka	1,2
Matematiikka	0
Prosessi- ja materiaalitekniikka	0,9
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka	0
Sähkötekniikka ja elektroniikka	3,3
Tietojenkäsittelytieteet	0,4
Kaikki tutkimusalat	1,4

* Hankkeiden keskimääräinen koko oli 137 000 €

Erillisellä kyselyllä selvitettiin lisäksi Akatemian rahoittamissa hankkeissa syntyneiden patentoitavien keksintöjen, patenttihakemusten ja patenttien määrää, kun rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin 1,5-5,5 vuotta. Selvityksessä oli mukana tutkimushankkeita fysiikan, kemian, kone- ja valmistustekniikan, prosessi- ja materiaalitekniikan, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan, sähkötekniikan ja elektroniikan sekä tietojenkäsittelytieteiden aloilta.

Patentoitavissa olevia keksintöjä ilmoitettiin syntyneen 16 %:ssa hankkeita (Taulukko 10). Noin joka kahdeksannesta tutkimushankkeesta oli tehty patenttihakemus. Patenttihakemuksia oli jätetty yhteensä 59 kpl, joista 20 oli hyväksytty ja 39 tapauksessa prosessi oli edelleen kesken. Keskimäärin patenttihakemuksia oli jätetty 0,6 kpl hanketta kohden.

Taulukko 10. Akatemian rahoittamien hankkeiden, joissa on syntynyt patentoitavissa olevia keksintöjä ja joissa on tehty patenttihakemus osuudet tutkimusaloittain (Lähde: kyselytutkimus 2005).

Tutkimusala	Osuus alan hankkeista	
	Patentoitavissa olevat keksinnöt	Keksinnöt, joille ei haettu patenttia
Fysiikka	14 %	0 %
Kemia	67 %	67 %
Kone- ja valmistustekniikka	10 %	5 %
Prosessi- ja materiaalitekniikka	10 %	10 %
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka	0 %	0 %
Sähkötekniikka ja elektroniikka	19 %	16 %
Tietojenkäsittelytieteet	16 %	11 %
Kaikki tutkimusalat	16 %	12 %

Patenttihakemuksista 27 % oli tehty Suomeen ja 24 % Yhdysvaltoihin (taulukko 11). Kaiken kaikkiaan patenttihakemuksia oli jätetty kahdeksaan eri maahan. Suomeen jätetyistä patenttihakemuksista oli kyselyhetkellä mennyt läpi yli 60 %. Vastaava luku Yhdysvaltojen osalta oli 50 %. Sen sijaan Japaniin jätettyjen patenttihakemusten käsittely oli kaikkien seitsemän patenttihakemuksen osalta edelleen kesken.

3.5.4 Teknologian siirtyminen

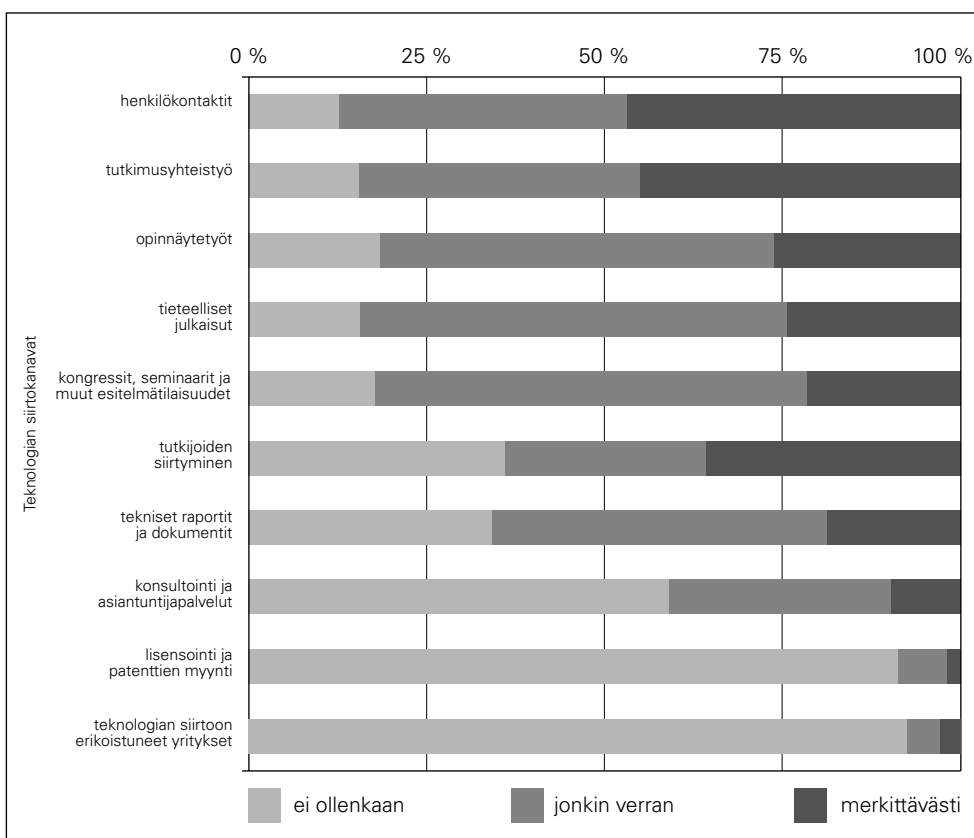
Hankkeiden johtajien käsityksiä hankkeessa kehitetyn teknologian eri siirtokanavien merkityksestä on esitetty kuvassa 11. Merkittävimmin teknologiaa arvioitiin siirtyneen teollisuuteen henkilökontaktien ja tutkimusyhteistyön kautta. Jopa 88 % vastanneista oli sitä mieltä, että teknologiaa on siirtynyt teollisuuteen henkilökontaktien kautta merkittävästi tai jonkin verran. Tutkimus-

Taulukko 11. Tehtyjen patenttihakemusten ja myönnettyjen patenttien suhteelliset osuudet maittain (Lähde: kyselytutkimus 2005).

Maa	Osuus hankkeista	
	Hakemukset	Myönnetty (30.6.2005)
Suomi	9 %	6 %
Ruotsi	2 %	1 %
Saksa	2 %	1 %
Iso-Britannia	1 %	0 %
Yhdysvallat	8 %	6 %
Japani	2 %	0 %
Kanada	2 %	0 %
Australia	1 %	1 %
EPC*	2 %	–
PCT**	3 %	–

* Eurooppapatenttihakemuksella voi saada patentin 30 Euroopan maahan. Eurooppapatentti ei ole ylikansallinen patentti, vaan nippu kansallisia patenteja. Siksi kun patentti on myönnetty, se on vielä saatettava voimaan nimetyissä maissa.

** PCT-hakemus perustuu kansainväliseen patenttihakujärjestelmään johon on tähän mennessä liittynyt yli 120 maata. PCT-hakemus ei johda patenttiin, mutta antaa option hakea myöhemmin useaan maahan.



Kuva 11. Kanavat, joiden kautta hankkeessa saavutettua teknologiaa on siirtynyt elinkeinoelämään (Lähde: kyselytutkimus 2005).

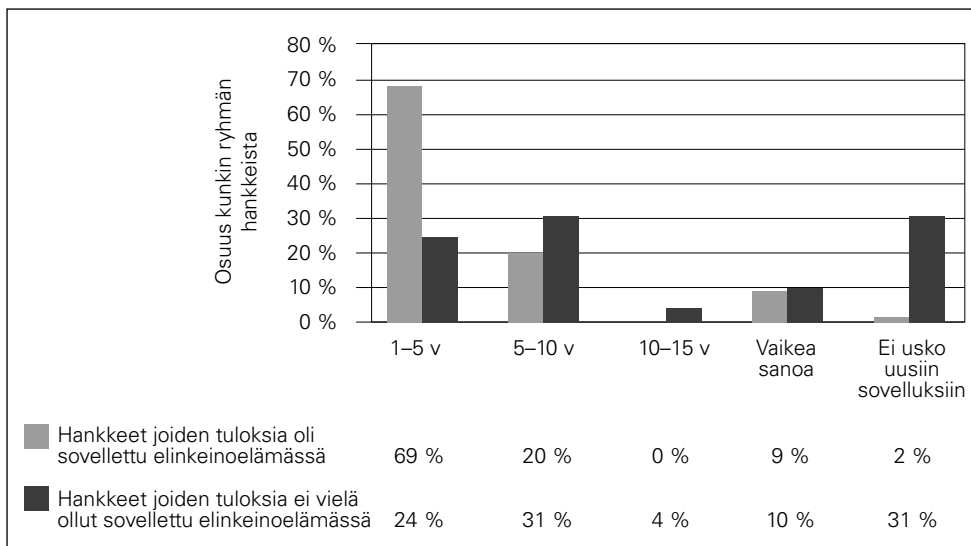
yhteistyötä teknologian siirron välineenä piti merkittävänä tai jonkin verran merkittävänä 84 % vastanneista. Yritysyhteistyötä oli tehty vajaassa 40 %:ssa tarkasteltuja hankkeita.

Opinnäytetöitä, tieteellisiä julkaisuja sekä kongresseja, seminaareja ja muita esitelmätilaisuuksia pidettiin myös jokseenkin merkittävänä kanavana. Faulknerin ja Senkerin (1995) mukaan julkaisut ja tekniset raportit toimivat teknologian siirron tukena silloin, kun varsinaisina siirtokanavana hyödynnettiin esim. henkilökontakteja sekä konkreettista tutkimus- ja kehitysyhteistyötä. Yllättävää oli, että hankkeiden johtajat antoivat tutkijoiden siirtymiselle yrityksiin vasta kuudenneksi suurimman merkityksen. Kuitenkin 34 %:ssa hankkeita tutkimus-

ryhmän tutkijoita oli siirtynyt yrityksiin tai yrittäjiksi.

3.5.5 Hankkeiden johtajien arviot tulosten sovellettavuudesta tulevaisuudessa

Kuten luvussa 3.5.2. todettiin, Akatemian rahoittamissa hankkeissa saatuja tutkimustuloksia oli käytännössä sovellettu teollisuudessa tai kaupallistettu 52 %:ssa hankkeita, kun rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin 1,5-5,5 vuotta. Hankkeen johtajilta kysyttiin lisäksi, uskoivatko he, että elinkeinoelämässä tullaan vielä hyödyntämään hankkeen tuloksia sekä arvioimaan millä aikavälillä tämä todennäköisimmin tapahtuisi. Yhteenvedo vastauksista on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Aikaväli, jolla hankkeiden johtajat uskovat hankkeen tulosten uusiin sovelluksiin elinkeinoelämässä. Asiaa on tarkasteltu erikseen niiden hankkeiden osalta, joissa tulosten hyödyntämistä on jo tapahtunut ja niiden hankkeiden osalta, joissa hyödyntämistä ei vielä ole tapahtunut.

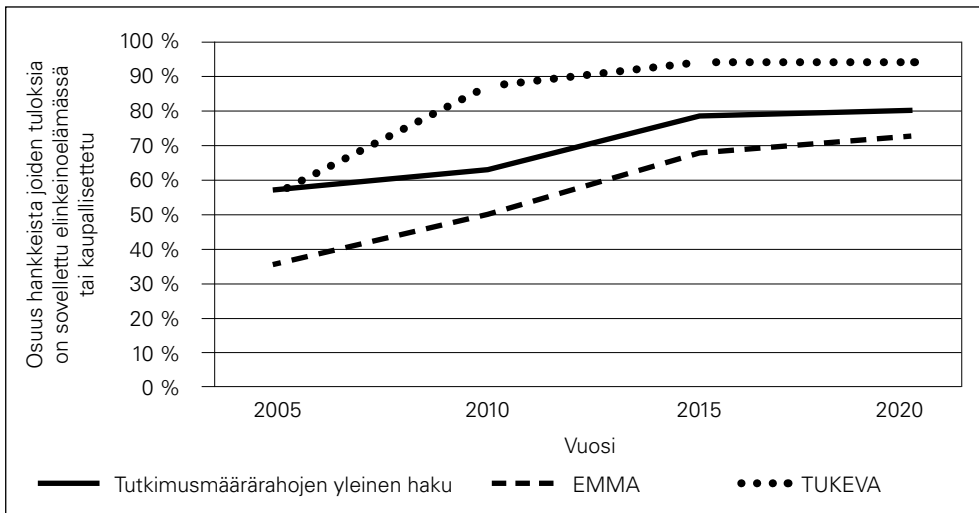
Kuvassa 12 esitettyjen tulosten perusteella hankkeiden, joiden tuloksia oli jo hyödynnetty, johtajista peräti 89 % uskoi tutkimustulosten uusiin sovelluksiin elinkeinoelämässä seuraavan 1-10 vuoden aikana. Kun puolestaan tarkastellaan sellaisia hankkeita, joiden tuloksia ei vielä ollut hyödynnetty, niiden johtajista 55 % arvioi tutkimuksensa tuloksia hyödynnettävän lähimmän kymmenen vuoden aikana. Hankkeiden johtajista kaiken kaikkiaan ainoastaan 15 % ei uskonut tuloksia sovellettavan elinkeinoelämässä. Lisäksi 5 % vastaajista ei osannut arvioida, tullaanko tuloksia koskaan hyödyntämään käytännön tasolla.

Kuvassa 13 on esitetty hankkeiden johtajien kumulatiivinen arvio hankkeen tulosten hyödyntämisestä elinkeinoelämässä ajan funktiona. Kuvasta 13 nähdään, että Tulevaisuuden kone- ja valmistustekniikan tutkimusohjelmassa mukana olleiden hankkeiden hyödyntämisen odotusarvo oli selvästi korkein. TUKEVA-hankkeiden johtajat uskoivat,

että yli 90 %:ssa hankkeita elinkeinoelämä on hyödyntänyt tutkimustuloksia lähimmän 5 vuoden aikana.

3.6 Yhteiskunnallinen muu vaikuttavuus

Perustutkimuksen annista ja merkityksestä yhteiskunnalle on esitetty erilaisia ja osin ristiriitaisia näkemyksiä ja tuloksia. Aikaisemmin perustutkimuksen merkitystä tarkasteltaessa keskityttiin pääsääntöisesti uuteen tietoon ja unohdettiin muut hyödyt, jotka todellisuudessa voivat olla paljon merkityksellisempiä (ks. luvut 3.1.3. ja 3.5). Mm. Mansfield (1991), Martin *et al.* (1996) sekä Williams ja Rank (1998) ovat tarkastelleet perustutkimuksen hyöty/kustannussuhdetta ja saadut tulokset ovat olleet vaihtelevia. Akateemisen tutkimuksen yhteiskunnallisia hyötyjä tarkastelevissa tutkimuksissa on päästy jopa hyöty/kustannussuhteeseen 15:1 (Williams ja Rank, 1998). Griliches (1995)



Kuva 13. Hankkeiden johtajien arvioiden perusteella laskettu kumulatiivinen osuus hankkeista, joiden tuloksia uskotaan hyödynnetyn elinkeinoelämässä. Vuoden 2005 luvut ovat toteutuksia ja muiden vuosien luvut arvioita.

toteaakin, että persustutkimukseen investoidaan mahdollisesti liian vähän ottaen huomioon sen suuret hyödyt.

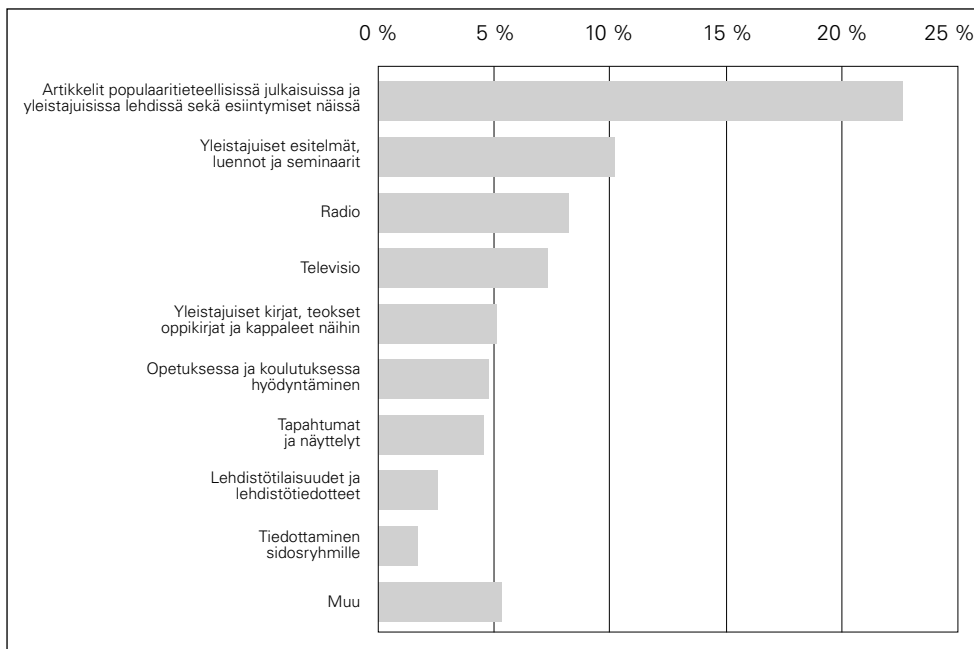
Tieteellä ja tutkimuksella on tärkeä vaikutus rationaalisen maailmankuvan muodostamisessa ja ihmiskunnan sivistyksen tukijalkana. Seuraavassa on tarkasteltu tutkimusraporteista saadun tiedon pohjalta Akatemian rahoittamissa hankkeissa saaduista tuloksista tiedottamista tiedeyhteisön ulkopuolelle sekä hankkeiden vastuullisten johtajien näkemyksiä hankkeen yhteiskunnallisista vaikutuksista kyselytutkimuksella saadun tiedon mukaan.

3.6.1 Tieteen popularisointi

Tutkimusraporttien mukaan 37 %:ssa Akatemian rahoittamia hankkeita hankkeesta ja sen tuloksista oli tiedotettu tiedeyhteisön ulkopuolelle. Kuvassa 14 on esitetty eri tiedotuskanavien merkitys tieteen popularisoinnissa. Yleisimpänä kanavana tulosten yleistajuisessa tiedottamisessa olivat populaaritieteelliset julkaisut sekä yleistajuiset lehdet.

3.6.2 Muu yhteiskunnallinen vaikuttavuus

Monet kyselytutkimukseen osallistuneista hankkeiden johtajista kuvasivat hankkeen ”muuksi yhteiskunnalliseksi vaikuttavuudeksi” tieteellisten tulosten positiivista vaikutusta Suomen talouteen, etenkin suomalaisten yritysten kilpailukykyyn. Akatemian rahoittamien hankkeiden tuloksena syntynyt uusi tieto oli siirtynyt yrityksiin synnyttäen parempia ja kansainvälisesti kilpailukykyisempiä tuotteita monilla eri teollisuuden aloilla; mm. erään johtajan mukaan ”*uusi valmistustekniikka ja uudet rakenteet mahdollistavat laivanrakennusteollisuuden kilpailukykyyn merkittävän parantamisen*”. Nimeltä mainittuja muita teollisuudenaloja olivat betoni-, elektroniikka-, matkapuhelin- ja ohjelmistoteollisuus, paperi- ja paperikoneteollisuus sekä liikkuvat työkoneet ja niiden oheislaitteet. Yritysten kilpailukykyyn vahvistuminen hankkeen seurauksena todettiin tapahtuneen paitsi lisääntyneen tiedon, myös koulutettujen tutkijoiden muodossa: ”...*jatkokouluttanut useita tohtoreita, joista kolme on tällä hetkellä teollisuudessa*



Kuva 14. Tiedotuskanavat, joiden kautta hankkeissa syntyneistä tuloksista on tiedotettu tiedeyhteisön ulkopuolelle. Luvut ovat osuuksia hankkeista, jotka ovat popularisoineet tiedettä kyseisen kanavan välityksellä.

merkittävässä asemassa”. Vastauksissa korostettiin myös työpaikkojen säilymistä yrityksen kasvaneen kilpailukyvyyn seurauksena. Myös ekologiset ja luonnonsuojelulliset näkökohdat nousivat esiin tiedusteltaessa hankkeiden muuta yhteiskunnallista vaikuttavuutta. Tutkimustietoa oli mm. käytetty jätteiden hyötykäyttöprojekteissa, teräksenvalmistusprosesseja oli kehitetty suuntaan, joka saattaa tulevaisuudessa vähentää hiilidioksidipäästöjä, oli kehitetty vähemmän energiaa kuluttavia työkoneita ja yksi tutkimuskohteista oli ekologinen

ja ympäristöystävällinen tulevaisuuden energialähde (polttokennot). Yksittäisissä tapauksissa hankkeet olivat vaikuttaneet yhteiskuntaan monin eri tavoin. Erään hankkeen jatkohankkeissa oli *”tuotettu yhteistyössä erilaisten vammaisorganisaatioiden (kuurot, näkövammaiset) kanssa vammaisille tarkoitettuja palveluja”* ja toisessa hankkeessa *”luotu konsepti on osaltaan edistänyt ajatusta, että oppiminen ja tiedon muodostus tapahtuu tehokkaimmin työ- ja tuotantoprosessien ääressä, eikä siitä irrallisena”*.

4 YHTEENVETO

Suomen Akatemian luonnontieteiden ja tekniikan aloilla rahoittamat hankkeet ovat tuottaneet keskimäärin muuta akateemista tutkimusta tehokkaammin tieteellisiä julkaisuja ja etenkin tohtorintutkintoja suhteessa rahoitukseen. Eri tutkimusalojen väliset tehokkuuserot olivat huomattavia johtuen muun muassa alojen erilaisista julkaisukäytännöistä sekä tutkimustraditioista. Julkaisutehokkuuteen vaikutti myönteisesti hankkeessa tehty yhteistyö muiden kuin omaa tutkimusalaa edustavien tutkijoiden kanssa. Sen sijaan hankkeessa tehdyn yhteistyön määrä ei korreloinut hankkeessa tuotettujen julkaisujen määrän kanssa. Miljoonalla eurolla Akatemian rahoitusta syntyi keskimäärin 31 kansainvälistä vertaisarvioitua aikakauslehtiartikkelia, 4,0 tohtorintutkintoa, 1,9 lisensiaatintutkintoa ja 4,8 maisteritason tutkintoa.

Hankkeensa roolin tutkimusalan kehittymisen kannalta Suomessa erittäin keskeiseksi tai keskeiseksi arvioi 73 % tutkimushankkeiden johtajista. Erityisen merkittäväksi hankkeen rooli tutkimusalan kehittymisen kannalta nähtiin aloilla, joilla ei ole pitkiä tutkimusperinteitä, kuten kone- ja valmistustekniikan ja rakennus- ja yhdyskuntatekniikan aloilla. Hankkeen tieteelliset tulokset erittäin merkittäviksi tai merkittäviksi arvioi runsaat 60 % hankkeiden johtajista. Arvio perustui siihen, että hankkeessa oli oivallettu jokin tieteellisesti merkittävä asia, kehitetty uusi menetelmä ensimmäisenä maailmassa, julkaistu projektin tuloksia hyvin arvostetuissa tieteellisissä julkaisuissa, tai että teollisuus oli kiinnostunut tuloksista tai jo hyödyntänyt niitä.

Hankkeiden johtajat arvioivat tutkimusryhmän tutkijoiden tieteellisen uran

edistyneen merkittävästi hankkeen ansiosta erityisesti tutkijoiden lisääntyneen osaamisen kautta. Tutkimusryhmälle hankkeilla on ollut suuri merkitys myös mm. myöhempien tutkimusaiheiden valinnan, yhteistyön lisääntymisen ja uusien kontaktien syntyminen, myöhempien hankkeiden rahoituksen saamisen sekä tutkijoiden muun lisääntyneen arvostuksen kannalta.

Tarkastelluissa hankkeissa Suomen Akatemian rahoituksella työskennelleiden tutkijoiden liikkuvuus on ollut melko vähäistä. Suurin osa (60 %) työskenteli edelleen yliopistoissa tai tutkimuslaitoksissa, kun hankkeen päättymisestä oli kulunut 1,5-5,5 vuotta. Heistä peräti kaksi kolmesta työskenteli edelleen samassa tutkimusryhmässä. Yrityksiin oli siirtynyt 34 % Akatemian rahoituksella työskennelleistä tutkijoista. Hankkeista, joissa oli tehty yritys yhteistyötä, sijoituttiin enemmän yritysten palvelukseen Suomessa verrattuna hankkeisiin, joissa ei esiintynyt yritys yhteistyötä.

Akatemiatutkijoiden sektorien välinen liikkuvuus oli maltillisempaa projektitutkijoiden liikkuvuuteen verrattuna. Tämä on luonnollista ottaen huomioon, että suuri osa akatemiatutkijoista panostaa akateemisen uran rakentamiseen ja sijoittuu professuureihin. Tarkastelluista entisistä akatemiatutkijoista 87 % työskenteli yliopistoissa, kun viran päättymisestä oli kulunut yhdestä kymmeneen vuoteen. Yksityiselle sektorille oli siirtynyt ainoastaan 8 % akatemiatutkijoista.

Hankkeissa tehtiin monipuolista kansallista ja kansainvälistä tutkimusyhteistyötä yliopistojen, tutkimuslaitosten, yritysten ja muiden tahojen kanssa. Kotimaisen organisaation kanssa yhteistyö-

tä tehtiin kolmessa hankkeessa neljästä ja ulkomaisen tahon kanssa yhteistyötä oli noin joka toisessa hankkeessa. Hankkeen johtajat ilmoittivat yritys yhteistyötä tehdyn 37 %:ssa hankkeita. Kansainvälinen yhteistyö oli hyvin Eurooppa-painotteista. Maittain tarkasteltuna yhteistyötä tehtiin eniten Yhdysvaltojen ja Iso-Britannian kanssa.

Tutkimusohjelmien hankkeet olivat yhteistyörakenteeltaan vahvasti kansallisia. Niissä sekä yritys yhteistyötä että kansainvälistä yhteistyötä tehtiin selvästi vähemmän kuin tutkimusmäärärahojen yleisen haun hankkeissa.

Vaikuttaa siltä, että Akatemian rahoittama tutkimus on suurelta osin monitieteellistä. Tarkastelluista hankkeista 70 % oli tutkimukseltaan monitieteellistä. Hankkeista 28 %:ssa hyödynnettiin kahden, 31 %:ssa kolmen, 9 %:ssa neljän ja 2 %:ssa viiden tutkimusalan materiaalia, menetelmiä, käsitteitä tai teorioita. Yhteistyötä muiden kuin omaa tutkimus alaa edustavien tutkijoiden kanssa tehtiin 45 %:ssa tarkasteltuja hankkeita. Yleisimmin yhteistyötä tehtiin yhtä muuta tutkimus alaa edustavien tutkijoiden kanssa.

Aiheen tutkimus jatkui suuressa osassa (91 %) tarkasteltuja hankkeita Akatemian rahoituksen päättymisen jälkeen. Peräti 66 % hankkeista jatkui soveltavaa tutkimusta tukevilla rahoituslähteillä, kun perustutkimuksellisesta näkökulmasta jatkui 59 % hankkeista. Yritysten tukemina kehitysprojekteina jatkui lähes 40 % hankkeista. Rinnakkaisia innovaatioketjuja näyttäisi teknistieteellisillä aloilla syntyvän Suomessa melko tehokkaasti. Hankkeiden johtajista 40 % ilmoitti tutkimuksen jatkuvan kansainvälisenä yhteistyönä COST-, EU- tai EUREKA-projektina tai jonkin muun kansainvälisen rahoituksen tuella. Kansainvälisistä jatkohankkeista joka viides oli ao. tutkimusryhmän koordinoima.

Yllättävää on ollut rahoitettujen hankkeiden huomattava soveltava ja teollinen merkitys hankkeiden perustutkimuksellisesta luonteesta huolimatta. Tarkasteltujen hankkeiden johtajista 45 % piti hankkeen tuloksia erittäin tärkeinä tai tärkeinä alan teollisten sovellusten kannalta. Erittäin tärkeiksi tulokset arvioitiin tyypillisesti sillä perusteella, että hankkeen tulokset olivat jo teollisuuden hyödynnettävänä uuden tiedon, menetelmien, teknologian tai uusien alan osaajien muodossa. Elinkeinoelämän kannalta erittäin tärkeäksi koettiin myös perustan luominen uusille tuotteille, yritystoiminnalle tai teollisuus alalle.

Tutkimuksen tuloksia kaupallistetaan ja sovelletaan teollisuudessa merkittävässä määrin. Akatemian rahoittamissa hankkeissa saavutettuja tuloksia on teollisesti tai kaupallisesti hyödynnetty 52 %:ssa tarkasteltuja hankkeita, kun rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin 1,5-5,5 vuotta. Merkittävimmin teknologiaa arvioitiin siirtyneen teollisuuteen henkilökontaktien ja tutkimusyhteistyön kautta. Yleisin hyödyntäjä on ollut hankkeen yhteistyö yritys, mutta 7 % hankkeiden johtajista ilmoitti, että hankkeen tulosten hyödyntämistä varten oli perustettu yritys (spin-off). Kiinnostus yrittäjyyttä kohtaan on kuitenkin mitä ilmeisimmin selvästi laajempaa, koska peräti 40 % vastaajista ilmoitti syitä sille, miksi yrityksen perustaminen ei ollut toteutunut.

Patenttihakemuksia oli tutkimusraporttien mukaan jätetty 8 %:ssa Akatemian rahoittamia hankkeita, kun rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin puoli vuotta. Patenttihakemuksia syntyi keskimäärin 1,4 patenttihakemusta M€ Akatemia-rahoitusta kohden ja suurin osa patenteista oli tehty Suomeen. Kun hankkeen rahoituksen päättymisestä oli kulunut 1,5-5,5 vuotta, joka kahdeksannen hankkeen tuloksista oli tehty patent-

tihakemus. Keskimäärin patenteja oli jätetty 0,6 kpl hanketta kohden. Patenttihakemuksista 27 % oli tehty Suomeen, 24 % Yhdysvaltoihin ja 12 % Japaniin. Noin joka kolmas patenttihakemus oli johtanut patenttiin. Muiden hakemusten osalta patentointiprosessi oli edelleen kesken. Patenteista puolet oli myönnetty Suomessa, 35 % Yhdysvalloissa ja 5 % Australiassa, Ruotsissa ja Saksassa kussakin.

Akatemian rahoittamalla tutkimuksella nähtiin taloudellisen ja teknologisen vaikuttavuuden ohella olevan myös muuta yhteiskunnallista vaikuttavuutta.

Erityisesti ekologiset ja luonnonsuojelliset vaikutukset painottuivat hankkeiden johtajien vastauksissa. Tieteen tuloksista tiedotettiin suurta yleisöä 37 %:ssa tarkasteltuja hankkeita. Yleisimpänä kanavana toimivat populaariteolliset julkaisut ja yleistajuiset lehdet.

Edellä esitetyt tulokset kertovat innovaatiojärjestelmän tehokkaasta toimimisesta Suomessa ja tieteen tulosten merkittävydestä sovellusten ja teollisuuden kannalta. Innovaatioprosessi on selvästi nopeutunut viime vuosikymmeninä ja tieteen tuloksia hyödynnetään yhä nopeammin.

5 LUONNONTIETEIDEN JA TEKNIIKAN TUTKIMUKSEN TOIMIKUNNAN JOHTOPÄÄTÖKSET

Innovatiivisen perustutkimuksen merkitys kansallisessa innovaatiojärjestelmässä

Edellä esitetyt tulokset Suomen Akatemian rahoittamien luonnontieteiden ja tekniikan alojen tutkimushankkeiden vaikuttavuuksista osoittavat selkeästi, että Akatemian luonnontieteiden ja tekniikan aloilla rahoittamat hankkeet ovat olleet erittäin tuottoisia ja vaikuttavia sekä tieteellisen julkaisuutuotannon että opinnäytteiden määrän ja laadun suhteen. Raportti osoittaa, että Suomen Akatemian perustutkimusrahoitus tarkastelluilla aloilla on myös yhteiskunnallisen vaikuttavuuden osalta kilpailukykyinen soveltavan tutkimuksen rahoitusmuotojen kanssa:

- Akatemian rahoittamissa hankkeissa saatuja tutkimustuloksia oli käytännössä sovellettu teollisuudessa tai kaupallistettu 52 %:ssa hankkeita, kun rahoituksen päättymisestä oli kulunut noin 1,5-5,5 vuotta.
- Patentoitavissa olevia keksintöjä ilmoitettiin syntyneen 16 %:ssa hankkeita.
- Noin joka kahdeksannesta tutkimushankkeesta oli tehty patenttihakemus.
- Keskimäärin patenttihakemuksia oli jätetty 0,6 kpl hanketta kohden.
- Hankkeiden johtajista 7 % ilmoitti, että hankkeen tulosten hyödyntämistä varten oli syntynyt yritys (spin-off).

Kaikki tämä huolimatta siitä, että projekteissa tavoitteena oli uuden tiedon tuottaminen ja tiede - ei tutkimustulosten hyödyntäminen. Hankkeita, joissa hyödyntämistä on tapahtunut, tulisi tarkastella syvällisemmin ja selvittää, voitai-

siinko niiden toimintamalleista ottaa oppia koko kansallista innovaatiojärjestelmää silmällä pitäen. Hankkeiden hyödyntämisprosesseista saattaa löytyä sellaisia elementtejä, jotka olisivat yleisimmin kopioitavissa muille aloille ja muihin rahoitusmuotoihin.

Tulokset osoittavat, että perustutkimus voi olla hyvin ongelmalähtöistä – muuten näinkin nopeaa hyödyntämistä ei voida selittää. Silti tutkimuksissa on keskitytty perustavaa laatua olevien ongelmien ja ilmiöiden tutkimiseen. Ongelmalähtöisen innovatiivisen perustutkimuksen rooli kansallisessa innovaatiojärjestelmässämme tulee tunnistaa ja sitä tulee tukea nykyistä laajemmin yhteiskunnassamme.

Suomen Akatemian rooli tutkimuksen uudistajana

Suomalainen tutkimus uusiutuu uusien yksilöiden ja ajatusten myötä. Yliopistojen professorivalinnoilla on suuri merkitys alan tieteelle ja teknisillä aloilla myös alan elinkeinoelämälle. Siksi tarvitaan nousevia huippututkijoita tukevia rahoitusmuotoja. Suomen Akatemian akatemiatutkijat palvelevat tätä tarvetta.

Raportin mukaan luonnontieteiden ja tekniikan aloilta vuosina 1990-1997 akatemiatutkijan virkaan nimitetyistä

- 64 % toimi professorina, kun virkakauden päättymisestä oli kulunut yhdestä kymmeneen vuotta
- 35 % nimitettiin professuuriin kesken akatemiatutkijan virkakauttaan
- akatemiatutkijan viralla oli ollut huomattava merkitys professuurin saamiseen

- akatemiaturkijan viran myötä tärkeinä mahdollistuneina asioina pidettiin mm. pitkäjänteistä tutkimustyötä, merkittävää tieteellistä tuotantoa, omaa pätevyitymistä sekä kansainvälisen verkoston rakentumista
- viisivuotinen virka mahdollisti tieteelliset uudet avaukset.

Ylläesitetyt osoittavat paitsi kyseisen tukimuodon tehokkuutta myös vertaisarviointijärjestelmän toimivuutta. Toimikunta näkee kuitenkin ongelmana tekniikan alojen tutkijoiden liian alhaisen osuuden hakijoista ja myös viransaaneista. Tutkijan ammatin arvostuksen kasvattaminen, yliopistojen virkarakenteen kehittäminen ja palkkatason myönteinen kehittyminen ovat edellytyksiä pätevien henkilöiden pysymiselle yliopistoissa. Suomen kilpailukyvyyn säilymisen kannalta on keskeistä, että näiden alojen professorikunnan uusiutuminen tapahtuu hallitusti.

Toimikunta edistää tutkimuksen uusiutumista myös yleisten tutkimusmäärärahapäätösten kautta. Vaarana on, että tämän hetkessä kovassa kilpailutilanteessa erityisesti monitieteelliset riskihankkeet ja uusien nousevien ryhmien tekemä tutkimus jää helposti rahoittamatta. Näillä hankkeilla voisi kuitenkin olla merkittävä tieteellinen ja yhteiskunnallinen vaikuttavuus. Jos rahoitus pysyy nykyisellä tasolla, joudutaan jatkossa tekemään tiedepoliittisia valintoja eri alojen välillä. Pahimmillaan tämä johtaa siihen, että rahoitusta osoitetaan ainoastaan strategisesti valituille aloille riippumatta tutkimusryhmien laadusta, aieman tutkimuksen vaikuttavuudesta ja tutkimuksen uusiutumistarpeesta.

Tutkijoiden sijoittuminen ja liikkuvuus

Tutkijoiden siirtyminen yliopistoista elinkeinoelämään on koettu yhdeksi tärkeimmistä osaamisen siirtomekanismeis-

ta. Raportti osoittaa, että tekniikan ja tietojenkäsittelytieteiden aloilla noin kolmasosa hankkeissa työskennelleistä tutkijoista on sijoittunut elinkeinoelämän palvelukseen, mutta suuri osa on jäänyt samaan laboratorioon tai siirtynyt yliopiston sisällä toiseen laboratorioon. Näiden teollisuusvetoisten alojen liikkuvuuden voisi olettaa olevan suurempi kuin muilla aloilla keskimäärin. Toisaalta, jos rahoitus on erittäin kovan kilpailun takana, vain parhaat tutkimusryhmät ja niissä parhaimmat tutkijat pääsevät toimimaan näissä projekteissa. Onkin todennäköistä, että tällaisessa tutkijaryhmässä liikkuvuus elinkeinoelämään on uran tässä vaiheessa vähäisempää kuin keskimäärin yliopistotutkijoilla. Lisäksi tutkijoiden liikkumisen tarvetta vähentää alan hankkeissa usein toteutuva yritysyhteistyö. Vähäinen liikkuvuus elinkeinoelämään voisi tarkoittaa, että Akatemian hankkeet ovat kohdistuneet tekniikan alojen teoreettisimpiin osa-alueisiin, joilla ei ole aitoa teollisuusvetoa, mikä on kuitenkin ristiriidassa tulosten merkittävän teollisen hyödyntämisen kanssa.

Koulutusmääriä on erityisesti tieto- ja viestintäaloilla lisätty voimakkaasti 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa, mikä aiheutti suuren opettajatarpeen sekä yliopisto- että muulle koulutussektorille. Tämä puolestaan näkyy edelleenkin niin, että luonnontieteen ja tekniikan aloilta väitelleet työskentelevät usein omassa koti-yliopistossaan tutkijoina ja tutkimuksen ohjaajina ja siirtymä teollisuuteen on tois- taiseksi ollut odotettua pienempää. Tutkimusverkostot luonnontieteiden ja tekniikan tutkijoiden välillä ovat myös luonnollinen osa suomalaista yliopistotutkimusta. Tutkimusryhmät pääsevät näin entistä laajemmalle ja syvemmälle tiedon- tasolle yhteistyön kautta ja tarve tutkijoiden liikkumiselle vähenee.

Tutkijoiden liikkuvuutta yliopistojen, tutkimuslaitosten ja yritysten välillä

tulisi kuitenkin kehittää entistä määrätieto-
toisemmin. Suomessa vain hieman yli
10 % tutkimusta tekevistä työvoimasta
on tohtoritutkinnon suorittaneita. Tie-
teellisen tiedon entistä syvällisempi sisäl-
lyttäminen yritysten tuotteisiin ja palve-
luihin on kuitenkin nyt ja tulevaisuudes-
sa eräs tärkeimmistä kilpailuvalteistam-
me. On siis todennäköistä, että tohtorit
tulevat kasvavassa määrin vastaamaan
yrityksissä tehtävästä tutkimuksesta.
Myös industry-academia -yhteistyöpon-
nistelut ja uudet yliopistojen, tutkimus-
laitosten ja yritysten väliseen tutkijan-
vaihtoon rakennetut rahoitusinstrumen-
tit tulevat parantamaan tutkijoiden liikk-
kuvuutta ja lisäämään tohtorien rekry-
tointia yliopistojen tutkimusryhmien ul-
kopuolelle. Tutkijakoulujärjestelmän
tuottamien tohtoreiden sijoittumista
työelämään ja työelämän tarvetta tulisi
tämästä syystä jatkossa pitää entistä tär-
keämpänä arviointikriteerinä tutkijakou-
lujen jatkopäätöksiä tehtäessä. Tutki-
mushankkeita, joissa on tutkijoiden liikk-
kuvuutta yliopistojen, yritysten ja tutki-
muslaitoksen välillä, tulisi jatkossa tukea
entistä voimakkaammin.

Kansainvälisyys

Luonnontieteen ja tekniikan toimialan
hankkeet ovat yleensä hyvin kansainväli-
siä. Noin joka toisessa hankkeessa toteu-
tuu kansainvälistä yhteistyötä. Kansain-
välistä ulottuvuutta syntyy myös sitä
kautta, että hankkeissa luodaan kansain-
välisesti ottaen uutta, kiinnostavaa tietoa.
Toimikunta rahoittaa yhä enenevässä
määrin kansainvälisesti uraauurtavaa tut-
kimusta, joka tarjoaa hyödyntämismah-
dollisuuksia myös suomalaisille yrityksille
ja koko yhteiskunnalle. Toimikunta
kannattaa monikulttuuristen tutkimus-
ympäristöjen synnyttämistä ja tukemis-
ta, mutta näkee Akatemian rahoituksen
ja erityisesti tutkimusohjelmat pikem-

minkin kansallisina strategisina panos-
tuksina, joissa ei välttämättä pitäisi tavoit-
tella kansainvälistä rahoittajayhteistyötä.
Kansainvälistä rahoitusyhteistyötä on jo
olemassa hyvin laajasti useiden maiden
kanssa yhdessä ylläpidettävistä laajoista
laitelinfrastruktuureista yksittäisissä tut-
kimushankkeissa toteutuvaan tutkijan-
vaihtoon.

Suomalaisten tutkijoiden kansainvä-
lisessä liikkuvuudessa on viime aikoina
ollut havaittavissa myönteistä kehitystä,
mikä heijastaa tutkimusryhmien entistä
kiinteämpää tutkijalähtöistä yhteistyötä
ulkomaisten tutkimusryhmien kanssa.
Kansainväliseen vaihtoon lähtöä rajoitta-
vat usein tiedonpuute, kotimaahan pala-
luuseen liittyvät vaikeudet sekä tieto sii-
tä, että suomalainen tutkimus on kan-
sainvälisinkin mittarein arvioituna kor-
keaa tasoa. Ulkomaisten tutkijoiden ha-
lukkuus tulla suomalaisiin tutkimusryh-
miin on myös kasvanut. Erityisesti tämä
näkyi halukkuutena tehdä tohtorintut-
kinto Suomessa. Panostukset tutkijoiden
liikkuvuuden edistämiseen kuten tutkija-
koulujen kansainvälistäminen, huippu-
tutkijoiden kutsuminen Suomeen (Fi-
DiPro) sekä kansainvälisesti verkottu-
neet tutkimusohjelmat tulevat entises-
tään parantamaan tutkijoiden liikku-
vuutta ja kansainvälistymistä.

Tietotekniikka

Edellä oleva vaikuttavuusanalyysi käsit-
telee ensi sijassa niitä välittömiä vaiku-
tuksia, joita luonnontieteen ja tekniikan
tutkimus tuottaa tuloksina. Sen lisäksi on
täysin selvää, että tutkimus kaikilla muil-
lakin tieteenaloilla on vahvasti riippuvai-
nen niistä menetelmistä, laitteista, ohjel-
mistoista ja instrumenteista, joita juuri
luonnontieteen ja tekniikan tutkimus ja
kehitys on tuonut tullessaan. Esimerkiksi
matematiikan, fysiikan, kemian ja tieto-
tekniikan merkitys biotieteissä on tullut

erittäin tärkeäksi. Tietotekniikan ja biologian rajapinnalle on syntynyt aivan uusia tutkimusaloja kuten bioinformatiikka ja neuroinformatiikka, joiden vaikutuksen odotetaan olevan suuri esimerkiksi tulevaisuuden lääketieteelle. Elektronikan ja tietotekniikan nopea kehitys on vaikuttanut koko yhteiskuntaan ja yksittäisten ihmisten päivittäiseen elämään. Tekniikan ja luonnontieteen tutkimus yleisesti ja elektronikan ja tietotekniikan tutkimus erityisesti ovat viimeisen sadan vuoden aikana mullistaneet lähes kaikki yhteiskuntamme toiminnot ja tämä muros aika jatkuu edelleen yhä kiihtyvällä vauhdilla. Tulevina vuosikymmeninä kaikkialle leviävä tietotekniikka (engl. ubiquitous computing), anturiteknologian kehitys ja jatkuva miniaturisointi sekä tiedon hakeminen, tuottaminen ja muokkaaminen digitaalisesti kiihdyttävät tietoyhteiskunnan syntymistä.

Kansainvälisesti katsoen Suomi on toistaiseksi menestynyt tässä uudessa tilanteessa erittäin hyvin. Tilastokeskuksen mukaan Suomen elektronikan ja

sähköteknisen teollisuuden tuotannon arvo viisinkertaistui 1990-luvulla ja vuoden 1995 jälkeen Suomi on ollut pysyvästi korkean teknologian teollisuustuotteiden nettoviejä. Tämä tulos on saavutettu voimakkaalla panostuksella tutkimukseen ja tuotekehitykseen, mikä on myös merkinnyt suurta tarvetta elektronikan ja tietotekniikan alan koulutetulle työvoimalle.

Vaikka Suomen kehitys on ollut erittäin hyvä, meidän tulee kantaa huolta tulevaisuudesta. Tietoyhteiskunnassa informaation tuottamisella, käsittelyllä, välittämällä ja hyödyntämisellä on keskeinen rooli. Tässä tilanteessa on erittäin tärkeää huolehtia ennen kaikkea tutkimuksen ja tutkijakoulutuksen korkeasta tasosta ja myös riittävästä määrästä, jotta Suomi pysyisi kansainvälisessä kilpailussa mukana. Luonnontieteiden ja tekniikan merkitys on tässä kehityksessä erittäin suuri. Tähän viittaavat etenkin ne valtavat panostukset, joita Kiina, Yhdysvallat ja monet muut suuret teollisuusmaat näille aloille osoittavat.

LÄHTEET

Anon. (1968) *Technology in retrospect and critical events in science*, Vol 1 (NTIS PB-234 767), Illinois Institute of Technology, Research Institute, prepared for National Science Foundation, Chicago, USA, 104 s.

Anon. (2005a) *Towards a European Research Area. Science, Technology and Innovation. Key Figures 2005*, European Commission, 82 s.

Anon. (2005b) Opetusministeriö: KOTA-tietokanta, <http://www.csc.fi/kota/kota.html>, luettu 15.12.2005.

Anon. (2005c) The Shanghai Jiao Tong University Academic Ranking of World Universities, <http://ed.sjtu.edu.cn/rank/2004/top500list.htm>, luettu 15.12.2005.

Brooks, H. (1994) The relationship between science and technology. *Research Policy* 23, ss. 477-486.

Bruun, H. Hukkinen, J., Huutoniemi, K. ja Thompson Klein, J. (2005) Promoting Interdisciplinary Research. The case of the Academy of Finland, *Publications of the Academy of Finland 8/05*, Helsinki, Edita-Prima, 204 s.

Dasgupta, P. ja David, P.A. (1994) Toward a new economics of science. *Research Policy* 23, ss. 487-521.

Faulkner, W. ja Senker, J. (1995) *Knowledge Frontiers. Public Sector Research and Industrial Innovation in Biotechnology, Engineering Ceramics and*

Parallel Computing, Oxford, Englanti, Clarendon Press, 278 s.

Geisler, E. (2000) *The Metrics of Science and Technology*, Westport, CT, USA, Quorum Books, 400 s.

Griliches, Z. (1995) R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues, Toim. Stoneman, Paul *Handbook of Economics of Innovation and Technological Change*, Oxford, UK/Cambridge, Basil Blackwell Ltd., ss. 52-89.

Mansfield, E. (1991) Academic research and industrial innovation. *Research Policy* 20, ss. 1-12.

Martin, B., Salter, A., Hicks, D., Pavitt, K., Senker, J., Sharp, M., von Tunzelmann, N. (1996) *The Relationship between Publicly Funded Basic Research and Economic Performance*. Report prepared for HM Treasury. Science and Policy Research Unit, University of Sussex, Falmer, Brighton, 64 s.

Patel, P. ja Pavitt, K. (1995) Patterns of Technological Activity: their Measurement and Interpretation. Toim. Stoneman, Paul *Handbook of Economics of Innovation and Technological Change*. Oxford, UK/Cambridge, Basil Blackwell Ltd., ss. 14-51.

Rosenberg, N. ja Nelson, R.R. (1994) American universities and technical advance in industry. *Research Policy* 23, ss. 323-348.



Raportti Rapport	<input type="checkbox"/> Loppuraportti Slutrapport	<input type="checkbox"/> Raportti Rapport	Raportointijakso Rapporteringsperiod		
Toimikunta Forskningsråd	<input type="checkbox"/> Biotieteiden ja ympäristön tutkimus Biovetenskap och miljö	<input type="checkbox"/> Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimus Naturvetenskap och teknik	<input type="checkbox"/> Kulttuurin ja yhteiskunnan tutkimus Kultur och samhälle	<input type="checkbox"/> Terveystieteiden tutkimus Hälsa	
Suomen Akatemian tutkimusohjelma tai muu erityisrahoitus Finlands Akademis forskningsprogram eller annan specialfinansiering					
A Tutkimuksen vastuullinen johtaja ja hanke Projektansvarig och projekt	Sukunimi Efternamn				
	Etunimet Förnamn			Syntymäaika Födelseltid	
	Akatemian päätösilmoitusnumerot Numret för Akademin meddelande om beslut				
	Organisaatio Organisation			Laitos tai vastaava Institution eller motsvarande	
	Hankkeen nimi suomeksi Projektets titel på svenska				
Alla olevat yhteystiedot (osaan B asti) täytetään vain jos yhteystiedoissa on tapahtunut muutoksia Kontaktuppgifterna nedan (ända till del B) ifylles endast om kontaktuppgifterna har förändrats					
Yhteystiedot Kontakt- uppgifter	Organisaatio englanniksi Organisation på engelska			Laitos tai vastaava englanniksi Institution eller motsvarande på engelska	
	Osoite Adress			Postinumero ja -toimipaikka Postnummer och -kontor	
	Puhelin Telefon			Faksi Fax	
	Sähköposti E-post			Vastuuhenkilön verkkosivu Projektansvarigas hemsida på webben http://	
	Hankkeen verkkosivu Projektets hemsida på webben http://				
B Hankkeen varainkäyttö Projektets finansförvaltning					
Hankkeessa käytetty kokonaisrahoitus (euroa) raportointijaksolla kalenterivuosittain. Luettele erikseen muut rahoittajat kuin Akatemia. Total finansieringen (euro) som används inom projektet under rapporteringsperioden per kalenderår. Uppräkna andra finansierare än Akademin separat.					
Rahoittajayhteisön nimi Finansier	vuosi/år	vuosi/år	vuosi/år	vuosi/år	Yhteensä/Sammanlagt
Suomen Akatemia Finlands Akademi					
Muut Övriga					
Yhteensä Sammanlagt (euro)					



C Tutkimushenkilöstö ja hankeyhteistyö Forskningspersonal och projektsamarbete

Tutkimusryhmän kaikkien tutkijoiden ja tutkijakoulutettavien työskentely (myös työskentely ulkomailla ja vierailut ulkomailta) kalenterivuositain eriteltynä. Tähän merkitään vähintään 0,5 kuukautta (=2 viikkoa) kestänyt työskentely tässä hankkeessa.
Arbete utfört av forskargruppens samtliga forskare och forskarstuderande (även arbete utomlands och besök av utländska forskare) specificerade per kalenderår.
Ange här arbete på minst 0,5 månader (=2 veckor) inom projektet.

Nimi, tutkinto, tehtävänimike Namn, examen, arbetsuppgift	Sukupuoli N/M Kön M/K	Vierailijan lähtöorganisaatio ja -maa Gästforskarens egen organisation och land	Työskentelypaikka, tutkijakoulu Arbetsplats, forskarskola	Rahoittaja Finansiär	Hiötyöök tässä hankkeessa Månadsverken inom projektet			
					Vuosi År	Vuosi År	Vuosi År	Vuosi År
Suomen Akatemian rahoittamat henkilötyökuukaudet yhteensä Månadsverken finansierade av Finlands Akademi, sammanlagt								
Muiden rahoittamat henkilötyökuukaudet yhteensä Månadsverken finansierade av andra finansiärer, sammanlagt								

Hankeyhteistyö Projektsamarbete

Mikäli hankkeeseen on liittynyt kiinteää yhteistyötä Akatemian tai muiden rahoittajien tukemien muiden hankkeiden kanssa, kuvaile lyhyesti yhteistyötä.
Ifall projektet haft fast samarbete med projekt som finansieras av Finlands Akademi eller andra finansiärer, ge en kort beskrivning av samarbetet.



D Tutkimuksen edistyminen ja tulokset Hur projektet framskridit och dess resultat

Tulosten esittely Presentation av resultat

Tiivistelmä tutkimuksen edistymisestä, keskeisistä tieteellisistä tuloksista ja niiden soveltamismahdollisuuksista sekä selvitys tutkimuksen aikana tapahtuneista olennaisista tutkimussuunnitelman muutoksista (enintään 45 riviä, enint. 65 merkkiä riville).

Sammandrag av hur forskningen framskridit, projektets viktigaste resultat och möjligheter att tillämpa dessa, samt en redogörelse för väsentliga ändringar i forskningsplanen under forskningens gång (högst 45 rader, max 65 tecken per rad).

Tutkimusta keskeisesti kuvaavat avainsanat pilkulla eroteltuina. Projektets centrala nyckelord, åtskilda med kommatecken.



SUOMEN AKATEMIA

FINLANDS AKADEMI • ACADEMY OF FINLAND

Tulosten esittely englanniksi (edellisen kohdan käännös)
Presentation av resultaten på engelska (översättning av föregående punkt)

Avainsanat englanniksi Nyckelord på engelska

Akatemian rahoituksen erityismerkitys Särbetydelsen av Akademin finansiering
Miten Akatemian rahoitus on edistänyt hankkeen tieteellisiä ja jatkokoulutuksellisia tavoitteita?
Hur har Akademin finansiering främjat projektets vetenskapliga mål och fortutbildning?



Haittatekijät ja tutkimusstrategian muutokset Negativa faktorer och forskningsstrategiska förändringar

Mitkä tekijät ovat haitanneet tutkimushankkeen suunniteltua edistymistä tai aiheuttaneet muutoksia tutkimustrategiaan?

Faktorer som försäkrat genomförandet av projektet enligt uppgjord forskningsplan, samt forskningsstrategiska förändringar.

Tieteelliset julkaisut Vetenskapliga publikationer

Hankkeessa **raportointijakson sekä kuluvan vuoden** aikana tuotetut tieteelliset julkaisut mukaan lukien opinnäytetyöt (julkaisut ja julkaistavaksi hyväksytyt). Merkitään vain julkaisut, joissa on merkintä siitä, että työ on tehty Suomen Akatemian **tälle hankkeelle** myöntämällä rahoituksella.

Vetenskapliga publikationer inklusive lärdomsprov som har publicerats eller godkänts för publicering **inom projektet under rapporteringsperioden och under innevarande år**. Ange endast de publikationer där det nämns att arbetet utförs med finansiering som Finlands Akademi beviljat för projektet.



Muut tuotokset ja tutkimuksen vaikutukset Övriga resultat

Hankkeessa raportointijakson sekä kuluvan vuoden aikana valmistuneet muut tuotokset ja tutkimuksen vaikutukset (kuten julkaisemattomat väitöskirjat, patentit, tietokoneohjelmat, prototyypit, uudet prosessit ja käytännöt).

Övriga resultat av projektet (t.ex. opublicerade doktorsavhandlingar, patent, dataprogram, prototyper, nya processer och införd praxis) **under rapporteringsperioden och under innevarande år.**

Tiedotustoiminta Informationsverksamhet

Hankkeen muu kuin tiedeyhteisöön suuntautunut julkaisu- ja tiedotustoiminta (kuten oppikirjat, lehtiartikkelit, TV- ja radio-ohjelmat) **raportointijakson ja kuluvan vuoden aikana.**

Annan än vetenskaplig publikations- och informationsverksamhet inom projektet (t.ex. läroböcker, tidningsartiklar, TV- och radioprogram) **under rapporteringsperioden och under innevarande år.**

Tutkinnot Examina

Hankkeessa Akatemian rahoituksella raportointijakson ja kuluvan vuoden aikana suoritettut tutkinnot.

Examina som avlagts med Akademin finansiering inom projektet under rapporteringsperioden och under innevarande år.

Vuosi År	Tutkinto Examen	Sukupuoli M/N Kön M/K	Nimi, syntymävuosi ja perustutkinnon suoritusvuosi Namn, födelseår och år då grundexamen avlagts	Tutkinnon suorituspaikka Plats där examen avlagts	Opinnäytetyön ohjauspaikka, ohjaaja ja tutkijakoulu Institution där lärdomsprov avlagts, handledare och forskarskola



E Hankkeen julkinen kuvaus En offentlig beskrivning av projektet

Suomen Akatemian tutkimusrekisteriin tarkoitettu hankkeen yleistajuinen esittely suomeksi
Lättfattlig beskrivning av projektet på svenska för Finlands Akademis forskningsregister

Hankkeen julkinen kuvaus englanniksi (edellisen kohdan käännös)
Beskrivning (offentlig) av projektet på engelska (översättning av föregående punkt)

Allekirjoitus Underskrift	Paikka ja päiväys Ort och datum
	Allekirjoitus Underskrift
	Virka-asema Tjänsteställning



Ohjeet tutkimusraportointilomakkeen täyttäjälle

Tällä lomakkeella raportoidaan kaikista muista Suomen Akatemian tutkimusmääräraha-, tutkimusvirka- ja apurahapäätöksistä kuin tieteellisten seurojen julkaisu toimintaan ja niiden kansainvälisen yhteistyön kuluja koskevia päätöksiä. Raportointijakso on päätöksen rahoituskausi.

Tutkimuksen raportoinnista vastaa tutkimuksen vastuullinen johtaja.

1. Rahoituskauden päättymisen jälkeen annetaan loppuraportti.
2. Uutta rahoitusta haettaessa toimitetaan raportti hakemuksen liitteenä.

Loppuraportin tulee olla Suomen Akatemiassa rahoituskauden päättymistä seuraavan kesäkuun 15:een päivään mennessä. Mikäli rahoitusta haetaan ennen kuin samaa hanketta koskeva rahoituskausi on päättynyt tai ennen 15. kesäkuuta on raportti toimitettava hakemuksen liitteenä. Hakemuksen liitteenä toimitettavan raportin tulee olla Suomen Akatemiassa ko. haun määräajan päättyessä.

Raportti voidaan laatia suomen, ruotsin tai englannin kielellä. Hakemuksen liitteenä oleva raportti laaditaan samalla kielellä kuin hakemus.

Loppuraportti tehdään sähköisesti. Raporttia ei voi toimittaa sähköpostilla.

Mikäli raportti toimitetaan hakemuksen liitteenä ja hakemus tehdään paperiversiona toimitetaan tutkimusraportista yhtä monta kappaletta kopioita kuin ko. haussa hakemuskopioitakin.

RAPORTIN TÄYTTÄMINEN JA TIEDOT

Valitse joko loppuraportti tai raportti merkitsemällä rasti asianomaiseen ruutuun.

Merkitse raportointijaksoksi kulunut rahoituskausi.

Täydentävästä päätöksestä (lisärahoitus äitiyslomasta) raportoidessa viitataan toiminnan osalta varsinaiseen päätökseen.

Mikäli olette saanut rahoituksen tutkimusohjelmasta, huippuyksikköohjelmasta tai muusta erityisrahoituksesta (esim. suunnattu haku), merkitse tämä tunnus asianomaiseen ruutuun.

A. Tutkimuksen vastuullinen johtaja ja päätös

Päätösilmoitusnumero on tutkijalle toimitetussa Akatemian päätösilmoituksessa. Organisaatiolla tarkoitetaan vastuullisen johtajan taustaorganisaatiota (esim. yliopisto tai tutkimuslaitos).

B. Varainkäyttö

Merkitse kaikki hankkeen käyttämä rahoitus rahoittajakohtaisesti kalenterivuosittain raportoitavalta rahoituskaudelta. Yrityksiltä saadusta rahoituksesta tulee käydä selvästi ilmi, onko rahoittajana kotimainen vai ulkomainen yritys. On huomattava, että kyse ei ole myönnetystä rahoituksesta, vaan käytetystä rahoituksesta.

C. Tutkimushenkilöstö ja hankeyhteistyö

Merkitse taulukkoon kaikki (siis muullakin kuin Akatemian rahoituksella) hankkeessa työskennelleet tutkijat ja tutkijankoulutettavat sekä työskentelyaika henkilötöyökkäusina kalenterivuosittain raportoitavalta rahoituskaudelta.

Henkilötöyökkäudella tarkoitetaan täysipäiväistä työaika, vähintään 36 tuntia viikossa. Työajaksi lasketaan myös palkalliset vapaat. Osa-aikaisesti työskentelevien henkilötöyökkäus lasketaan suhteuttamalla viikkotyöaika 36 viikkotuntiin. Mikäli ryhmän tutkija työskentelee osan vuodesta ulkomailla, on tämä selkeästi kerrottava. Mikäli tehtävänimike ei kuvaa suoritettua työtä, tehtävää paremmin kuvaava lyhyt seloste voidaan liittää suluissa tehtävänimikkeeseen.

Hankeyhteistyöllä tarkoitetaan sellaista tutkimusyhteistyötä, jossa osallisina ovat eri vastuullisten johtajien hankkeet.

D. Tutkimuksen edistyminen ja tulokset

Tulosten esittelyn yhteydessä voi tarvittaessa esittää tutkimuksen jatkosuunnitelmia.

Akatemian rahoituksen erityismerkityksellä tarkoitetaan, millä tavalla nimenomaan Akatemian myöntämä rahoitus on edistänyt hanketta.

Rahoituskauden aikana syntyneiksi tieteellisiksi julkaisuiksi ja muiksi tuotoksiksi merkitään myös rahoituskauden päättymisen jälkeen ennen loppuraportointia syntyneet tulokset. Hankkeen tuloksena syntyneiksi julkaisuiksi voidaan kuitenkin **merkitä vain ne, joissa on merkintä siitä, että työ on tehty Suomen Akatemian tälle hankkeelle myöntämällä rahoituksella.**

Kustakin julkaisuista ilmoitetaan täydellinen kirjallisuusviite kaikkein tekijöineen ja artikkelin täydellinen nimi. Kun esitetään julkaisuja, joiden julkaisuprosessi on kesken (hyväksytyt julkaistavaksi, painossa), bibliografisiin tietoihin tulee merkitä, missä vaiheessa julkaisuprosessi on. Julkaistujen opinnäytetöiden tiedoista tulee käydä ilmi, millaisesta opinnäytteestä on kysymys. Abstrakteja ei ilmoiteta. Viisi tärkeintä julkaisua merkitään tähdellä.

Tieteelliset julkaisut ja opinnäytetyöt esitetään ryhmiteltyinä seuraaviin julkaisutyyppeihin:

1. Artikkelit kansainvälisissä tieteellisissä aikakauslehdissä joissa referee-käytäntö
2. Artikkelit kansainvälisissä tieteellisissä kokoomateoksissa sekä kansainvälisissä tieteellisissä konferenssijulkaisuissa joissa referee-käytäntö
3. Artikkelit kotimaisissa tieteellisissä aikakauslehdissä joissa referee-käytäntö
4. Artikkelit kotimaisissa tieteellisissä kokoomateoksissa sekä kotimaisissa tieteellisissä konferenssijulkaisuissa joissa referee-käytäntö
5. Tieteelliset kotimaassa julkaistut monografiat
6. Tieteelliset ulkomailla julkaistut monografiat
7. Muut tieteelliset julkaisut, kuten artikkelit tieteellisissä lehdissä, joissa ei ole referee-käytäntöä sekä julkaisut yliopisto- ja laitossarjoissa

Tutkimuksen suorituspaikaksi merkitään yliopisto sekä tiedekunta, osasto tai vastaava, joka on tutkimuksen muodollisesti hyväksynyt. Ohjauspaikaksi merkitään yliopisto, korkeakoulu, tutkimuslaitos tai muu organisaatio sekä laitos tai laboratorio, jossa työn käytännöllinen ohjaus on tapahtunut.



Anvisningar för ifyllande av rapportblanketten

Med denna blankett avges en rapport beträffande Finlands Akademi alla andra beslut om forskningsbidrag, forskartjänster och stipendier utom de beslut som gäller kostnader för vetenskapliga samfund publiceringsverksamhet och internationella samarbete. Rapporteringsperioden är den finansieringsperiod som nämns i beslutet.

Den ansvariga projektledaren svarar för forskningsrapporteringen.

1. En slutrapport skall avges efter det att finansieringsperioden löpt ut.
2. Vid ansökan om ny finansiering skall en rapport lämnas in som en bilaga till ansökan.

Slutrapporten skall lämnas in till Finlands Akademi senast den 15 juni efter det att finansieringsperioden löpt ut. Om man söker finansiering innan finansieringsperioden för det projekt ansökan gäller har löpt ut eller före den 15 juni skall rapporten lämnas in som en bilaga till ansökan. Sådana fall skall ansökan vara Finlands Akademi tillhanda inom den utsatta ansökningstiden för denna ansökan.

Rapporten kan skrivas på finska, svenska eller engelska. Då rapporten utgör en bilaga till en ansökan används samma språk som i själva ansökan.

Slutrapporten lämnas in i elektronisk form. Rapporten kan inte lämnas in via e-post. Om rapporten lämnas in en som bilaga till en ansökan och ansökan görs på en pappersblankett skall rapporten lämnas in i lika många exemplar som själva ansökan.

IFYLLANDE AV RAPPORTBLANKETTEN

Välj antingen slutrapport eller rapport genom att kryssa i respektive ruta.

Ange den gångna finansieringsperioden som rapporteringsperiod.

Vid rapportering om ett kompletterande beslut (tilläggsfinansiering för moderskapsledighet) hänvisas till det egentliga beslutet beträffande verksamheten.

Om finansiering har beviljats inom ett forskningsprogram, programmet för spetsforskningsenheter eller någon annan specialfinansiering (t.ex. finansiering till specialforskningstema), skall koden för denna finansiering anges i respektive ruta.

A. Ansvarig projektledare och beslut

Projektnumret framgår av det meddelande om beslutet som Akademin sänt till forskaren. Med organisation avses den organisation där den ansvariga projektledaren arbetar (t.ex. universitet eller forskningsinstitut).

B. Projektets finansförvaltning

Uppge här all använd finansiering från varje enskild finansiär per kalenderår under den finansieringsperiod rapporten gäller. Beträffande finansiering från företag skall det klart framgå om det är fråga om ett inhemskt eller utländskt företag. Observera att det inte är fråga om beviljad utan om använd finansiering.

C. Forskningspersonal och projektsamarbete

Uppge i tabellen samtliga forskare och forskarstuderande som arbetat inom projektet (med andra ord också de vars arbete inte finansierats av Akademin) samt deras arbetstid i månadsverken per kalenderår under den finansieringsperiod rapporten gäller. Med ett månadsverke avses heltidsarbete, minst 36 timmar per vecka. Också avlönad fritid räknas som arbetstid. För dem som arbetat på deltid omvandlas arbetstiden i månadsverken enligt 36 timmar/vecka. Om en forskare i gruppen arbetar en del av året utomlands, bör detta klart uppges. Om den arbetsuppgift som nämns i blanketten inte är tillräckligt beskrivande för det utförda arbete, kan en kort beskrivning ges inom parentes. Med projektsamarbete avses forskningssamarbete mellan projekt som har olika projektansvariga.

D. Hur projektet framskridit och dess resultat

I beskrivningen av resultaten kan man vid behov ange planer för det fortsatta arbetet.

Med särbetydelsen av Akademiens finansiering avses på vilket sätt den av Finlands Akademi beviljade finansieringen har varit avgörande för projektets genomförande.

Som vetenskapliga publikationer och övriga resultat under finansieringsperioden anges också sådana som blivit färdiga efter det att projektet avslutats men innan projektrapporten lämnats in. Som publikationer inom projektet kan dock **anges endast de publikationer där det nämns att arbetet utförts med finansiering som Finlands Akademi beviljat för projektet.**

Beträffande publikationer ges fullständiga litteraturhänvisningar med alla författare och fullständiga artikelrubriker. Då sådana publikationer som inte ännu utkommit (godkänts för publicering, i tryck) nämns, bör det framgå i vilket skede publiceringsprocessen är. Beträffande publicerade lärdomsprov bör det framgå vilket lärdomsprov det är fråga om. S.k. abstracts uppges inte. De fem viktigaste publikationerna markeras med en stjärna.

Vetenskapliga publikationer och lärdomsprov grupperas enligt följande:

1. Artiklar i internationella tidskrifter med referee-praxis
2. Artiklar i internationella vetenskapliga samlingsverk och internationella vetenskapliga konferenspublikationer med referee-praxis
3. Artiklar i inhemska tidskrifter med referee-praxis
4. Artiklar i inhemska vetenskapliga samlingsverk och inhemska vetenskapliga konferenspublikationer med referee-praxis
5. Vetenskapliga monografier som publicerats i Finland
6. Vetenskapliga monografier som publicerats utomlands
7. Övriga vetenskapliga publikationer, såsom artiklar i vetenskapliga tidskrifter utan referee-praxis samt publikationer inom universitets- och institutionsserier.

Som den plats där examen avlagts anges universitet samt den fakultet, avdelning eller motsvarande som formellt godkänt examen. Som institution där doktoranden fått handledning anges universitet, högskola, forskningsinstitut eller annan organisation samt den institution eller det laboratorium där handledningen i praktiken ägt rum.

LIITE 2

KYSELYLOMAKE

Merkitkää kysymyksiin mielipidettänne parhaiten vastaava vaihtoehto!

Hankennumero

TIEDEYHTEISÖN HYÖTYMINEN

1. a) Mikä oli hankkeen tieteellisten tulosten merkittävyys kansainvälisesti?

erittäin merkittävä

merkittävä

melko merkittävä

jonkin verran merkittävä

ei merkitystä

- b) Perustelkaa lyhyesti

2. a) Kuinka keskeinen rooli hankkeella on ollut Suomen tutkimusalan kehittymisen kannalta?

erittäin keskeinen

keskeinen

jonkin verran keskeinen

melko vähäinen

vähäinen

- b) Perustelkaa lyhyesti

TUTKIMUSRYHMÄN HYÖTYMINEN

3. Millä tavoin hanke edisti omaa tai ryhmänne jäsenten tieteellistä uraa?

	erittäin paljon	paljon	melko paljon	jonkin verran	ei ollenkaan
a) Tutkijoiden lisääntyneen osaamisen kannalta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Myöhempien tutkimusaiheiden valinnan kannalta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) Myöhempien hankkeitten rahoituksen saamisen kannalta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Opinnäytteiden kannalta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) Tieteellisten julkaisujen kannalta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f) Ponnahduslautana uusiin virkoihin ja tehtäviin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g) Lisääntyneiden luottamustehtävien kannalta (esim. kutsuesitelmät, väitöskirjojen esitarkastukset, vastaväittäjänä toimiminen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h) Yhteistyön lisääntymisen ja uusien kontaktien syntyminen kannalta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i) Tutkijoiden muun lisääntyneen arvostuksen kannalta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

TUTKIJOIDEN SIOITTUMINEN

4. Missä työskentelee/työskentelevät hankkeeseen Suomen Akatemian rahoituksella palkattu/palkatut tutkija(t) (1-3 kpl riippuen projektin koosta 1-3 htv/v) pääasiallisesti tällä hetkellä?

samassa tutkimusryhmässä	henkilö(ä)
muussa tutkimusryhmässä samassa yliopistossa tai tutkimuslaitoksessa	henkilö(ä)
muussa yliopistossa tai tutkimuslaitoksessa Suomessa	henkilö(ä)
muussa yliopistossa tai tutkimuslaitoksessa ulkomailla	henkilö(ä)
Suomessa yrityksen palveluksessa	henkilö(ä)
ulkomailla yrityksen palveluksessa	henkilö(ä)
yrittäjänä	henkilö(ä)
muualla, missä	henkilö(ä)
ei tietoa	henkilö(ä)

TUTKIMUSHANKKEEN YHTEISTYÖ

5. Selventäkää kenen kanssa tutkimushankkeessa tehtiin yhteistyötä täydentämällä alla olevaan taulukkoon yhteistyötahon nimi, organisaatio, kotimaa, yhteistyötahon pääasiallinen tutkimusala ja yhteistyön laatu. Yhteistyötahon pääasiallinen tutkimusala merkitään Suomen Akatemian tutkimusalaluokituksen mukaan. Tutkimusalaluokitus löytyy kyselyn lopusta. Halutessanne voitte tarkentaa tutkimusala. Yhteistyön laadulla tarkoitetaan esimerkiksi tutkijavierailuja, laitteistoyhteistyötä, yhteisjulkaisuja jne.

YHTEISTYÖTAHO	ORGANISAATIO	MAA	TUTKIMUSALA	YHTEISTYÖN LAATU

6. a) Oliko hankkeen tutkimus monitieteellistä?

Monitieteellisellä tutkimuksella tarkoitetaan tutkimusta, jossa hyödynnetään kahden tai useamman eri tutkimusalan materiaalia, menetelmiä, käsitteitä tai teorioita.

Kyllä

Ei

- b) Mikäli hankkeen tutkimus oli monitieteellistä, luokitelkaa mitkä tutkimusalat liittyivät hankkeeseen. Käyttäkää Suomen Akatemian tutkimusalaluokitusta, joka löytyy kyselyn lopusta. Lisäksi voitte halutessanne tarkentaa tutkimusala, esimerkiksi 5310 Fysiikka: optiikka.

TUTKIMUKSEN JATKUMINEN

7. Onko hankkeen aiheen tutkimusta jatkettu...

a) ...tutkimusryhmän tai sen jäsenten toimesta

- Kyllä, yhteensä on tähän mennessä aloitettu kpl jatkohanketta
 Ei

b) ...muun tutkimusryhmän toimesta

- Kyllä
 Ei

Jos vastasitte myöntävästi kysymykseen 7 a) jatkakaa seuraavilla kysymyksillä, muussa tapauksessa siirtykää kysymykseen 11.

8. Millaisella rahoituksella hankkeen aiheen tutkimusta jatkettiin?

- a) Suomen Akatemian rahoittama hanke Kyllä Ei
 b) Tekesin rahoittama tutkimushanke Kyllä Ei
 c) Tekesin tukema yritykseltä tuleva tilaustutkimus Kyllä Ei
 d) Yrityksen/yritysten kokonaan rahoittama hanke Kyllä Ei
 e) Ministeriön tai säätiön rahoittama hanke Kyllä Ei
 f) Yliopisto / korkeakoulun omalla rahoituksella Kyllä Ei
 g) Euroopan unionin hanke Kyllä Ei
 h) Eureka-hanke Kyllä Ei
 i) Cost-hanke Kyllä Ei
 j) Muu kansainvälisesti rahoitettu hanke Kyllä Ei
 k) Muulla rahoituksella, mikä? Kyllä Ei

9. Jos jatkohanke on ollut kansainvälinen, onko tutkimusryhmänne toiminut hankkeen koordinaattorina? Kyllä Ei

10. Selventäkää kenen kanssa jatkohankkeessa tehtiin yhteistyötä täydentämällä alla olevaan taulukkoon yhteistyötahon nimi, organisaatio, kotimaa ja yhteistyön laatu (vrt kysymys 5).

YHTEISTYÖTAHO	ORGANISAATIO	MAA	YHTEISTYÖN LAATU

TEOLLINEN JA KAUPALLINEN HYÖDYNTÄMINEN

11. a) Kuinka tärkeitä ja hyödyllisiä hankkeessa saavutetut tulokset ovat olleet elinkeinoelämän (sovellusten) kannalta?
- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| erittäin tärkeitä | tärkeitä | melko tärkeitä | jonkin verran tärkeitä | ei merkitystä |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

b) Perustelkaa lyhyesti

12. a) Onko hankkeen tuloksia käytännössä sovellettu elinkeinoelämässä tai kaupallistettu Kyllä Ei

b) Jos kyllä, niin kenen toimesta

- | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|
| i) ...hankkeesta syntyneen oheisyrittäjän (spin-off) toimesta | <input type="checkbox"/> Kyllä | <input type="checkbox"/> Ei |
| ii) ...yhteistyöyrityksen toimesta | <input type="checkbox"/> Kyllä | <input type="checkbox"/> Ei |
| iii) ...muun yrityksen toimesta | <input type="checkbox"/> Kyllä | <input type="checkbox"/> Ei |
| iv) ...jonkun muun toimesta, kenen? | <input type="checkbox"/> Kyllä | <input type="checkbox"/> Ei |

13. Kuvailkaa lyhyesti tuotteet/prosessit/menetelmät, joissa hankkeen tuloksia on hyödynnetty?

14. Patentit

- a) Kuinka monta patentoitavissa olevaa keksintöä hankkeesta syntyi? *Patentoitavissa olevalla keksinnöllä tarkoitetaan nykyisten yliopistosopimusten perusteella ilmoitusvelvollinen keksintö, eli keksintö joka täyttää patentoimisen vaatimukset.* kpl
- b) Kuinka monta näistä keksinnöistä (keksintöilmoituksista) johti patenttihakemukseen? kpl
- c) Mistä seuraavista maista patenttia on haettu, myönnetty tai hylätty/ keskeytetty patenttihakemus

Maa	Patenttihakemuksia (kpl)	Myönnettyjä patenteja (kpl)	Hylättyjä/keskeytettyjä patenttihakemuksia (kpl)
Suomi			
Ruotsi			
Saksa			
Iso-Britannia			
USA			
Japani			
Kanada			
Muu maa, mikä?			

15. a) Onko hankkeen tulosten kaupallistamista varten syntynyt oheisyritys (spin-off)?

Kyllä, yrityksen nimi on

Ei

b) Jos ei, olisiko hankkeen tutkijoilla ollut halua käynnistää spin-off-yritys? Miksi tämä ei ole realisoitunut?

16. Minkä kanavien kautta hankkeessa saavutettua teknologiaa on siirtynyt elinkeinoelämään?

	merkittävästi	jonkin verran	ei ollenkaan
a) tutkimusyhteistyö	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) tieteelliset julkaisut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) opinnäytetyöt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) tekniset raportit ja dokumentit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) henkilökontaktit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f) tutkijoiden siirtyminen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g) lisensointi / patenttien myynti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h) teknologian siirtoon erikoistuneet yritykset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i) konsultointi / asiantuntijapalvelut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
j) kongressit, seminaarit ja muut esitelmätilaisuudet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
k) muu, mikä?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

17. Uskotteko, että elinkeinoelämässä tullaan vielä hyödyntämään hankkeen tuloksia?

Kyllä

Ei

18. Millä aikavälillä uskotte tämän todennäköisimmin tapahtuvan?

1-5 v

5-10 v

10-15 v

vaikea sanoa

YHTEISKUNNALLINEN MUU VAIKUTTAVUUS

19. Kuvaile vapaasti hankkeen muuta yhteiskunnallista vaikuttavuutta

SUOMEN AKATEMIAN TUTKIMUSALAT

- 5250 Matematiikka
5270 Tietojenkäsittelytieteet
5280 Sähkötekniikka ja elektroniikka
5290 Geotieteet
5300 Avaruustieteet ja tähtitiede
5310 Fysiikka
5320 Kemia
5330 Prosessi- ja materiaalitekniikka
5340 Kone- ja valmistustekniikka
5350 Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
5360 Arkkitehtuuri ja teollinen muotoilu
- 5100 Filosofia
5110 Kielitieteet
5120 Taiteiden tutkimus
5130 Teologia
5140 Historia ja arkeologia
5150 Kulttuurien tutkimus
5160 Kansantaloustiede
5170 Liiketaloustiede, talousmaantiede ja tuotantotalous
5180 Oikeustiede
5190 Sosiaalitieteet
5200 Psykologia
5210 Kasvatustiede
5220 Valtio-oppi ja hallintotiede
5230 Viestintä- ja informaatiotieteet
5240 Tilastotiede
- 5370 Maantiede
5380 Maatalous- ja elintarviketieteet
5390 Metsätieteet
5400 Biokemia, molekyylibiologia, mikrobiologia, perinnöllisyystiede ja biotekniikka
5410 Solu- ja kehitysbiologia, fysiologia ja ekofysiologia
5420 Ympäristötekniikka
5430 Ympäristöpolitiikka, -talous ja -oikeus
5440 Ekotoksikologia, ympäristön tila ja ympäristövaikutukset
5450 Ekologia, evoluutiotutkimus ja systematiikka
5450 Muu ympäristön ja luonnonvarojen tutkimus
- 5460 Farmasia
5470 Kliininen lääketiede
5480 Ravitsemustiede
5490 Kansanterveystiede
5500 Hoitotiede
5510 Hammaslääketiede
5520 Eläinlääketiede
5530 Liikuntatiede

LIITE 3: ESIMERKKITAPAUKSIA AKATEMIAN RAHOITTAMISTA HANKKEISTA, JOIDEN TULOKSIA ON HYÖDYNNETTY TEOLLISUUDESSA

Per Stenius (Liekki), Väitöskirjatyöstä ulkomailla eväitä yrityselämään

Pia Kilpinen (KY), Prosessitutkimusta ympäristön parhaaksi

Markku Leskelä (HY), Kemiasta sovelluksia mikroelektroniikkaan

Matti Pietikäinen (OY), Oululainen konenäkö tutkimus kansainvälistä kärkeä

Matti Vilenius (TTY), Suomen Akatemian rahoittamalla projektilla keskeiseen asemaan kansainvälisessä fuusiohankkeessa

Jarmo Partanen (LTY), Sähköjärjestelmien tutkimuksesta uusia innovaatioita ja teollisuuselektroniikkaa

Outi Oila
Tuomo Pesonen

VÄITÖSKIRJATYÖSTÄ ULKOMAILLA EVÄITÄ YRITYSELÄMÄÄN

Tekniikan tohtori Per Steniuksen matka Liekin toimitusjohtajaksi on ollut värikäs. Yksi merkittävä etappi oli jatko-opiskelu Kalifornian yliopistossa Santa Barbarassa Suomen Akatemian ”Tutkijankoulutus ja tutkijoiden työskentely ulkomailla” -apurahan turvin.

Tie TKK:n sähköosastolta toimitusjohtajaksi

Stenius valmistui diplomi-insinööriksi Teknillisen korkeakoulun sähkötekniikan osastolta vuonna 1992. Tämän jälkeen hän keräsi puolitoista vuotta työkokemusta McKinsey&Co:lla ennen siirtymistään jatko-opiskelijaksi Kalifornian yliopistoon (University of California, Santa Barbara), jossa oli opiskellut jo perustutkintoaikana. Suurin panostus väitöskirjatutkimusrahoituksesta tuli Suomen Akatemialta, joka rahoitti pääasiassa kahta ensimmäistä jatko-opiskeluvuotta.

Suomen Akatemian rahoitus kahdelle ensimmäiselle vuodelle oli erityisen tärkeä, sillä yliopistossa tuli suorittaa tänä aikana koe tohtorinkoulutusohjelmaan pääsemiseksi. ”Olisin saattanut lähteä ulkomaille ilman Akatemian rahaakin, mutta se olisi ollut huomattavasti hankalampaa”, Stenius pohtii rahoituksen merkitystä. Tekniikan tohtoriksi Stenius väitteli fotonikasta vuonna 1998, minkä jälkeen hän palasi takaisin Suomeen McKinsey&Co:lle. Ura jatkui sieltä pääomasijoitusmaailmassa Stratos Venturesilla ja vuonna 2003 Liekin toimitusjohtajana.

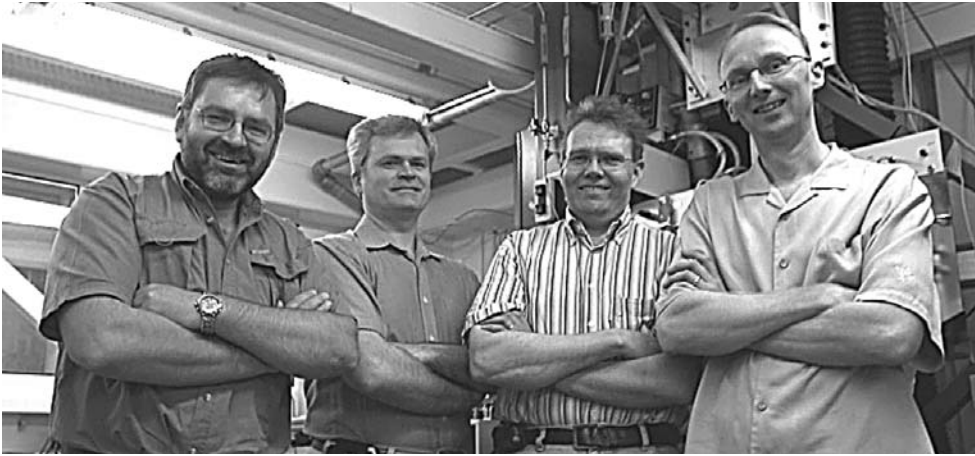
Toimitusjohtajana start-up -yrityksessä

Lohjalainen Liekki perustettiin vuonna 1999. Yrityksen nimi viittaa valmistus-

prosessissa käytettävään liekkiin. Yritys valmistaa ja markkinoi harvinaisilla määmetalleilla, kuten erbiumilla, ytterbiu-milla ja neodymiumilla, seostettuja optisia kuituja. Ensimmäinen tuote oli telekommunikaation optisiin vahvistimiin räätälöity aktiivikuitu. Nykyään Liekki valmistaa kuitua myös laajakaistaisiin valonlähteisiin ja anturisovelluksiin sekä erityisesti kuitulasereihin, joiden markkinat ovat lähteneet vauhdilla liikkeelle. Yrityksen n. 30 työntekijästä kuusi on tohtoreita ja kaksi työntekijää työstää väitöskirjojaan (kuva 1). Liiketoiminnasta suurin osa (yli 80%) tulee viennistä. ”Tohtorikoulutuksessa tulisikin huomioida nykyistä paremmin yritysten tarpeet”, Stenius toteaa.

Näkyvimpänä osoituksena Liekin kyvystä hyödyntää tieteellistä tutkimusta on sen kehittämä ja patentoima DND (Direct Nanoparticle Deposition) -teknologia, joka on ensimmäinen uusi teollisesti hyödynnetty valokuitujen kasvatusmenetelmä 20 vuoteen. Menetelmässä lasia kasvatetaan aerosoliteknikalla nanoluokan hiukkasista lähtien. Etuina ovat kuitujen suuri vahvistus, laaja ja tasainen taajuuskaista, hyvä hyötysuhde ja vähäiset epälineaarisuudet. Yritykseltä odotetaan todellista läpimurtoa markkinoilla lähiaikoina, ja osittain tämä on jo toteutunut erikoisalueilla, kuten puolustus- ja lentosektorin sovelluksissa.

Työ toimitusjohtajana on vaatinut paljon tekniikan alan osaamista, jota kerätyi Kaliforniassa väitöskirjatyössä. ”Tämä on hyvin teknisluontoinen ala ja asiakkaamme vaativat substanssin ymmärtämistä. Myös yrityksen strateginen johtaminen perustuu siihen, että kuuntelee asiakkaita ja ymmärtää, mihin suuntaan sektori on menossa”, Stenius arvioi.



Kuva 1. Neljä Liekin tohtoria vasemmalta: Valery Philippov (Tuotepäällikkö), Mircea Hotoleanu (Tuotepäällikkö), Simo Tammela (Tekninen johtaja), Per Stenius (Toimitusjohtaja)

Substanssin hallinnan lisäksi työ vaatii kuitenkin runsaasti osaamista rahoituksesta, myynnistä ja strategiasta. Tässä on ollut hyötyä väitöskirjan ohessa taloustieteen alalta suoritetusta maisterin tutkinnosta. ”Ekonomitutkinto tuli ikään kuin kaupanpäällisenä samalla rahoitusajalla”, Stenius kertoo tyytyväisenä. Kalifornian vuodet opettivat myös kovan työnteon tahdin ja työmoraaalin.

Kansainvälisen kokemuksen tärkeä anti

Steniuksen mukaan Kaliforniassa saadut opit ovat siivittäneet häntä urallaan eteenpäin. Erityisen keskeiseksi hän kokee syntyneet verkostot. ”Kaliforniassa vietettyä aikana rahoittajiin ja asiakkaisiin luodut verkostot ovat merkittävästi auttaneet Liekkiä ovien avaamisessa USA:n markkinoilla. Samoin kulttuurin tuntemuksella on ollut suuri merkitys”, Stenius toteaa. Hän painottaakin, että ulkomailla suoritettu tohtorin tutkinto on erittäin arvokas: ”Jos tohtoriopiskelijaa ”pusketaan” esiintymään kansainvälisesti, kehittyvät hänen verkostonsa, tunnettavuutensa sekä kyky olla vakuuttava kansainvälisissä piireissä. Näitä ominai-

suuksia tarvitsevat myös start-up -yrityksen avainhenkilöt”.

Stenius pitää kansainvälistymistä erittäin tärkeänä niin tutkimustoiminnan kuin elinkeinoelämän kannalta. ”On erittäin keskeistä, että Akatemia tukee kansainvälistymistä, eikä keskity vain suomalaisen tutkimuksen rahoittamiseen. Panostus esimerkiksi tällaisiin apurahoihin kuin mitä itse sain, tuottaa lopujen lopuksi hedelmää myös Suomessa”, Stenius painottaa. Steniuksen mukaan on ollut tärkeää myös ymmärtää, että tutkimustoiminta on globaalia, jolloin koko maailma on vertauskohteena. Koko ajan käydään veristä kilpailua, joka on pystyttävä voittamaan.

Tulevaisuuden tavoitteet

Fotoniikkasektori kasvaa vauhdilla, ja Stenius näkisikin mieluusti sektorin merkittävänä suomalaisena teknologiateollisuuden tukijalkana. Stenius arvioi Liekin potentiaalin korkeaksi: ”Riskit ovat tietysti suuret, mutta onnistuessaan Liekki voi saavuttaa tämän alan ykköspaikan”. Tavoitteessa riittää haastetta, sillä vastaavaan suoritukseen ei moni suomalainen start-up -yritys ole kyennyt.

PROSESSITUTKIMUSTA YMPÄRISTÖN PARHAAKSI

Maailman energiankulutus on kaksinkertaistunut viimeisen 30 vuoden aikana. Tällä hetkellä suurin osa energiasta tuotetaan polttoprosesseissa. Nykyaikaisten polttoprosessien tärkeimpiä tavoitteita korkean hyötysuhteen ja laitoksen käytövarmuuden lisäksi ovat prosessin päästöjen minimointi, päästörajojen alittaminen kustannustehokkaasti sekä sivu- ja jätetuotteiden joko hyötykäyttö tai turvallinen kaatopaikkasijoittaminen. Professori Pia Kilpinen on tutkinut matemaattisen mallinnuksen avulla polttoprosessien kemiaa ja etenkin kaasumaisen päästökomponenttien muodostumista. Työssään hän on hyödyntänyt erilaisia mallinnusmenetelmiä kuten esimerkiksi yksityiskohtaista kemiallis-kineettistä polttomallinnusta (DCK) ja moniulotteista numeerista polttolaskentaa (CFD). Tutkimuksen tulokset ovat saaneet osakseen laajaa huomiota niin tiedeyhteisössä kuin yritysmaailmassa.

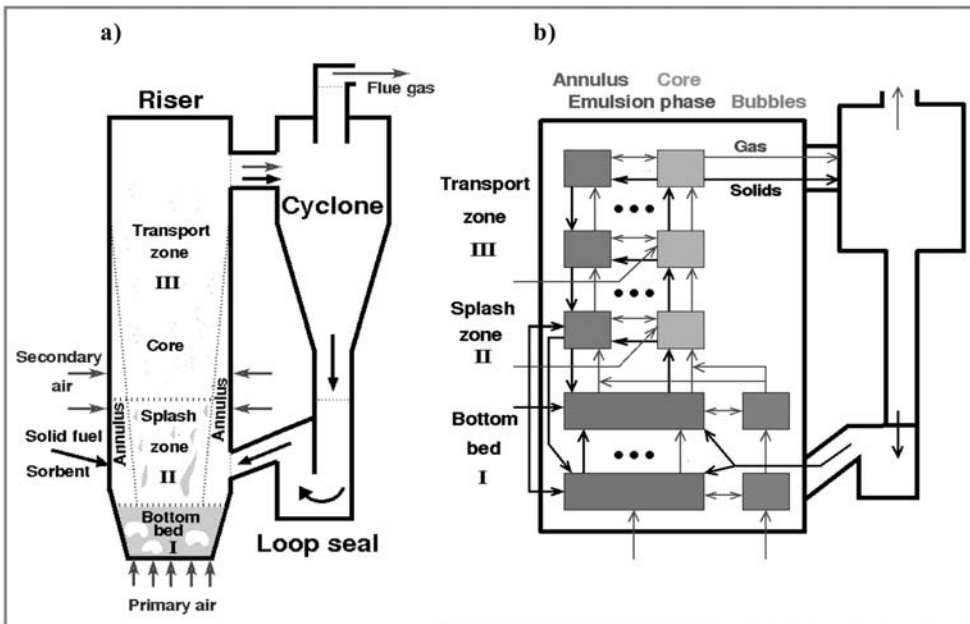
Perustutkimuksesta teolliseen hyödynnettävyyteen

Kilpisen päätutkimuskohteena ovat olleet typen oksidit. Tutkittuja teknologioita ovat olleet mm. pölypoltto, leijupoltto, soodakattilat ja dieselmoottorit. Teknologioiden parantamisen ja uusien polttoaineiden soveltamisen edellytyksenä on mm. hyvä ymmärrys päästöjen monimutkaisista muodostus- ja hajoamismekanismeista. Polttoprosessit ovat harvoja teollisuusprosesseja, joiden kemia tunnetaan niin hyvin, että ne voidaan mallintaa yksityiskohtaisella tasolla perustuen alkeisreaktioihin.

Kilpisen tutkimuksissa on selvitetty ilokaasun muodostus- ja hajoamismekanismit, mikä on hyödyttänyt leijupolto-

prosessien kehittämistä niin, että ilokaasuongelma tarvittaessa hallitaan. Tällä hetkellä ilokaasulle ei ole voimassa päästörajoituksia. Selektiivistä ei-katalyyttistä NO-reduktiota on laskennallisesti optimoitu leijupolton savukaasujen olosuhteisiin, mistä saatuja tuloksia ovat hyödyntäneet useat leijukattilavalmistajat. Lisäksi Kilpisen tutkimuksissa on selvitetty tärkeimmät reaktiopolut typpioksidien vähentämiseksi polttoaine- ja ilmapaiheistuksella. Kyseisten avainreaktioiden pohjalta kehitettiin tarkempia NO_x-kemian alimalleja käytännön CFD-simulointeihin. Tuloksia hyödynnettiin low-NO_x-poltinratkaisujen kehitystyössä, voimalaitosten ja soodakattiloiden NO_x-päästöjen arvioinnissa sekä NO_x-vähennysmenetelmien optimoinnissa (kuva 2). Kilpisen työ on johtanut patentteihin NO_x-päästöjen vähentämiseksi mm. kaasutusprosessien ja mustaliipeän talteenottokattilan savukaasuista. Kilpisen mukaan CFD soveltuu ympäristötutkimukseen erinomaisesti: ”Mallinnuksella saadaan yksityiskohtaista tietoa prosessista, mikä parhaimmillaan edesauttaa uusien tuotekehitysideoiden syntymistä. CFD:n käytettävyyden lisääminen tutkimus- ja tuotekehitystyökäkaluna moderneissa polttoprosesseissa bio- ja kierrätyspolttoaineet mukaan lukien onkin yksi jatkotutkimuksen haasteita”.

Kilpisen tutkimustyölle on ominaista laaja kansallinen ja kansainvälinen yhteistyö. Pohjoismaiset projektit, EU-hankkeet ja yritys yhteistyö ovat olleet keskeisessä asemassa. Kilpinen pitää omaa työtään teollisesti hyödynnettävänä perustutkimuksena. ”Olen löytänyt Akatemian rahalla mielenkiintoisia pe-



Kuva 2: Yksinkertaistettu kaaviokuva kehitetyn kiertoileijupolton päästömallin rakenteesta.

rustutkimuksellisia näkökulmia, joiden pohjalta tutkimusta on jatkettu varsinaiseen tuotantoprosessiin saakka”, Kilpinen kuvailee tutkimustulostensa hyödyntämisketjua. ”Suomessa toimivat energiateknologian laitevalmistajat ovat maailman kärkeä ja tällaisella yhteistyöllä onkin merkittävä rooli kilpailukyvyyn säilyttämisessä”, Kilpinen jatkaa.

Akateeminen ura tutkimusassistentista akatemiattutkijan kautta professoriksi

Kilpisen ensimmäinen suora kosketus Suomen Akatemiaan oli toimiminen Akatemian tutkimusassistenttina vuosina 1988-1991. Kilpinen väitteli vuonna 1992 alkeisreaktiomallinnuksen soveltamisesta polton käytännön päästöongelmien ratkaisemiseen. Tämän jälkeen hän on toiminut Suomen Akatemian rahoituksella sekä nuorempana että vanhempana tutkijana (nyk. akatemiattutkija). Kilpisen mukaan Suomen Akatemian ra-

hoituksen erityismerkitys on perustunut rahoituksen pitkäjänteisyyteen: ”Tällaiseen kattavaan ja laajaan tutkimukseen ei olisi ollut mahdollisuuksia ilman näitä virkoja ja rahoituksia.” Hän uskoo Akatemian rahoituksen helpottaneen rahoituksen saamista myös muista lähteistä.

Pia Kilpinen on nykyään Kuopion yliopiston professori. Hänellä on dosentuurit Teknillisessä korkeakoulussa ja Åbo Akademiassa. Kilpisen työn arvostus on myös osoitettu monilla kansallisilla ja kansainvälisillä luottamus- ja asiantuntijatehtävillä. Kilpinen on toiminut mm. alansa kutsuttuna asiantuntijana sekä ohjelmapäällikkönä Tekesin käynnistämässä laajoissa teknologiaohjelmissa. Hän on myös edustanut Suomea mm. kansainvälisen energiayhteisön (IEA) leijupolttotoimikunnassa ja Combustion Instituteen Pohjoismaiden ja Skandinavian jaostossa.

KEMIASTA SOVELLUKSIA MIKRO-ELEKTRONIIKKAAN

Helsingin Yliopiston Epäorgaanisen kemian laboratoriossa on akatemiaprofessori Markku Leskelän johdolla menestyksekkäästi tutkittu atomikerroskasvatusten (ALD) ja sähkökemiallisen saostuksen käyttöä ohutkalvojen valmistamisessa. Keskeisessä roolissa Leskelän ryhmässä on ollut suuren dielektridivakion oksidien kasvattaminen sekä siirtymämetallinitridien ja metallikalvojen kasvattaminen. Työssä kehitettiin uusia ALD-prosesseja edellä mainituille materiaaleille. Koska ALD on kemiallinen kasvatusmenetelmä, tärkeä osa työtä oli uusien lähdeainekemikaalien syntetisointi ja kehittäminen.

Mitä tieteellistä tulosta syntyi ja mihin uutta tietoa voidaan soveltaa?

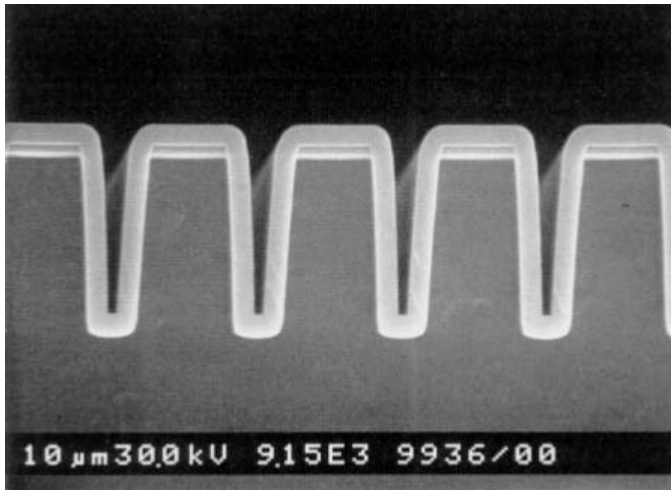
Elektroniikan materiaalit ja mikrosysteemit (EMMA) -tutkimusohjelmaan kuulunut projekti oli Leskelän ryhmälle hyvin tuottoisa. Projektissa tutkittiin porttioksidien ja muistipiirien oksidien valmistamista sekä nitridibarrierikalvojen ja metallikalvojen kasvattamista ALD-menetelmällä. Kaikilla näillä alueilla saavutettiin merkittäviä tieteellisiä julkaisuja sekä patentoitavia tuloksia, joista on poikkinut useita käytännön sovelluksia.

EMMA-projektin tuloksista merkittävin lienee oksidikalvojen kasvatuksiin kehitetty vedetön prosessi, joka perustuu metallikloridin ja alkoksidin väliseen reaktioon. Prosessi soveltuu puhtaan piin päällä kasvatettavan porttioksidin tekoon. Ryhmä julkaisi Science-lehdessä tähän liittyen artikkelin, jossa hapen lähteenä oli käytetty veden sijasta metallialkoksidia. Tällä menetelmällä voidaan estää piioksidikerroksen muodostuminen

piisubstraatin ja korkean dielektrivakion oksidikalvon välille. Tämän menetelmän edut, eli hyvä pii-oksidirajapinta ja mahdollisuus kasvattaa silikaattikalvoja, yhdistettynä muihin ALD-menetelmän etuihin, kuten kalvon paksuuden tarkka säätö, kalvon koostumuksen räätälöinti, mahdollisuus kasvattaa suurelle pinta-alalle ja kolmidimensionaaliselle pinnalle, ovat ainutlaatuisia ja niitä ei muilla menetelmillä kyetä saavuttamaan (kuva 3).

Lisäksi projektissa löydettiin maa-alkalimetalleille uusi haihtuva yhdisteryhmä, syklopentadienylyhdisteet. Projektissa syntyi myös patentti maa-alkalimetallien lähdeaineista ja niiden käytöstä ALD-ohutkalvojen kasvattamiseksi. Maa-alkalimetalleja tarvitaan ternäarisissä (esim. SrTiO_3), erittäin suuren dielektrivakion oksideissa ja ferroelektrisissä oksideissa (esim. $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$), joita käytetään muistipiireissä. Kolmas projektin tuloksista on uudentyyppinen prosessi jalometallikalvojen (Ru, Pt) valmistamiseen. Reaktiossa organometallisen lähdeaineen hiilivety ”poltetaan” hapella, jolloin metallien ja loudesta johtuen syntyy oksidikalvon sijaan metallikalvo. Tällä prosessilla on mikroelektroniikan lisäksi runsaasti muita sovellusalueita, kuten katalyytit ja polttokennot.

Edellä mainittujen tutkimustulosten lisäksi projektissa kehitettiin siirtymämetallinitridiohutkalvojen (TiN, TaN, NbN, MoN) kasvattamisessa uusia tyyppien lähdeaineita ja pelkistimiä. Työssä käytettiin ammoniakkia pelkistävämpiä tyypilähteitä. Ammoniakin ongelmana nimittäin oli, että sen reaktiivisuus alhai-



Kuva 3. Poikkileikkauskuvaa konformaalista Al_2O_3 -kalvosta, joka on kasvatettu kuviooidun piin pinnalle. Kalvo on yhtä paksu substraatin joka kohdassa.

sisä lämpötiloissa ei ollut kovin hyvä. Työssä valmistetut suojakalvot ovat erittäin toimivia ja niitä tullaankin käyttämään integroituina piireinä. Kaikista projektissa kehitetyistä osa-alueista poiki kymmenisen patenttia ja 41 tieteellistä julkaisua. Lisäksi projektissa syntyi kolme tohtorin ja viisi maisterin tutkintoa.

Leskelän ryhmässä kehitetyille tekniikoille odotetaan laajaa käyttöä sovelluksissa. Ohutkalvoja käytetään laajasti nykYTEKNIKASSA mm. mikrotietokoneiden prosessoreissa, DRAM-muistikomponenteissa, magneettisissa luku- ja kirjoituspäissä, litteissä näytöissä, monissa optiikan sovelluksissa, nanoteknologian sovelluksissa ja lisäksi uusia sovelluksia odotetaan olevan useita. ALD-tekniikka on teollisesti käytössä monilla edellä mainituilla alueilla eli litteissä näytöissä, mikroelektronikan kalvoissa ja luku- ja kirjoituspäissä. ALD-tekniikan soveltuvuutta tutkitaan voimakkaasti mm. optiikan, mikroelektromekaanisten systemien (MEMS), polttokennojen ja katalyyttien alueella. EMMA-projektin kanssa samaan aikaan Helsingin yliopistossa oli käynnissä ja sitä seurasi Tekes ja yritysprojekteja. Nämä yhdessä Suomen Akatemian rahoituksen kanssa ovat mahdollistaneet tehokkaan tutkimustu-

lostien siirtymisen käytännön tason sovelluksiin. ”Sovellus ja korkea tiede eivät olekaan toisiaan poissulkevia: Jos perustieteen asiat eivät ole hallussa, soveltaminenkaan ei ole mahdollista”, Leskelä toteaaakin.

Akatemian rahoituksen merkitys

Suomen Akatemia rahoitti EMMA-tutkimusprojektia vuosina 1999-2002 vajaan 3,5 vuoden ajan. ”Kun Akatemian rahoituksen saa kolmeksi vuodeksi, puhutaan äärettömän suuresta merkityksestä. Tällöin jatkuvuus on taattu ja on aikaa keskittyä tutkimukseen. Akatemian rahoitus mahdollistaa yhtenäiset ja hyvät väitöskirjat”, kuvailee Leskelä.

Leskelä arvostaa erityisesti Akatemian asiallista raportointikäytäntöä ja sitä, että isoissa tutkimusohjelmaprojekteissa nuorille tutkijoille koulutuksellisesti ja motivoimismielessä tärkeitä tapaamisia ja seminaareja on runsaasti. Samoin uusin yhteistyökuvioiden syntyminen saa häneltä kiitosta. EMMA-projektin jälkeen Leskelällä on ollut useita Akatemian hankkeita, joissa on jatkettu työtä ALD-menetelmien parissa. Leskelä on toiminut vuoden 2004 elokuusta lähtien akatemiaprofessorina.

Tulevaisuuden haasteet

Mikroelektronikan tutkimuksessa pyritään jatkuvasti ohuempiin kalvoihin, pienempiin rakenteisiin ja suurempaan kolmidimensionaalisuuteen. Tämä on erittäin haasteellista, koska materiaalia on kyettävä rakentamaan atomitasolta lähtien, liitettävä erilaisia materiaaleja yhteen, jolloin rajapinta ongelmat kasvavat ja kasvatettava kalvoja hyvin syviin uriin ja korkeisiin harjanteisiin. Lisäksi tavoitteena on jatkuvasti kehittää uusia ALD-prosesseja ja laajentaa ALD:lla prosessoitavien materiaalien kirjoa. Nanomateriaalien räätälöinti ja pinnoit-

taminen on eräs tärkeä haastava tutkimusalue, johon ALD-menetelmä tarjoaa monia etuja. Selektiivinen kasvattaminen pinnoille on toinen tulevaisuuden alue. Se helpottaisi pienten rakenteiden tekemistä ilman litografiatekniikoita. Lääketieteellisessä instrumentiikassa, kuten myös biomateriaaleissa, löytyy myös mahdollisia käyttökohteita, joita Leskelän ryhmässä on tarkoitus tutkia tarkemmin. Haasteita löytyy lisäksi uusien materiaaliyhdistelmien kehittämisestä. ”Tieteellisessä mielessä nano-, bio- ja epäorgaanisen materiaalin yhdistäminen on jännää”, alan edelläkävijänä pidetty Leskelä innostuu.

Taustaa tutkimusaiheelle

Mikroelektronikan materiaalikehitys oli kauan pitkälti komponenttien koon pienentämistä ja tätä kautta sirun tehon lisäämistä. 1900-luvun puolessa välissä tämä tie oli kuljettu loppuun. Alumiinin korvasi paremmin johtava kupari, joka kuitenkin diffundoituu pihin tuhoten komponentin, mikäli niitä ei eristetä toisistaan. Tämän vuoksi tarvittiin suojakalvo (barrier), mihin soveltuvat siirtymämetallinitridit. Transistoreissa tarvitaan dielektrinen oksidi lähteen ja nielun väliin. Tämä oksidi kasvatetaan suoraan piin päälle, jonka päälle tulee edelleen metallielektrodi. Kun lähteen ja nielun väli lyhenee, eristävän oksidin paksuuden pitää pienentyä. Liian ohut kerros piioksidia ei enää toimi eris-

teenä, vaan aiheuttaa vuodon transistorissa. Tätä varten tarvitaan uusi metallioksidi, joka eristää myös erittäin ohuena kalvona. Kaikki edellä mainitut uudet materiaalit pitää pystyä kasvattamaan ohuena kalvona kolmidimensionaaliselle pinnalle. Siksi mikroelektronikkaan tarvittiin uusi menetelmä, tähän pystyvä on ALD. ALD-tekniikassa kalvon kasvu tapahtuu yksittäisten saturoitujen pintareaktioiden kautta. Tällä tekniikalla on Suomessa pitkät perinteet 1970-luvulta Tkt Tuomo Suntolan tutkimuksista lähtien, joissa Lohja Oy:n Näyttöelektronikassa kehitettiin elektroluminoivia ohutkalvonäyttöjä. Helsingin yliopistossa ALD-tutkimus alkoi Markku Leskelän siirryttyä sinne vuonna 1990.

OULULAINEN KONENÄKÖTUTKIMUS KANSAINVÄLISTÄ KÄRKEÄ

Oulun yliopistossa on viime vuosina tehty merkittävää tutkimusta konenäköön liittyvää tekstuurianalyysissa. Professori Matti Pietikäisen johtaman konenäön tutkimusryhmän kehittämää Local Binary Pattern (LBP) -tekstuurimenetelmää on sovellettu mm. metsäteollisuudessa ja kasvojentunnistuksessa. Suomen Akatemian vuosina 1999-2002 rahoittaman projektin tulokset olivat erityisen keskeisiä menetelmän läpimurrossa.

Kansainvälinen läpimurto

Konenäön tavoitteena on luoda koneelle kyky analysoida kameralla tai muulla kuvälähteellä kuvattua näkymää, ymmärtää näkymän sisältö ja käyttää tätä tietoa erilaisissa sovelluksissa. Pietikäisen ryhmä on jo pitkään tutkinut kuvien ja kuvasekvenssien analysointimenetelmiä ja -tekniikoita, mutta varsinaisia merkki-paaluja olivat Akatemian rahoittamassa projektissa tehdyt läpimurrot. Pietikäisen tutkimusryhmä teki tuolloin kaksi perustavaa laatua olevaa havaintoa LBP-tekstuurioperaattoria koskien: Paikalliset kuviot ja kontrasti ovat toisistaan riippumattomia kuvatekstuurin ominaisuuksia ja ns. yhtenäisillä kuvioilla on hallitseva rooli LBP-pohjaisessa tekstuurien erotelussa. Pietikäisen ryhmä kehitti teoreettisesti ja laskennallisesti yksinkertaisia, paikallisiin binäärikuvioihin (LBP) ja harmaasävyjen erotushistogrammeihin perustuvia, erittäin suorituskykyisiä menetelmiä. Nämä menetelmät osoittautuivat huomattavasti paremmiksi kuin kaikki aikaisemmat tekstuurianalyysiin käytetyt menetelmät.

LBP-menetelmän vahvuus on sen yksinkertaisuus. Analysoitavan tekstuu-

rin, esimerkiksi valokuvan, jokaisen pisteen harmaasävyä verrataan vieressä olevien pisteiden sävyihin. Saatujen tietojen avulla lasketaan tilastollisia jakaumia, joita voidaan verrata jo tunnettujen tekstuurien jakaumiin. Mikäli jakaumat ovat riittävän samanlaiset, tiedetään kyseessä olevan sama tekstuuri. Pisteiden keskinäinen vertailu tekee LBP:stä erityisen toimivan muuttuvissa olosuhteissa. Aikaisemmin tarkkoihin tuloksiin on päästy laboratorioden vakio-olosuhteissa, mutta esimerkiksi valaistuksen muuttuessa toiset menetelmät eivät enää ole toimineetkaan. LBP:n perusidea tekstuurin pisteiden keskinäisestä vertailusta varmistaa toimivuuden myös tällaisessa muutoksessa.

Menetelmän leviäminen maailmalle

Akatemian projektissa tehty tutkimus teki menetelmän laajalti tunnetuksi tiedemaailmassa, ja saadut tulokset julkaistiin alan arvostetuimmissa lehdissä. Esimerkiksi alan parhaassa lehdessä (IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence) vuonna 2002 julkaistu LBP:tä käsittelevä artikkeli herätti suurta mielenkiintoa. Monet kansainväliset tutkimusryhmät ottivatkin menetelmän käyttöön ja jatkokehittelyyn. Akatemian rooli on Pietikäisen mukaan erityisen keskeinen uusille tutkimusalueille siirryttäessä: ”Akatemian rahoitus muodostaa ytimen, jonka ympärille voidaan rakentaa kokonaisuutta. Kun tutkimusryhmässä eletään yleensä kädestä suuhun, kolmen vuoden vapaa rahoitus antaa mahdollisuuden tehdä isompia tutkimuskokonaisuuksia”.

Pietikäisen ryhmä on pyrkinyt voimakkaasti edistämään LBP-menetelmän

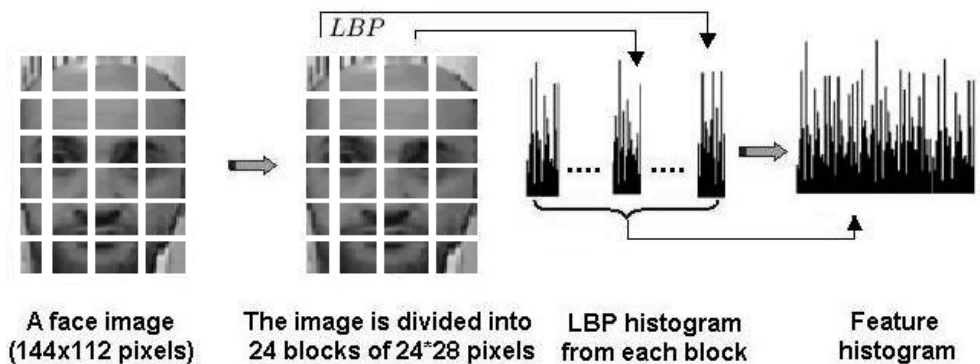
leviämistä yhä laajemmin. ”Menetelmän leviämisessä oikealla tavalla on tärkeää, että se on muiden käytettävissä”, Pietikäinen huomauttaa. Tutkimusryhmän kotisivuilta löytyykin vapaasti käytettäviä valmiita ohjelmistoja. Leviämistä on edistänyt myös tiivis kansainvälinen yhteistyö. Vanhin kontakti on Marylandin yliopistoon, jossa Pietikäinen vieraili jo väitöskirjaansa tehdessään 1980-luvun alussa. Uusimpia yhteistyökumppaneita ovat olleet mm. ranskalaiset ja kiinalaiset tutkimuslaitokset. Korkeatasoisen LBP-tutkimuksen johdosta ryhmälle on riittänyt jopa ylitarjontaan saakka halukkaita kumppaneita. ”Nykytilanteessa on mahdollista valita yhteistyöhön vain alan parhaita tutkimusryhmiä”, Pietikäinen toteaa tyytyväisenä.

Monenlaisia sovellusmahdollisuuksia

Pietikäisen ryhmä pyrkii tutkimuksessaan käytännön hyödynnettävyyteen. LBP:n sovellusmahdollisuudet yritysmaailmassa ovatkin moninaiset. Tärkeimmät tämän hetken kohteet löytyvät visuaalisesta laadunvalvonnasta sekä kasvojentunnistuksesta. Menetelmää on käytetty myös esimerkiksi ilmakeuhanalyseissa ja biolääketieteen sovelluksissa.

Tähän mennessä suomalaiset yritykset ovat hyödyntäneet Pietikäisen ryhmän kehittämää menetelmää eniten metsäteollisuudessa. Konenäköön perustuvan laadunvalvonnan avulla voidaan parantaa merkittävästi sahojen ja paperitehtaiden tuottavuutta ja tuotteiden laatutasoa eli vahvistaa kriittisiä kilpailutekijöitä. LBP:n avulla erilaisia vikoja voidaan havaita luotettavasti. Esimerkiksi suomalaisten sahojen laadutustarkkaukset puupintojen tarkastuksessa on Oulun yliopistossa kehitettyjen ratkaisujen avulla saatu nousemaan 80 prosentista lähelle sataa, mikä johtuu mm. tyypillisten vikojen, kuten oksien, paremmasta erottuvuudesta. Paperiteollisuudessa LBP:n hyödyntäminen on kehitysvaiheessa. Tarkoituksena on ottaa paperikoneesta kamerajärjestelmällä kuvia, joista kartoitetaan paperin ominaisuudet Pietikäisen ryhmän kehittämällä ratkaisulla. LBP:n nopeus mahdollistaisi prosessin ohjaamisen haluttuun suuntaan ilman paperikoneen pysäyttämistä.

Tutkimustulosten soveltamista teollisuuteen on edesauttanut myös spin-off-yritys. Ryhmässä tutkijatohtorina toimiva Topi Mäenpää perusti jo väitöskirjaansa tehdessään Intopii Oy:n. Intopiiin LBP-menetelmään perustuvat tuotteet



Kuva 4. Yksinkertaistettu kaaviokuva kasvojen kuvaamisesta LBP-histogrammien avulla.

ovat käytössä visuaalisen laadunvalvonnan sovelluksissa eri teollisuuden aloilla. Yritys on kasvanut tasaisesti ja on äskettäin tehnyt yhteistyösopimuksen maailman suurimman konenäköjärjestelmien valmistajan, amerikkalaisen Cognex Corporationin kanssa.

Suomalainen tutkimus säteilee laajalle

LBP-menetelmään liittyvä perustutkimus on jatkunut, ja viime aikoina on saavutettu uusia läpimurtoja. Ihmisen kasvojen tunnistaminen on konenäön tutkijoita suuresti kiehtova tutkimusalue, koska sillä on runsaasti sovellusmahdollisuuksia tulevaisuuden ihminen-kone -liitynnöissä, biometrisessä tunnistamisessa, videovalvonnassa ja ihmisiä sisältävien kuvien haussa tietokannoista. Tutki-

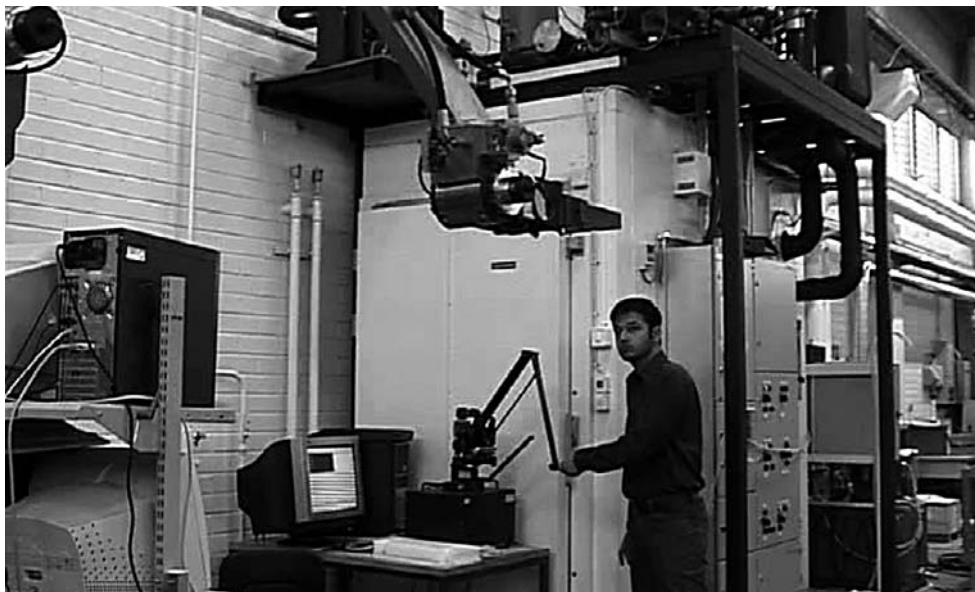
musryhmän kasvojen tunnistukseen kehittämä menetelmä (kuva 4), ja sillä saavutetut erinomaiset tulokset, ovat herättäneet suurta kansainvälistä huomiota. Esimerkiksi Kiinan tiedeakatemian tutkijat esittelivät lokakuussa 2005 LBP-menetelmää soveltavan tarkan ja nopean kasvojentunnistusjärjestelmän. Viimeaikaiset tulokset ovatkin osoittaneet, että LBP-metodiikkaa voidaan soveltaa konenäössä paljon laaja-alaisemmin kuin alunperin voitiin edes kuvitella. Pietikäinen uskoo, ettei LBP-menetelmän kaikkia käyttömahdollisuuksia ole vielä edes osattu hahmottaa: ”Tutkimus on tähänkin asti edennyt suuntiin, jotka tutkimuksen alkuvaiheessa eivät olisi tulleet mieleenkään. Katson avoimin mielin tulevaisuuteen.”

SUOMEN AKATEMIAN RAHOITTAMALLA PROJEKTILLA KESKEISEEN ASEMAAN KANSAINVÄLISESSÄ FUUSIOHANKKEESSA

Tampereen teknillisessä yliopistossa on 20 vuoden ajan tehty vesihydrauliikkaan keskittyvää korkeatasoista tutkimusta, joka oli yksi merkittävä tekijä, kun IHA (Institute of Hydraulics and Automation) valittiin Suomen Akatemian huippuyksiköksi vuosiksi 2000-2005. Huippuyksikön johtajana on toiminut professori Matti Vilenius. Yksikköön keskittyneen osaamisen ansiosta Tampereelle on rakenteilla myös kansainvälinen ITER-reaktorin huollon kehityskeskus testilaboratorioineen.

*Vesihydrauliikan osaamisella etä-
operoinnin kehityskeskus Tampereelle*
Vileniuksen ryhmällä oli vuosina 1998-

2000 käynnissä Suomen Akatemian rahoittama projekti, jossa tutkimusaiheena oli vesihydraulisten toimilaitteiden teleoperointi eli kaukokäyttö. Projekti kuului kokonaisuuteen, jossa Akatemian, Tekesin ja EU:n rahoituksella tutkittiin öljyhydraulisen telemanipulaattorin muuttamista vesihydrauliseksi. Lähtökohtana vesihydraulisen toimilaitteen tutkimukselle oli reaktorin herkkyys pisarallekin öljyä. Toinen projektin tutkimuksen kohteista oli voiman tunnon tuominen telemanipulaattoriin auttamaan käyttäjää, kun hän tarttuu etäohjaustilanteessa siirrettävään kappaleeseen. Akatemian rahoituksella tutkimusryhmä sai selvitettyä perusasiat, joiden



Kuva 5. Pakistanilainen jatko-opiskelija kauko-ohjaa telemanipulaattoriprototyyppiä IHA:n laboratoriossa

pohjalta jatkettua monivuotista tutkimusta tuloksena on IHA:n laboratoriossa maailman ensimmäinen vesihydraulinen telemanipulaattori (kuva 5).

IHA:ssa yhdistyy vahva tieteellinen osaaminen sekä halu soveltaa sitä. Vilenius näkee tässä yhteydessä Suomen Akatemian rahoittaman projektin keskeisenä: ”Akatemian rahoituksella päästiin aloittamaan työskentely alueella, jolla tulee olemaan tulevaisuudessa paljon sovelluskohteita”. Tutkimustyö tehtiin yhteistyössä ranskalaisen tutkimusorganisaatio CEA:n (French Atomic Energy Commission) kanssa. Projekti muodosti tärkeän palasen IHA:ssa tehtävästä ITER-fuusioreaktorin huoltolaitteisiin keskittyvästä hankkeesta.

Mikä on ITER-ohjelma?

Jatkuvasti kasvava energiantarve ja samanaikainen pyrkimys vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ovat ITER-fuusio-ohjelman taustalla. Tämä yhtälö johtaa uusien ympäristöystävällisten energiantuottotapojen tarpeeseen. Fuusiotutkimuksella pyritäänkin edistämään laajasti saatavilla olevan ja ehtymättömän energianlähteen hyödyntämistä. ITER-ohjelmaa (tulee latinan sanasta tie) voisi kutsua kokeelliseksi vaiheeksi tämän päivän plasmafysiikkatutkimusten ja huomisen sähköä tuottavien voimalaitosten välillä.

Fuusio-ohjelmassa ovat mukana Kiina, Sveitsi, Japani, Korea, Venäjä, USA sekä EU. ITER-reaktori itsessään rakennetaan Ranskaan. Reaktorin ”jätessäiliönä” toimivat divertorit, jotka keräävät fuusioplasmaa karkaavat nopeasti hiukaset, poistavat syntyvän heliumin ja estävät haitallisten epäpuhtauksien ryömmimisen plasmaan. Divertorit tulevat huoltaa säännöllisin väliajoin, ja tähän tarvitaan etäoperointia ja virtuaalitekniikoita, koska radioaktiivisuuden vuoksi se ei ole mahdollista ihmisvoimin.

IHA:n osaaminen ainutlaatuista

Tampereella IHA:ssa on tehty pitkään tutkimusta etäoperoinnin ja vesihydraulisten manipulaattorilaitteiden parissa ja viety osaamista fuusio-ohjelmaan vuosien aikana. Tämän taustan ansiosta Vileniuksen yksikön arvo tunnustettiin valittaessa etäoperoinnin kehityskeskukseen sijoituspaikkaa: TTY/IHA:n ja VTT/Industrial Systemsin muodostaman konsortion perustama ROViR-keskus (Remote Operation and Virtual Reality Centre) voitti EU:n tarjouskilpailun kehityskeskukseen isännöinnistä. Parhailaan VTT:n tiloihin Tampereelle rakenteilla oleva keskus aloittaa toimintansa syksyllä 2006. Keskus tulee toimimaan FUSION-ohjelman maailmanlaajuisena etäohjattujen huoltolaitteiden tutkimusympäristönä, minkä johdosta toiminta Tampereella tulee olemaan hyvin kansainvälistä.

Vilenius pitää Akatemian vuosina 1998-2000 rahoittamaa projektia erityisen keskeisenä tarvitun perusosaamisen kartuttamisessa, ja sillä oli tärkeä merkitys markkinoitaessa laitoksen osaamista ITER-hankkeessa myös muihin tarkkain voima- ja asemasäätöä vaativiin tehtäviin. Vilenius uskoo projektin olleen muutoinkin arvokas yksikön kehittymiselle: ”Ehdottomasti tämä projekti oli tärkeä väliappi matkalla huippuyksikön saamiseen”. Yksiköstä valmistuneiden tutkijoiden osaaminen on saanut tunnustusta myös työelämässä: ”Meiltä väitelleet tohtorit ovat työllistyneet erittäin hyvin. Tohtoreita on lähtenyt yrityksiin sekä Suomeen että ulkomaille ja osa on myös perustanut omia yrityksiä. Toisaalta useat ovat jatkaneet akateemista uraa menestyksekkäästi”, Vilenius kertoo tyytyväisenä.

Tutkimushaasteita riittää

Tällä hetkellä Vileniuksen ryhmä tutkii tunnon tuomista telemanipulaattoriin.

”Kyllähän näkö on helppo tuoda mukaan, mutta tuntoa tarvitaan, jotta divertori pystytään ottamaan hallitusti ja tarkasti pois esim. fuusioreaktorista. Tämä ei ole helppoa, mutta se olisi erittäin olennaista luotettavuuden kannalta”, Vilenius pohtii. ”Divertori painaa 10-15 ison henkilöauton verran, ja se tulee saada millintarkasti pois. Se vaatii hyvin tarkkaa robotiikkaa”, Vilenius valottaa edelleen tutkimuksen vaativuutta. Tutkimusryhmä on kiinnostunut raskaiden kappaleiden tarkkaan käsittelyyn liittyvistä aiheista myös ITER-hankkeen ulkopuolelta.

Tutkimushaasteita riittää Vileniuksen mukaan sekä vesihydrauliikan tekni-

sen tason nostamisessa että uuden strategian mukaisesti digitaalihydrauliikassa, jota IHA on tuomassa myös vesipuolelle. Tähän liittyen tutkimusryhmä on kehittänyt nykyistä parempaa servotekniikkaa koko EU:n alueelle. Servotekniikan avulla pyritään ratkaisemaan ongelmia, jotka liittyvät erilaisten laitteiden nopeuden, aseman, paineen tai jonkin muun fyysisen suureen säätöön. IHA:ssa on tarkoitus jatkaa kansainvälistä toimintaa. Vilenius uskoo kansainvälisen hankkeen edistävän tutkimustulosten siirtymistä maailmalle ja myös tutkijoiden onnistunutta vaihtoa, joka puolestaan johtaa yhä korkeatasoisempaan tutkimukseen.

SÄHKÖJÄRJESTELMIEN TUTKIMUKSESTA UUSIA INNOVAATIOITA JA TEOLLISUUS- ELEKTRONIIKKA

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa on kehitetty tekniikkaa, jonka avulla pystytään siirtämään tietoa moottori-kaapelissa erittäin häiriöisissä olosuhteissa sähkömoottorin ja sitä ohjaavan taajuudenmuuntajan välillä. Professori Jarmo Partasen ryhmä tutki Suomen Akatemian rahoittamassa ”Teollisuuden sähköjärjestelmien älykäs hallinta” -projektissa vuosina 1998-2000 sähkökoneiden ja -käyttöjen kunnonvalvontaa. Teollisuuden sähköjärjestelmien älykällä hallinnalla voidaan saavuttaa merkittäviä energia- ja investointisäästöjä sekä parantaa tuotantoprosessin käyttövarmuutta. Sähkökäyttöjen kunnonvalvonnan tutkimuksen pitkän tähtäimen tavoitteena onkin kehittää automaattista ja luotettavaa diagnostiikkaa sähkömoottoreille.

Teollisuussovelluksia sähköjärjestelmien tutkimuksesta

Tutkimusryhmä ryhtyi 1990-luvun puolivälissä pohtimaan teollisuussähköjärjestelmien mahdollisia kehityskohteita. Yhdeksi potentiaalisimmista kohteista nousi ennakoiva kunnonvalvontajärjestelmä, jolla voidaan hankkia tietoa moottoreiden kunnosta ja samalla aikaansaada merkittäviä taloudellisia säästöjä. Esimerkiksi induktiomoottorien vauriot aiheuttavat merkittävän osan teollisuuslaitosten keskeytysajasta. Kattavalla kunnonvalvonnalla voidaankin vähentää teollisuuslaitoksen käyttökatoja. ”Paperitehtaassa voi olla noin 3000 sähkömoottoria, jotka ovat hyvin kriittisiä prosessin kannalta. Tällöin niiden reaaliaikainen kunnonvalvonta on hyvin tärkeää”, Par-

tanen kuvailee tutkimusalueensa merkittävyyttä.

Uutena tiedonsiirtokanavana ryhdyttiin tutkimaan sähkömoottorin ja taajuusmuuttujan välistä moottori-kaapelia. Sovelluksessa sähkömoottorille kehitetty älykäs anturi analysoi jatkuvatoimisesti moottorin kuntoa ja lähettää moottori-kaapelia tiedonsiirtokanavana hyödyntäen analyysin tulokset kunnossapitajärjestelmälle (kuva 6). ”Uusia kaapeleita ei tarvita tiedonsiirtoa eikä tehonsyöttöä varten”, Partanen täsmentää. Sovelluksen merkittävänä etuna onkin edullinen asennettavuus. Tutkimustuloksia hyödyntävän kaupallisen sovelluksen kehittäminen on parhaillaan käynnissä yhteistyöyritysten toimesta.

Kunnonvalvontatietojen lisäksi tiedonsiirtoyhteys tarjoaa edullisen mahdollisuuden esimerkiksi prosessiin liittyvän videokuvan välittämiseen valvomon. Yhteys tarjoaa uusia kehitysmahdollisuuksia myös moottoreiden taajuusmuuttajien ohjausalgoritmien kehittämiseen. Moneen sovellukseen sopivan tiedonsiirtojärjestelmän lisäksi tutkimus on tuottanut uutta yleishyödyllistä tietoa moottori-kaapeleiden suurtaajuusominaisuuksista.

Sähkökoneen ja -käyttöjen kunnonvalvonnan tutkimuksen sivutuotteena syntyivät tuoteideat pienvesivoimagineeraattorin tahdistamisesta sähköverkkoon ja sähköverkon tilan valvomisesta käyttäen uudenlaista mittaumenetelmää, joka tekee niistä aiempia ratkaisuja edullisemmän ja luotettavamman. Nämä tuotteet ovat nykyään kaupallisia ja niitä on myyty pienvesivoimaloihin useisiin

maihin.

Partanen korostaa, että tutkimuksessa on kyse aina koko ryhmän työstä. Erityisen keskeisessä roolissa kyseisessä hankkeessa olivat professori Jero Ahola ja tutkijaopettaja Tuomo Lindh, jotka tekivät kyseisessä projektissa väitöskirjatutkimustaan. Tutkijoiden yritys Power Factor Oy on tuotteistanut tutkimuksen tuloksia.

Julkisen tutkimusrahan ja yritystuen yhdistelmällä tuloksiin

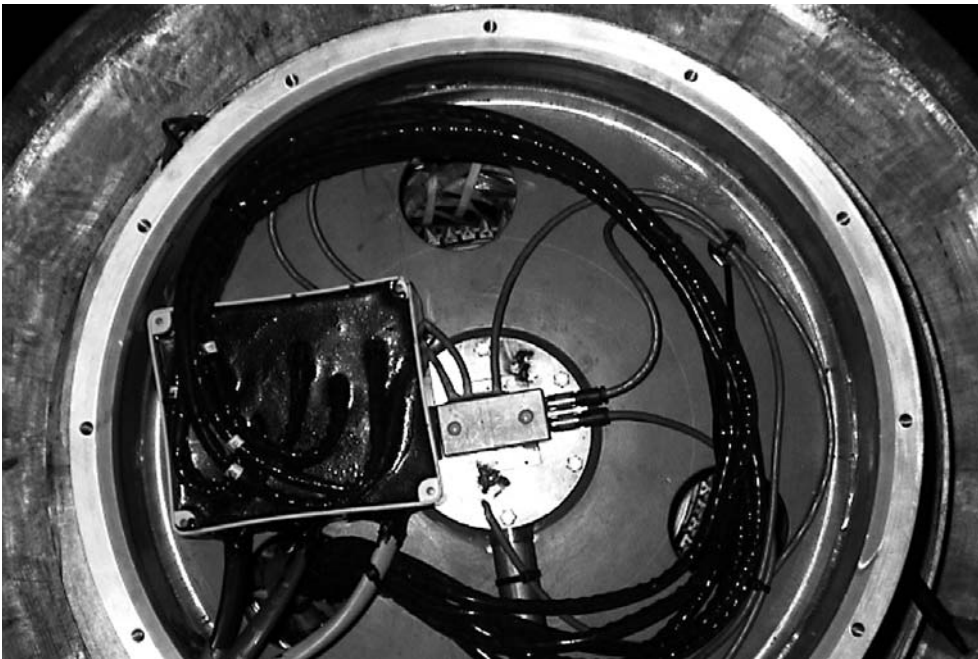
Suomen Akatemia ja Tekes ovat tukeneet Partasen ryhmän tutkimustyötä. Julkisen rahoituksen lisäksi yrityksiltä tullut rahoitus on ollut keskeistä. Partasen ryhmä on toiminut erittäin tiiviissä yhteistyössä ABB:n kanssa, joka on myös resursoinut laboratoriot. Lisäksi yhteistyötä on useiden muiden yritysten kanssa.

Partanen näkee onnistuneen rahoituspaketin koostuvan eri rahoitustahojen yhdistelmästä. Tiiviistä yritysyhteistyöstä huolimatta hän painottaakin julkisen

rahoituksen merkitystä uusille tutkimusalueille siirryttäessä: ”Pelkällä yritysrahoituksellakin pärjättäisiin varmasti parin vuoden ajan, mutta sitten eväät olisi käytetty: Ei olisi enää mitään uutta, jota voitaisiin jalostaa pidemmälle.” Partanen näkee Suomen Akatemian rahoituksen tärkeäksi tässä yhteydessä: ”Asian tieteellisen pohjan perusteelliselle selvittämiseksi Akatemian rahoitus on ollut keskeinen”.

Partanen kokee perustutkimuksen ja soveltamisen kulkevan rinnakkain.

”Usein kirjallisuudessa puhutaan innovaatioketjuista, joissa tehdään rinnakkain perustutkimusta, soveltavaa tutkimusta ja yritystahon tuotekehitystä. Olen sitä mieltä, että juuri sellaisesta ketjusta on meidänkin tapauksessa kyse”, Partanen määrittelee. Onkin sääli, että Suomen Akatemian perustutkimusrahat ovat vain murto-osa Tekesin soveltavan tutkimuksen varoista luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen aloilla. Niinpä näitä tehokkaita rinnakkaisia innovaatioketjuja ei pääse syntymään runsaammin.



Kuva 6. kunnonvalvonta-anturointia vesivoimalaitoksen generaattorissa.

Suomen Akatemian rahoittaman luonnontieteiden ja tekniikan alojen tutkimuksen vaikuttavuuden arvioinnissa on analysoitu tutkimushankkeissa saavutettuja tuotoksia tieteellisen, taloudellisen ja muun yhteiskunnallisen vaikuttavuuden näkökulmasta.

Tavoitteena oli selvittää, minkälaisiin tieteellisiin aikaansaannoksiin ja sovelluksiin hankkeissa on päästy sekä eritellä niihin vaikuttavia tekijöitä. Vaikuttavuusraportissa tarkastellaan myös hankkeiden soveltavaa ja teollista merkitystä, teknologian siirtoa ja sen käyttöönottoa sekä Akatemian rahoituksen vaikutusta tutkimukselle ja innovaatiojärjestelmälle.

Raportti sisältää esimerkitapauksia Akatemian rahoituksen merkityksestä. Lisäksi siinä on luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan näkemyksiä ja johtopäätöksiä toimialansa tulevasta kehityksestä.



SUOMEN AKATEMIA

Vilhonvuorenkatu 6 • PL 99, 00501 Helsinki
Puhelin (09) 774 881 • Faksi (09) 7748 8299
www.aka.fi • viestinta@aka.fi