

# SÄHKÖTEKNIIKAN ALAN TUTKIMUKSEN KARTOITUS

Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunta 23.5.2016



SUOMEN AKATEMIA



Suomen Akatemia

**Sähkötekniikan alan tutkimuksen kartoitus**

Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunta 23.5.2016

# ESIPUHE

Suomen Akatemia päätti vuonna 2015 toteuttaa suomalaisen sähkötekniikan alan tutkimuksen kartoituksen. Kartoitus on jatkoa toimikunnan aiemmin toteuttamille tieteenala-arvioinneille. Perusteena kartoituksen toteuttamiselle oli sähkötekniikan alan merkitys tieteen ja sovellusten kannalta, sekä muutokset yliopistojen ja teollisuuden toimintaympäristöissä.

Sähkötekniikka on ollut Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan (LT) painopiste-aloista ja Akatemia on suunnannut alalle tutkimusohjelmia varsinkin 2000-luvun alussa, samanaikaisesti elektroniikkateollisuuden voimakkaan kasvun kanssa. Erityisesti alalle suunnattuja ohjelmia ovat olleet Elektroniikan materiaalit ja mikrosysteemit -tutkimusohjelma EMMA (1999–2002)<sup>1</sup>, tietoliikenne-elektroniikkatutkimusohjelmat Teletronics I ja II (1998–2003)<sup>2</sup> ja Tulevaisuuden elektroniikka -tutkimusohjelma TULE (2003–2006)<sup>3</sup>. Näillä laajoilla ohjelmilla pyrittiin alan perustutkimuksen tieteellisen tason nostamiseen ja tutkimustulosten sovellusmahdollisuuksien kasvattamiseen. Vuodesta 2013 alkaen sähkötekniikan alan suunnattua tutkimusrahoitusta on kohdistettu erityisesti ICT2023-ohjelman<sup>4</sup> puitteissa langattoman tietoliikenteen ja perinteisen elektroniikan yhdistäville alueille, kuten sensoreiden ja kehittyneiden mikrokomponenttien tutkimukseen.

Sähkötekniikan alan merkitys teollisuudessa on ollut perinteisesti suuri. Elektroniikka- ja sähköteollisuus koostuu tietoliikennelaitteiden, sähkökoneiden ja instrumenttien valmistuksesta. Teknologiateollisuus ry:n mukaan<sup>5</sup> vuonna 2014 alan yritysten liikevaihto Suomessa oli 14,9 miljardia euroa. Henkilöstöä Suomessa oli 42 000 ja ulkomailla 114 000. Tuotannosta menee vientiin lähes 80 prosenttia ja alan vienti on puolet koko teknologiateollisuuden viennistä. Ala panostaa tutkimus- ja kehitystyöhön, useilla osa-alueilla yli 10 prosenttia yritysten liikevaihdosta.

Sektori on ollut myös merkittävä teollisuuden ja yliopistojen yhteisten tutkimushankkeiden rahoittaja, mikä on johtanut muutoksiin yliopistojen ja yritysten yhteistyön laajuudessa ja toimintatavoissa. Alan tutkimuskohteissa on myös tapahtunut muutoksia elektroniikan ja tietotekniikan kehittymisen seurauksena, mikä on avannut uusia sovellusmahdollisuuksia ja laajentanut sähkötekniikan aluetta.

Tutkimuksen tuloksellisuuden osalta viitteitä muutoksista on nähty Tieteen tila 2014 -selvityksessä<sup>6</sup>, jossa vertailtiin suomalaisten yliopistojen julkaisujen keräämiä viittaussmääriä suhteessa kansainväliseen tasoon. Sähkötekniikan osalta tulokset osoittivat, että alan suomalaisten julkaisujen saamat viittaussmäärät ovat viime vuosien aikana olleet laskussa kansainväliseen tasoon verrattuna.

Sähkötekniikan alan kartoituksen päämääränä on antaa kuva alan tutkimuksen nykytilanteesta tutkijoiden ja tutkimuksen määrän sekä alan rahoitustilanteen kautta. Näin voidaan arvioida, onko esimerkiksi Tieteen tila-selvityksen antama kuva tutkimuksen tason laskusta nähtävissä muun aineiston tarkastelussa. Lisäksi sähkötekniikan alan laitosten johtajilta yliopistoissa on pyydetty omia arvioita alan tilasta sekä tulevaisuuden haasteista. Näiden kanssa on esitetty Suomen Akatemian tietojärjestelmistä saatavia tietoja rahoituksesta ja tutkimusrahoitushakemusten määrästä ja sisällöstä.

LT-toimikunnan puolesta  
toimikunnan puheenjohtaja, professori Paula Eerola

<sup>1</sup> <http://www.aka.fi/fi/tiedepoliittinen-toiminta/akatemiaohjelmat/paattyneet-tutkimusohjelmat/uusi-sivu110/>

<sup>2</sup> <http://www.aka.fi/fi/tiedepoliittinen-toiminta/akatemiaohjelmat/paattyneet-tutkimusohjelmat/TeletronicsIjaII/>

<sup>3</sup> <http://www.aka.fi/fi/tiedepoliittinen-toiminta/akatemiaohjelmat/paattyneet-tutkimusohjelmat/uusi-sivu123/>

<sup>4</sup> <http://www.aka.fi/ict2023>

<sup>5</sup> <http://teknologiateollisuus.fi/fi/jasenet/elektroniikka-ja-sahkoteollisuus>

<sup>6</sup> <http://www.aka.fi/fi/tiedepoliittinen-toiminta/tieteen-tila/tieteen-tila/>

# SISÄLLYS

<b>Esipuhe .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Johdanto.....</b>	<b>6</b>
<b>2 Materiaalit ja menetelmät .....</b>	<b>7</b>
2.1 Henkilöstö ja tutkimusympäristö.....	7
2.2 Rahoitus.....	8
2.3 Sähkötekniikan tutkimusyksiköt.....	8
2.4 Tieteelliset ja muut vaikutukset .....	9
2.4.1 Julkaisutietokannat .....	9
2.4.2 Suomen Akatemian tietojärjestelmät .....	10
<b>3 Henkilöstö, rahoitus ja infrastruktuurit .....</b>	<b>11</b>
3.1 Henkilöstökehitys kokonaisuudessaan ja yliopistoittain.....	11
3.2 Tutkimusyksiköiden rahoituslähteet.....	15
3.3 Akatemian rahoitus sähkötekniikan tutkimukseen.....	16
3.3.1 Tutkijatehtävät .....	17
3.3.2 Hanke- ja ohjelmarahoitus .....	18
3.3.3 Muu Akatemian myöntämä rahoitus.....	19
3.4 Tutkijakoulut sähkötekniikan alalla ja niiden paikkamäärät.....	19
3.5 Tutkimusinfrastruktuurit .....	20
<b>4 Julkaisukartoitus .....</b>	<b>22</b>
4.1 Julkaisumäärät 2005–2014 .....	22
4.1.1 Eniten viitatu julkaisut .....	24
4.2 Patentit.....	24
<b>5 Sähkötekniikan alan tutkinnot.....</b>	<b>26</b>
5.1 Diplomi-insinöörin tutkinnot .....	26
5.1.1 Diplomi-insinöörien sijoittuminen tutkinnon jälkeen .....	27
5.2 Tohtorin tutkinnot.....	27
5.2.1 Tohtorin tutkintojen rahoitus.....	28
5.2.2 Uudet professorit .....	29
5.2.3 Tohtorien urapolut .....	30
5.2.4 Avoimet vastaukset tutkinnon merkityksestä työelämässä .....	31
<b>6 Yhteiskunnallinen vaikuttavuus .....</b>	<b>32</b>
6.1 Tutkijoiden liikkuvuus .....	32
6.2 Spin off -yritysten synty.....	33
6.2.1 Tutkimuksen merkitys Spin off -yritysten syntyyn .....	34
6.3 Teollisuusyhteistyö.....	35
6.4 Menestystarinat .....	35

<b>7</b>	<b>Alan tulevaisuuden näkymät.....</b>	<b>40</b>
7.1	Tutkimusrahoitushakemusten nousevat aiheet.....	40
7.1.1	Nousevat avainsanat.....	40
7.1.2	Myöntöjen kohdistuminen avainsanojen mukaan.....	42
7.1.3	Laitosten tutkimuksellinen yhtenevyys avainsanojen kautta.....	42
7.2	Laitosjohtajien arviot alan tulevasta kehityksestä.....	43
<b>8</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>46</b>
<b>Liite 1</b>	<b>Vaikuttavuuskysely.....</b>	<b>48</b>

# 1 JOHDANTO

Sähkötekniikan alan kartoituksen päämäärät ja menetelmät pohjautuvat Suomen Akatemian valmistelemaan työhön ja sen pohjalta 29.4.2015 Akatemiassa järjestettyyn keskustelutilaisuuteen, johon osallistivat Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen yksikön ja toimikunnan edustajat sekä sähkötekniikan alan tutkimusta tekevien laitosten johtajat tai heidän edustajansa kuudesta suomalaisesta yliopistosta. Tilaisuuden keskusteluissa käsiteltiin tutkimuksen ja tutkimusympäristöjen tilaa ja sen pohjalta muotoiltiin esitys kartoituksen toteutustavasta. Keskustelun yhteenvedossa todettiin, että kartoituksen tavoitteena on saada selville alan tutkijakunnan laajuus, tutkimuksen rahoitusprofiili ja tutkijoiden julkaisutoiminnan laajuus, sekä näitä kuvaavien tunnuslukujen muutokset viimeisten kymmenen vuoden aikana. Muina tärkeinä tarkastelun kohteina nähtiin erityisesti muutokset yliopistojen ja yritysten yhteistyössä ja jatko-opintojen rahoituksessa sekä miten nämä muutokset heijastuvat yliopistojen koulutustarpeisiin, tutkimusprofiiliin ja rahoitukseen. Tavoitteena oli löytää toteutustapa, jolla kartoitukseen tarvittava tieto saadaan kerättyä tarkoituksenmukaisesti ja tehokkaasti.

Suomalaisissa yliopistoissa on viime vuosina tehty tutkimuksen arviointeja, joissa myös sähkötekniikka on ollut kohteena. Esimerkkeinä ovat Aalto-yliopiston<sup>7</sup> ja Oulun yliopiston<sup>8</sup> tutkimuksen arvioinnit. Näissä arvioinneissa kohteena on ollut koko yliopiston tutkimus, eikä näissä arvioinneissa ole paneuduttu yksittäisen tutkimusalan erityispiirteisiin. Suomen Akatemia on viimeksi teettänyt LT-toimikunnan vastuutieteenaloilta laajat tieteenala-arvioinnit fysiikan alalta vuonna 2012<sup>9</sup> ja kemian alalta vuonna 2011<sup>10</sup>. Nämä raportit perustuivat kansainvälisten paneelien tekemiin arviointeihin eri tutkimusyksiköistä. Tieteen tila 2014-raportti puolestaan perustui bibliometriseen analyysiin, joka tehtiin pelkästään julkaisutuotannon pohjalta. Käsillä oleva sähkötekniikan alan kartoitus päätettiin tutkijakunnan edustajien kanssa järjestetyssä keskustelutilaisuudessa toteuttaa joustavammin laitosjohtajille suunnattujen kyselyjen avulla. Tällä tavoiteltiin tarkempaa kuvaa yksittäisen alan kehityksestä ja muutostarpeista laajaan Tieteen tila -tyyppiseen raporttiin verrattuna.

Kartoitus kattoi suurimmat sähkötekniikan alan tutkimusta tekevät laitokset Aalto-yliopistosta, Tampereen teknillisestä yliopistosta, Oulun yliopistosta, Vaasan yliopistosta ja Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta. Kussakin yliopistossa tiedonkeruuseen osallistuneet tutkijat määrittelivät selvityksen kohteet, jotka kattoivat sähkötekniikan, elektroniikan ja tietoliikennetekniikan aloja. Sähkötekniikan lähialoista automaatiotekniikka pyrittiin rajaamaan kartoituksen ulkopuolelle. Osissa kartoituksen piiriin kuuluneita yliopistoja automaatiotekniikan tutkimusta tehdään muun sähkötekniikan kanssa samoissa laitoksissa, samoin esimerkiksi osa signaalinkäsittelyn tutkimusta on lähellä tietojenkäsittelytiedettä.

Kartoituksen käytännön toteutuksesta huolehti Suomen Akatemian Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen yksikkö, jossa valmisteltiin tarvittavien tietojen keruu yliopistoilta ja suoritettiin yliopistoista ja muista lähteistä saadun materiaalin analysointi. Kartoitus kohdistui yliopistoissa tehtävään tutkimukseen, koska näistä on saatavissa keskenään yhdenmukaista tietoa henkilöstön, rahoituksen, suoritettujen tutkintojen ja tutkimuksen vaikuttavuuden osalta. Sähkötekniikan tutkimusta tehdään myös tutkimuslaitoksissa, erityisesti VTT:llä, ja vähäisemmässä määrin muissa yliopistoissa.

<sup>7</sup> [http://dept.ics.aalto.fi/calls/rae2009/aalto\\_rae\\_2009\\_panel\\_reports.pdf](http://dept.ics.aalto.fi/calls/rae2009/aalto_rae_2009_panel_reports.pdf)

<sup>8</sup> [http://www.oulu.fi/external/RAE2013/OuluUniv\\_RAE2014\\_report.pdf](http://www.oulu.fi/external/RAE2013/OuluUniv_RAE2014_report.pdf)

<sup>9</sup> [http://www.aka.fi/globalassets/awanhat/documents/tiedostot/julkaisut/8\\_12\\_physics-research.pdf](http://www.aka.fi/globalassets/awanhat/documents/tiedostot/julkaisut/8_12_physics-research.pdf)

<sup>10</sup> [http://www.aka.fi/globalassets/awanhat/documents/tiedostot/julkaisut/1\\_11\\_chemistry-research-in-finland.pdf](http://www.aka.fi/globalassets/awanhat/documents/tiedostot/julkaisut/1_11_chemistry-research-in-finland.pdf)

## 2 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Alan tutkijakunnan laajuus selvitettiin kartoituksen piiriin kuuluvien yliopistojen laitosjohtajille suunnatulla kyselyllä, jossa pyydettiin nimeämään sähkötekniikan tutkimusta tekevät henkilöt eri uraportailta viimeisen kymmenen vuoden aikana. Henkilöstökartoitukseen perustuen tehtiin alan tieteellisen tuloksellisuuden analyysi selvittämällä professorien julkaisu- ja viittausmäärien kehitys vuosien 2005–2014 aikana. Kartoituksen kohteena olleiden yksiköiden muuta vaikuttavuutta selvitettiin jatkokyselyllä. Tämä kohdistui koulutustoiminnan laajuuteen perustuen suoritettuihin diplomi-insinöörien ja tekniikan tohtoreiden tutkintoihin, tutkimusyksiköiden ja yritysten yhteyksiin, uusien yritysten syntyyn sekä laitosjohtajien käsityksiin alan tulevaisuuden näkymistä. Kyselylomake on liitteessä 1.

Muina tietolähteinä käytettiin opetushallinnon Vipunen-tilastopalvelua<sup>11</sup>, Suomen Akatemian tietojärjestelmiä, ja Suomen Akatemiassa toimivan tutkimuksen vaikuttavuustyöryhmän erikseen toteuttamaa kyselyä sähkötekniikan alan tohtorintutkinnon suorittaneille. Vipunen-palvelun avulla haettiin vertailutietoa alan henkilöstökehityksestä ja tutkinnon suorittaneiden työllistymisestä. Akatemian tietojärjestelmien avulla selvitettiin alan tutkimukseen haetun ja myönnetyn rahoituksen tarkempi jakautuminen sekä selvitettiin tutkimusrahoitushakemuksissa esiintyvien avainsanojen avulla tutkimusaiheiden määrällistä kehitystä ajan suhteen ja eri aiheita sisältävien hakemusten menestystä rahoituspäätöksiä tehtäessä. Erillisellä sähkötekniikan alan tohtorintutkinnon suorittaneille suunnatulla kyselyllä selvitettiin tohtoreiden kokemuksia työllistymisestä ja tutkinnon merkityksestä työelämässä.

### 2.1 Henkilöstö ja tutkimusympäristö

Yksityiskohtaiset henkilöstölistat on saatu neljästä yliopistosta (Aalto, Oulu, Tampere, Vaasa). Lappeenrannan osalta kartoitus perustuu sähkötekniikan professoreihin vuoden 2015 tilanteen mukaan. Muista neljästä yksiköstä saatiin tavoitellut tiedot viimeiseltä viideltä vuodelta, osittain myös pitemmältä ajalta. Vastausten mukaan pitemmän ajan tilastotietojen puute on seurausta tietojärjestelmien muutoksista ja yliopistojen laitosrakenteiden uudelleenorganisoinneista, jotka näyttävät vaikeuttavan oleellisesti pitkän aikavälin tunnuslukujen keräämistä. Henkilöstötietoja käytettiin alan tutkijamäärän kehityksen selvittämiseen. Osoittautui, että henkilöstötietoja, kuten yleensä muitakaan tilastotietoja, ei ole kaikista yksiköistä saatavilla tavoitellulla kymmenen vuoden jaksolla. Henkilöstö eriteltiin jatko-opiskelijoihin (tutkijaurataso I), tutkijatohtoreihin (taso II), lehtoreihin, yliopistotutkijoihin ja vastaaviin (taso III), sekä professoreihin (taso IV). Kaikista yksiköistä jatko-opiskelijoiden ja tutkijatohtoreiden määriä ei saatu kohdennettuna yhtenevästi tasojen III ja IV henkilöiden kanssa erikseen tavoitellulle sähkötekniikan alalle. Henkilölistojen perusteella tilastoitiin eri henkilöstöryhmien määrien kehitystä viimeisen viiden vuoden aikana, mikä antaa kuvan alan tutkijakunnan laajuudesta. Tutkimusympäristöjen tilaa kartoitettiin pyytämällä laitosjohtajilta listausta yliopistoissa käytössä olevista tutkimusinfrastruktuureista.

<sup>11</sup> <https://vipunen.fi/fi-fi>

## 2.2 Rahoitus

Tutkimusyksiköiltä pyydettiin tiedot tutkimuksen rahoituksen lähteistä viimeisten vuosien ajalta, jotta mahdollisten muutosten vaikutukset tutkimukseen tai suoritettujen tutkintojen määrään voitaisiin arvioida. Yleisesti ottaen talousasiat ovat yksiköissä tarkan seurannan alla ja tilastoja rahoituslähteistä oli hyvin saatavissa. Rahoituslähteissä tapahtuneiden muutoksien arviointia vaikeutti kuitenkin se, että monissa kartoituksen kohteena olleissa yksiköissä oli tapahtunut muutoksia, joissa tutkimusyksikkö oli siirtynyt uuden organisaatorakenteen alle. Tavoitteena olleen kymmenen vuoden sijasta joissain tapauksissa jouduttiin tyytymään viiteen viime vuoteen tarkasteluajanjakson osalta.

## 2.3 Sähkötekniikan tutkimusyksiköt

Kartoituksessa oli mukana tutkimusyksiköitä viidestä suomalaisesta yliopistosta. Sähkötekniikan ala on tässä kartoituksessa määritetty tutkijalähtöisesti: kartoituksen alussa Suomen Akatemiaan kutsuttiin sähkötekniikan alan laitosten johtajina toimivia professoreita eri yliopistoista. Heidän kauttaan kartoituksen henkilöstökyselyllä selvitettiin alan tutkijakunta eri yliopistoissa. Kohderyhmä on siis määräytynyt käyttäen kriteerinä sitä, että alan tutkijat tunnustavat ko. yksikön ja sen tutkijat sähkötekniikan alaan kuuluvaksi. Taulukko 1 sisältää yhteenvedon tähän kartoitukseen sisällytettyjen sähkötekniikan tutkimusta tekevien yksiköiden rakenteesta. Mukana olevat yksiköt perustuvat kunkin yliopiston tutkijoiden näemykseen siitä, mitkä tutkimusalat kuuluvat sähkötekniikan piiriin. Yksiköiden valintaa ei siis ole koordinoitu ennalta, joten eri yliopistojen kohdalla valitut yksiköt kattavat hieman erilaisia tutkimusalueita.

Kolmessa yliopistossa tutkimus on järjestetty tiedekunnittain, kaksi yliopistoa on jaettu kouluihin. Oulun yliopistossa tiedekunta on jaettu osastoihin, muualla Lappeenrantaa lukuun ottamatta tiedekunnan alaisuudessa toimivat laitokset. Tampereen teknillisen yliopiston osalta kolme kurssiivilla nimettyä yksik-

Taulukko 1. Sähkötekniikan alan kartoitukseen valitut yliopistot ja yksiköt, perustuen sähkötekniikan alan laitosjohtajien näkemysalan tutkimuksesta. Aalto-yliopistossa ja Tampereen teknillisessä yliopistossa kohdeyksiköiden nimikkeenä on laitos, Oulun yliopistossa laboratorio ja Vaasassa yksikkö. Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa alan tutkijat toimivat LUT School of Energy Systems -yksikössä.

Yliopisto / Yksikkö	Aalto-yliopisto	Tampereen teknillinen yliopisto	Oulun yliopisto	Vaasan yliopisto	Lappeenrannan teknillinen yliopisto
<b>Tiedekunta / koulu</b>	Sähkötekniikan korkeakoulu	Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta, Luonnontieteiden tiedekunta	Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta	Teknillinen tiedekunta	LUT School of Energy Systems
<b>Osasto</b>			Sähkötekniikan osasto, Tietoliikenteen tekniikan osasto		
<b>Laitos / yksikkö</b>	Mikro- ja nanotekniikan laitos, Radiotieteen ja -tekniikan laitos, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos, Sähkötekniikan ja automaation laitos, Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos	Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos, Signaalinkäsittelyn laitos, Sähkötekniikan laitos, Tietotekniikan laitos, Optoelektroniikan tutkimuskeskus	Elektroniikan laboratorio, Mikroelektroniikan ja materiaalfysiikan laboratorio, Optoelektroniikan ja mittaustekniikan laboratorio	Sähkö- ja energia-tekniikan yksikkö	



köä yllä olevassa taulukossa on ollut mukana henkilöstö- ja julkaisukartoituksessa, kun taas rahoituslähteiden selvitys on tehty kahdesta laitoksesta. Luokittelu vastaa yliopistojen tilannetta vuonna 2015. Osassa yliopistoja on tapahtunut organisaatorakenteen muutoksia viimeisen kymmenen vuoden aikana, joten kaikki kartoituksessa esitetyt tilastot eivät viittaa nykyiseen rakenteeseen.

Yksiköiden henkilöstömäärän kehitys viimeisen viiden vuoden aikana selvitettiin kyselyllä. Määrät on esitetty jaoteltuna neljään osaan: taso I (jatko-opiskelijat), taso II (tutkijatohtorit), taso III (yliopistotutkijat ja lehtorit) ja taso IV (professorit). Tämä vastaa Opetus- ja kulttuuriministeriön käyttämää neliportaista tutkijauraluokitusta<sup>12</sup>, jossa taso 1 (nimike ”nuorempi tutkija”, koulutus ylempi korkeakoulututkinto) vastaa tyypillisesti väitöskirjaa tekevää jatko-opiskelijaa, porras 2 (tutkijatohtori) kattaa ensimmäiset vuodet tohtorintutkinnon jälkeen, porras 3 (yliopistonlehtori) vaatii tohtorintutkinnon lisäksi näyttöjä itsenäisestä tutkimustyöstä ja opintojen ohjauksesta. Porras 4 vastaa professorin pätevyyttä, jossa edellisten lisäksi vaatimuksena osoitus akateemisesta johtajuudesta. Erityisesti tasojen III ja IV suhteen eri yliopistojen käytännöissä on eroja sen suhteen, mille tasolle henkilöstö on luokiteltu.

## 2.4 Tieteelliset ja muut vaikutukset

Alan tieteellistä vaikutusta selvitettiin bibliometrinen tunnuslukujen avulla käyttäen kohteena tutkijauratason IV henkilöitä. Tutkimuksen muuta tuloksellisuutta on selvitetty kartoituksen toisen osan avulla. Tieteellinen vaikutus määritellään tässä yksinkertaisesti julkaistujen tutkimusten määrän ja niiden muilta tutkijoilta saamien viittausten avulla. Samassa yhteydessä on tarkasteltu myös tutkimuksen johdosta syntyneitä patenteja ja niiden saamia viittauksia. Julkaisukartoituksen päämäärä ei ensi sijassa ollut julkaisutoiminnan tieteellisen laadun kartoitus, koska tämä olisi edellyttänyt laajempaa vertailua muiden maiden sähkötekniikan tutkimuksen kanssa. Julkaisukartoituksessa pyrittiin saamaan selville mahdolliset julkaisutoiminnan määrässä ja julkaisuihin tulleissa viittauksissa tapahtuneet muutokset vuosien 2005–2014 aikana. Julkaisukartoituksessa selvitettiin julkaisujen määrän kehitystä viimeisen kymmenen vuoden aikana, julkaisujen saamia viittauksia ja patenttien syntymistä ja niiden saamia viittauksia.

Sähkötekniikan alan tutkimuksen kartoituksen toisen osan kyselylomakkeessa (Liite 1) kartoitettiin tutkimuksen muuta tuloksellisuutta. Muut tulokset kattavat suoritettut tutkimukset ja yritysten synnyn. Kartoituksessa selvitettyihin tohtorintutkintoihin perustuen on Suomen Akatemiassa erillisellä selvityksellä kartoitettu tohtorien urapolkua väitöksen jälkeen. Tutkijoilta pyydettiin myös arvioita alan tutkimuksen tulevaisuuden näkymistä.

### 2.4.1 Julkaisutietokannat

Julkaisutietojen kerääminen perustui Publish or Perish -ohjelmaan<sup>13</sup> (PoP), joka hakee tiedot Google Scholar -palvelun<sup>14</sup> (GS) tietokannasta. Tämä menetelmä valittiin, jotta kaikista henkilöistä voitiin kerätä tiedot yhdenmukaisella tavalla. Insinööritieteissä joillain tieteenaloilla huomattava osa julkaisutoiminnasta tapahtuu foorumeilla, joiden julkaisu- ja viittaustiedot eivät näy usein käytetyssä Thomson Reutersin Web of Science -palvelussa<sup>15</sup> (WOS). Edellä mainituille julkaisutietopalveluille on yhteistä se, että niiden taustalla olevat tietokannat ja palvelujen käyttämät algoritmit eivät ole avoimia. Tämä vaikeuttaa eri menetelmillä saatujen tulosten vertailua. GS- ja WOS-tietokantoja verrattiin tarkastelemalla muuttaman valitun henkilön julkaisutietoja kummassakin tietokannassa. Henkilöiden valintaperusteena käytettiin suhteellisen laajaa julkaisutuotantoa ja sitä, että henkilöiden tutkimusalat edustavat kattavasti sähkötekniikan eri osa-alueita. GS-tietokannasta on mahdollista saada tuloksia kahdella tavalla. Mikäli henkilö

<sup>12</sup> <http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2008/liitteet/tr15.pdf?lang=fi>

<sup>13</sup> <http://www.harzing.com/pop.htm>

<sup>14</sup> <https://scholar.google.fi/>

<sup>15</sup> <http://apps.webofknowledge.com/>

Taulukko 2. Google Scholar- ja ISI Web of Science -tietokantojen ero kuuden sähkötekniikan eri alueita edustavan tutkijan avulla esitettyinä.

Henkilö (ala)	Julkaisuja (GS)	Julkaisuja (WoS)	Viittauksia (GS)	Viittauksia (WoS)	h-indeksi (GS)	h-indeksi (WoS)	Top 10 GS-julkaisuista WoS:issa
<b>A</b> (tietoliikennetekniikka)	283	125	5105	522	32	11	1
<b>B</b> (elektroniikka)	394	281	4290	1686	33	20	10
<b>C</b> (akustiikka, signaalinkäsittely)	327	110	7010	1404	38	17	5
<b>D</b> (radiotekniikka)	279	140	2902	646	27	13	6
<b>E</b> (sähkötekniikka)	77	39	1591	1220	21	18	8
<b>F</b> (tietoliikennetekniikka)	229	102	2558	316	20	7	3

on rekisteröitynyt Scholar-palvelun käyttäjäksi, on hänellä ns. Google Scholar -sivu, joka sisältää haku-koneen konstruoiman julkaisuluettelon ja julkaisuihin tulleet viittaukset. Sivun näyttää myös viittausten kokonaismäärän ja h-indeksin. Mikäli henkilöllä ei ole GS-sivua, saadaan Scholar-palvelusta lista julkaisuista ja kunkin julkaisun saamat viittaukset. Publish or Perish -ohjelma (PoP) käyttää jälkimmäistä tapaa, ja saatujen tulosten todettiin monessa tapauksessa poikkeavan GS-sivun vastaavasta, yleensä niin että jälkimmäisessä viittausten määrä on suurempi. Erot eivät kuitenkaan olleet niin suuria, että sitä olisi pidetty esteenä PoP-ohjelman käytölle.

Tietokantojen välisen eron arvioimiseksi muutamalle pitkällä ajalla julkaisseelle henkilölle tehtiin julkaisukartoitus molempia tietokantoja käyttäen. Esimerkkihenkilöt edustivat eri sähkötekniikan aloja eri yliopistoissa niin, että heidän julkaisuprofilinsa vastaa mahdollisimman hyvin koko alan käytäntöjä. Taulukko 2 näyttää julkaisujen ja viittausten määrät molempien tietokantojen mukaan. Kaikissa tapauksissa GS antaa korkeammat julkaisu- ja viittausmäärät ja joillain henkilöillä erot ovat erittäin suuria.

Julkaisun käsite tietokannoissa poikkeaa toisistaan. WoS sisältää käytännössä vain tieteellisiä aikakauslehtiä, kun taas GS sisältää näiden lisäksi kirjoja, konferenssijulkaisuja, patenteja ja periaatteessa myös muuta julkaistua materiaalia, kuten esimerkiksi luentomonisteita, jos ne ovat verkossa saatavilla niin, että hakukone voi ne indeksoida. Tyypillinen syy suureen viittausmäärien eroon on julkaistu oppikirja, joka kerää paljon viittauksia. Nämä näkyvät GS-tietokannassa, mutta puuttuvat WoS:ista. Taulukon viimeinen sarake kertoo, kuinka monta GS-tietokannan kymmenestä eniten viitattua julkaisusta löytyy WoS-listauksen kymmenen parhaan joukosta. Yleisesti ottaen kattavuuden erot heijastavat viittausmäärien eroja.

## 2.4.2 Suomen Akatemian tietojärjestelmät

Suomen Akatemian tietojärjestelmiä käytettiin sähkötekniikkaan suunnatun rahoituksen selvittämiseen ja rahoitushakemuksissa esiintyneiden aiheiden määrittelyyn. Nämä haut kohdistettiin niihin rahoitushakemuksiin ja -päätöksiin, joissa ensimmäinen hakijan ilmoittama tieteenala oli sähkötekniikan alalta. Tämän vuoksi nämä haut kohdistuvat osittain eri joukkoon kuin henkilöstö- ja julkaisukartoituksen henkilöt.

# 3 HENKILÖSTÖ, RAHOITUS JA INFRASTRUKTUURIT

## 3.1 Henkilöstökehitys kokonaisuudessaan ja yliopistoittain

Sähkötekniikan tutkimusta tekevissä yksiköissä olleen henkilöstön määrä neljässä viidestä kohteena olleessa yliopistossa vuoden 2014 lopussa (Taulukko 3) oli vertailulukuna myöhemmille suhteellisen henkilöstömäärän tarkasteluille.

Taulukko 3. Henkilöstön määrä sähkötekniikan alalla vuoden 2014 lopussa. Määrät perustuvat yksiköiden omaan ilmoitukseen. Lappeenrannan yliopiston osalta tiedot olivat saatavissa vain professoreista.

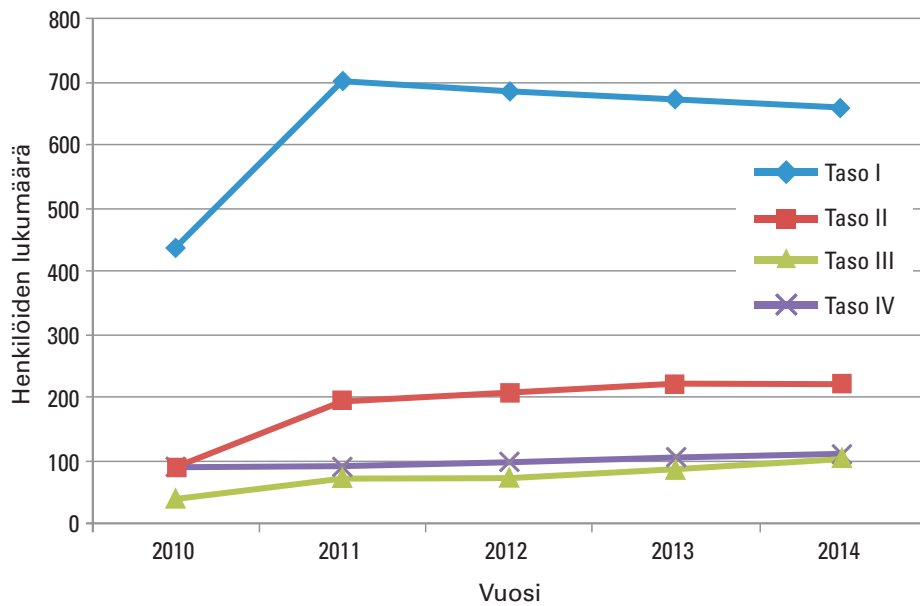
Yliopisto \ Urataso	Aalto	Tampere	Oulu	Vaasa	Lappeenranta
I, Jatko-opiskelija	256	280*	109	14	
II, Tutkijatohtori	72	109*	39	3	
III, lehtorit, yliopistotutkijat	44	38	23	2	
IV, Professori	57	30	20	5	6
<b>Yhteensä</b>	<b>429</b>	<b>457</b>	<b>191</b>	<b>24</b>	<b>6</b>

\* Tasojen I ja II henkilöiden kohdalla luvut sisältävät Tampereen osalta myös muiden kuin sähkötekniikan alan henkilöitä Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunnasta.

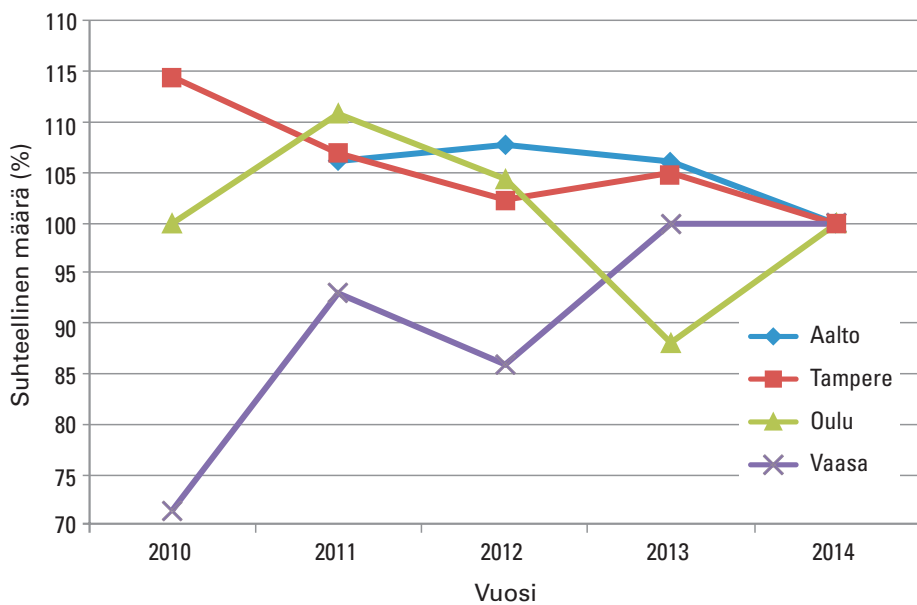
Tampereen teknillisen yliopiston kohdalla tasojen I ja II henkilöstömäärä viittaa kaikkien Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunnan laitosten ja Luonnontieteellisen tiedekunnan Optoelektroniikan tutkimuslaitoksen henkilöihin. Tasojen III ja IV osalta mukana ovat olleet Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos, Sähkötekniikan laitos ja tietotekniikan laitos Taulukko 1 mukaisesti. Tason IV henkilöstö on ollut kohteena julkaisuselvityksessä. Myös rahoitustarkastelu (luku 3.2) on tehty niille laitoksille, joissa tason IV henkilöstö on työskennellyt. Henkilöstömäärät osoittavat, että sähkötekniikan ja sen välittömien lähialojen tutkimus ja opetus on voimakkaasti keskittynyt Aalto-yliopistoon, Tampereen teknilliseen yliopistoon ja Oulun yliopistoon. Yhteenlasketun henkilöstömäärän kehitys graafisesti eri uratasoilla (Kuva 1) osoittaa, että jatko-opiskelijoiden määrä on pienentynyt viime vuosien aikana, tutkijatohtorien osalta lukumäärä on vakiintunut tai kääntymässä laskuun, kun taas tasojen III ja IV osalta lukumäärä on kasvussa. Opiskelijoiden määrä saattaa välittömimmin heijastaa yksiköiden rahoitustilannetta (luku 3.2). Kokonaisrahoitus on vuonna 2014 ollut yli kymmenen prosenttia vuoden 2012 tasoa pienempi.

Yliopistokohtainen suhteellisten muutosten tarkastelu uratasokohtaisesti kertoo, että vuosittainen kehitys henkilöstöryhmien osalta on jonkin verran vaihdellut yliopistosta toiseen, mikä saattaa olla seurausta rahoituksen ja strategisten valintojen eroista eri paikoissa.

Jatko-opiskelijoiden määrän kehitys (Kuva 2) näyttää, että väitöskirjan tekijöiden määrä on pysynyt ennallaan tai vähentynyt Vaasan yliopistoa lukuun ottamatta kaikissa paikoissa. Vaasan kohdalla suhteellisen määrän muutos tulee pienestä absoluuttisesta henkilömäärän muutoksesta neljällä hengellä. Yhtenevä kehitys antaa aiheen olettaa, että taustalla on kaikkia yliopistoja koskeva syy, joka voi olla alan kokonaisrahoituksen systemaattinen väheneminen (ks. luku 3.2), erityisesti yliopistojen oman rahoituksen osalta. Myös teollisuuden antama rahoitus on pienentynyt. Tällä on perinteisesti ollut sähkötekniikan alalla tärkeä rooli jatko-opintojen rahoituslähteenä.



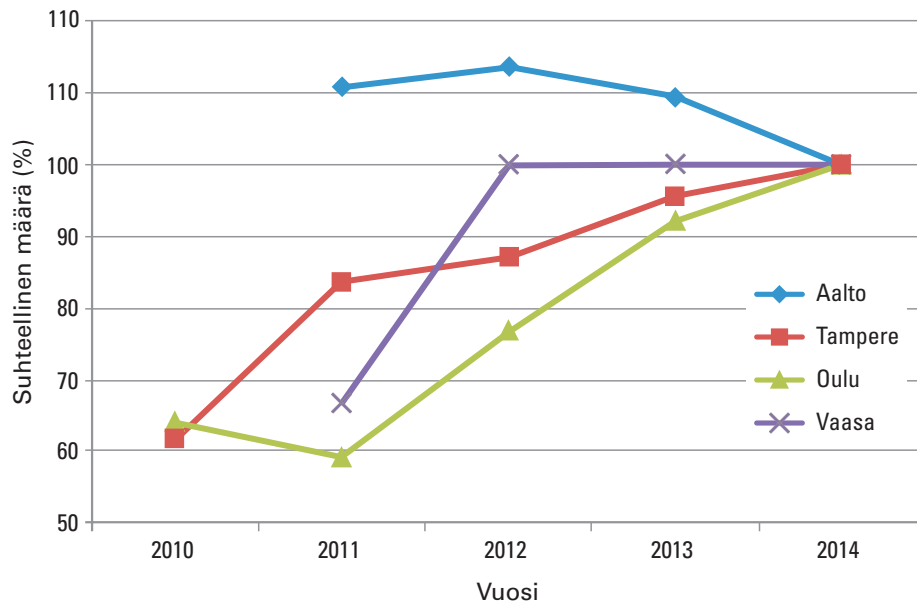
Kuva 1. Henkilöiden lukumäärän kehitys tutkijauratasoilla I (jatko-opiskelija) II (tutkijatohtori), III (yliopisto-tutkijat ja lehtorit) ja IV (professori) sähkötekniikan alalla vuosien 2010–2014 aikana Aalto-yliopistossa, Tampereen teknillisessä yliopistossa, Oulun yliopistossa ja Vaasan yliopistossa. Henkilöiden määrästä vuonna 2010 puuttuu Aalto-yliopiston osuus.



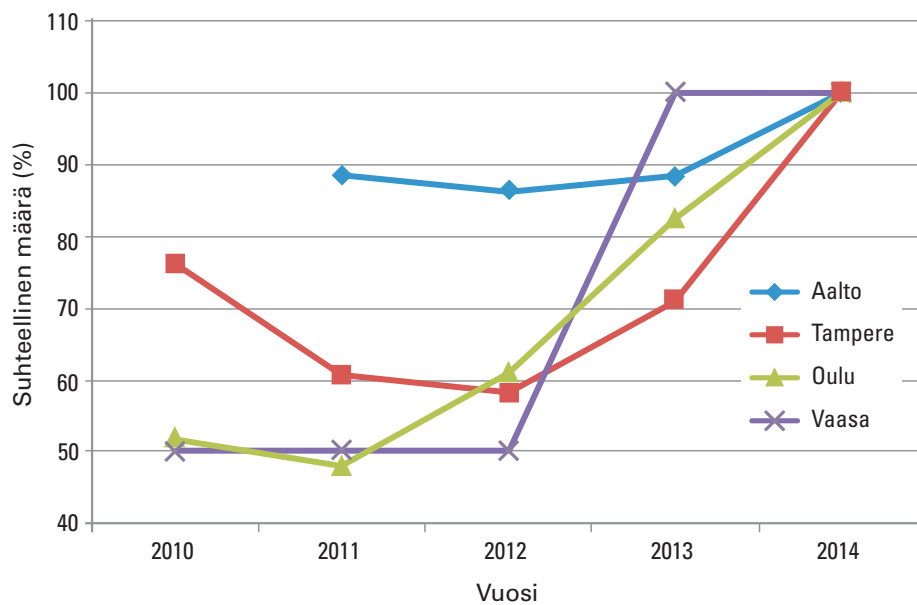
Kuva 2. Jatko-opiskelijoiden määrän suhteellinen muutos vuosina 2010–2014 neljässä yliopistossa. Määrät on esitetty prosentteina vuoden 2014 lopun tasosta (ks. Taulukko 3).

Tutkijatohtoreiden määrässä (Kuva 3) on tapahtunut Aalto-yliopistoa lukuun ottamatta kasvua. Poikkeus Aallon kohdalla saattaa johtua muista poikkeavasta käytännöstä tutkijatohtoreiden palkkaamisen suhteen, erityisesti siinä, voidaanko samasta yliopistosta väitellyt henkilö palkata tutkijatohtoriksi yksiköön, jossa jatko-opinnot on tehty.

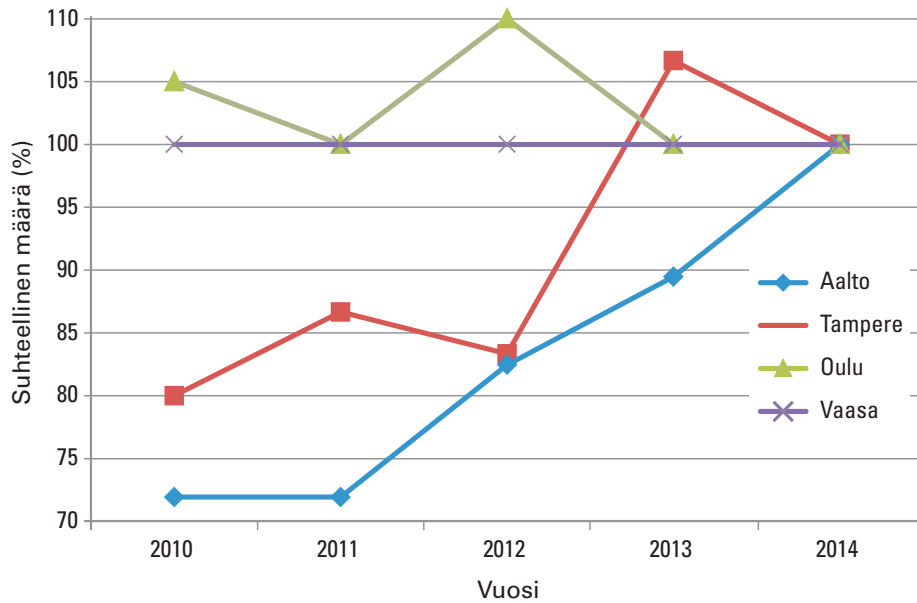
Tutkijauratasolla III olevien henkilöiden tunnistamiseen liittyy ongelmia johtuen luokittelujen vaihtelevuudesta ja nimikkeiden muuttumisesta tarkasteluajanjaksolla. Tällä tasolla nimikkeenä on usein lehtori tai yliopistotutkija, joskus myös associate tai assistant professor. Joissain tapauksissa jälkimmäiset on voitu luokitella tutkijauratasolle IV. Näiden henkilöiden määrä on kasvanut (ks. Taulukko 3 ja Kuva 4) ja on suuruudeltaan samaa luokkaa professorien määrän kanssa.



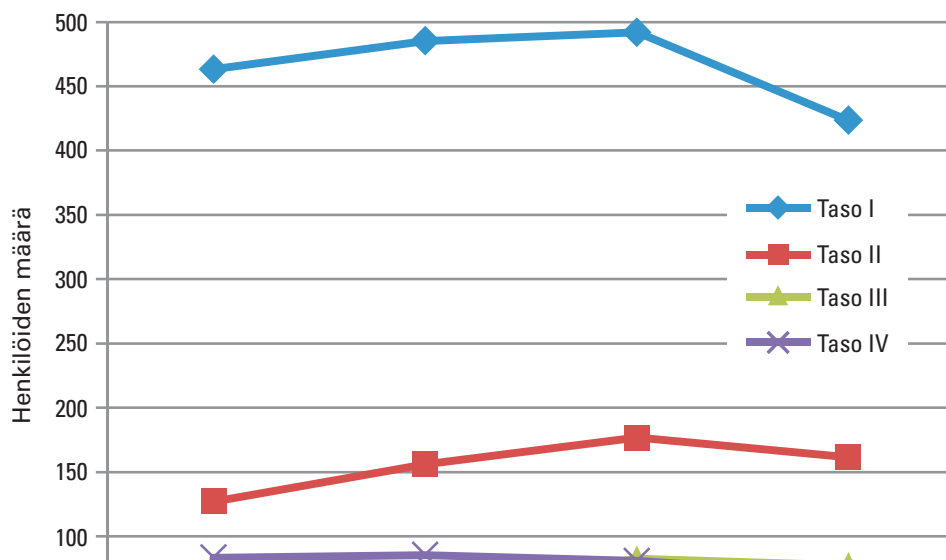
Kuva 3. Tutkijatohtoreiden määrän suhteellinen muutos vuosina 2010–2014 neljässä yliopistossa. Määrät esitetty prosentteina vuoden 2014 lopun tasosta (ks. Taulukko 3).



Kuva 4. Tutkijauratasolla III olevien määrän suhteellinen muutos vuosina 2010–2014 neljässä yliopistossa. Määrät esitetty prosentteina vuoden 2014 lopun tasosta (ks. Taulukko 3).



Kuva 5. Professoreiden (tutkijauratase IV) määrän suhteellinen muutos vuosina 2010–2014 neljässä yliopistossa. Määrät esitetty prosentteina vuoden 2014 lopun tasosta (ks. Taulukko 3).



Kuva 6. Henkilöstön määrä suomalaisissa yliopistoissa eri tutkijaurataseilla vuosina 2012–2015 opetus-hallinnon Vipunen-tietopalvelun mukaan, tieteenalaluokituksella sähkötekniikka, elektroniikka ja tietojenkäsittelytekniikka.

Professorien määrä on kasvanut kahdessa tarkastellussa yliopistossa (ks. Kuva 5). Tämä kuvastanee yliopistojen strategista päätöstä suunnata resursseja professoritason henkilöstön palkkaamiseen.

Vertailun vuoksi opetushallinnon Vipunen-tietopalvelusta<sup>16</sup> haettiin tiedot henkilöstömääristä suomalaisissa yliopistoissa tasoilla I–IV. Tiedot koskevat palvelun tarjoaman jaottelun mukaan tieteenalaluokituksen 2010 mukaisia yhdistettyä sähkötekniikan, elektroniikan ja tietojenkäsittelytekniikan henkilöstömääriä. Luokittelu siis poikkeaa tämän kartoituksen henkilöstökyselyistä. Kuva 6 näyttää käyrinä henkilöstömäärät tilastointivuosilta 2012–2015, joilta tietoja oli saatavissa.

Myös tässä aineistossa näkyy jatko-opiskelijoiden (Taso I) määrän selvä väheneminen, mikä kuvaa käytettävissä olevan rahoituksen supistumista. Myös tutkijatohtorien (Taso II) määrä on supistunut.

<sup>16</sup> <https://vipunen.fi/fi-fi/>

Tässä aineistossa myös professorien ja muiden senioritason henkilöiden (Tasot IV ja III) määrässä on tapahtunut hienoista laskua, toisin kuin tämän kartoituksen kohteena olleissa sähkötekniikan senioreiden määrässä. Tässä datassa näkyy myös henkilömäärien melko tasainen jakautuminen tutkijauratasojen III ja IV välille.

## 3.2 Tutkimusyksiköiden rahoituslähteet

Sähkötekniikan alan tutkimusta tekevien yksiköiden rahoituksen jakautumista selvitettiin kyselyllä, jossa pyydettiin jaottelemaan rahoituslähteet seuraavasti:

1. Oma organisaatio
2. Suomen Akatemia
3. Tekes
4. Muu kansallinen rahoitus, kuten ministeriöt tai säätiöt (ei elinkeinoelämä)
5. Kansainvälinen rahoitus eriteltynä (esim. ERC-rahoitus, muut)
6. Yritykset
7. Muu elinkeinoelämän rahoitus (esimerkiksi teollisuuden säätiöt)

Vastauksia pyydettiin kymmenen vuoden jaksolta 2005–2014. Saaduissa tiedoissa oli eroavaisuuksia organisaatioiden välillä sekä ajanjaksojen että rahoituslähteiden määrittelyjen suhteen. Neljän yliopiston tiedot saatiin viimeisen viiden vuoden ajalta. Erityisesti kohtien 6. ja 7. suhteen yksiköiden kirjaamiskäytännöt vaihtelevat jonkin verran, joten nämä kohdat on alla olevissa tilastoissa yhdistetty. Sähkötekniikan vuosittainen kokonaisrahoitus miljoonina euroina viimeisten viiden vuoden ajalta tarkasteltavissa yksiköissä on esitetty alla (Taulukko 4).

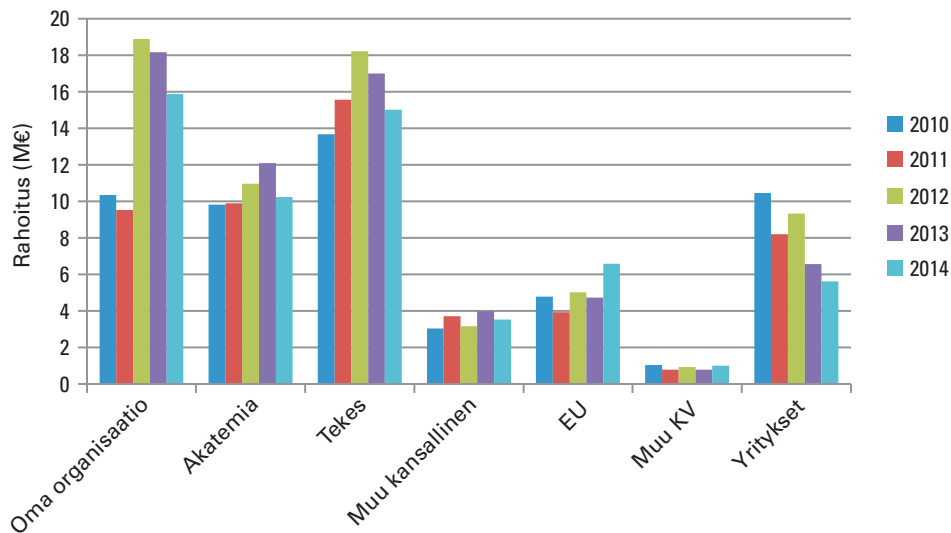
Taulukko 4 näyttää, että kokonaisrahoitus saavutti huippunsa vuonna 2012, ja on sen jälkeen taantunut yli 10 prosenttia. Verrattuna henkilöstökehitykseen kokonaisuudessaan (Kuva 1), aleneva rahoitus on toistaiseksi näkynyt vain jatko-opiskelijoiden määrässä.

Taulukko 4. Sähkötekniikan alan tutkimuksen kokonaisrahoitus miljoonina euroina vuosien 2010–2014 aikana Aalto-yliopistossa, Tampereen teknillisessä yliopistossa, Oulun yliopistossa ja Vaasan yliopistossa. Taulukko esittää rahoituksen täydellisesti vasta vuodesta 2012 alkaen.

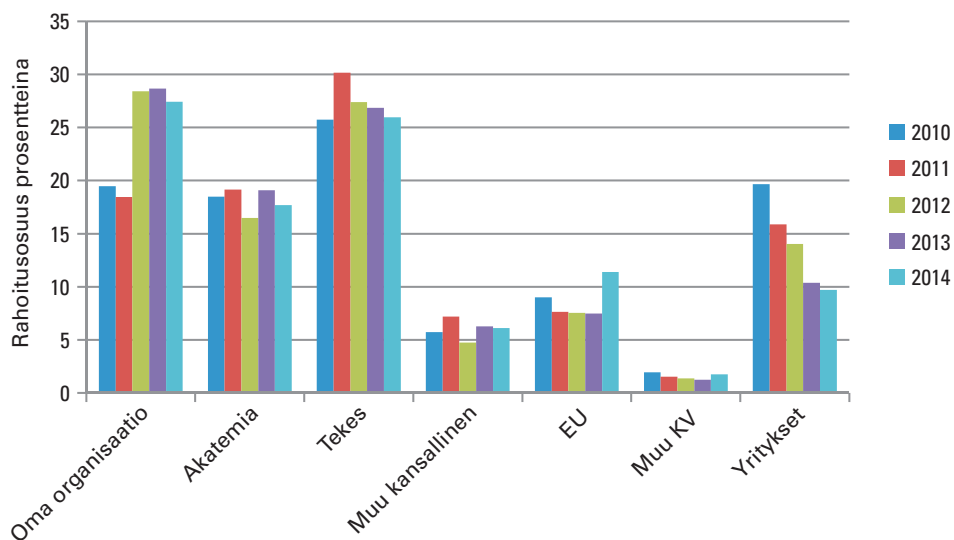
Vuosi	2010*	2011*	2012	2013	2014
<b>Kokonaisrahoitus (M€)</b>	53,1	51,6	66,5	63,3	57,8
*Kaikista organisaatioista ei ollut saatavilla vuosien 2010 ja 2011 oman rahoituksen osuutta.					

Yksiköiden yhteenlaskettu rahoitus lähteittäin absoluuttisesti (Kuva 7) ja prosentuaalisesti (Kuva 8) on myös esitetty viimeisen viiden vuoden ajalta, mutta myöhemmin tulevissa kuvissa on esitetty rahoituksen kehitys eriteltynä yksiköittäin pitemmältä ajalta.

Viiden vuoden aikana Suomen Akatemian rahoitus on pysynyt melko vakiona, mutta aiemmin lievässä kasvussa ollut Tekesin rahoitus on viime vuosien aikana kääntynyt laskuun. Oma rahoitus yhdessä Akatemian ja Tekesin rahoitusten kanssa muodostaa selvän pääosan rahoituksesta, kun taas esimerkiksi EU-rahoitus muodostaa varsin pienen osan kokonaisrahoituksesta. Tällä hetkellä yrityksiltä ja elinkeinoelämästä tuleva rahoitus muodostaa varsin pienen osan kokonaisrahoituksesta, kun sen osuus viisi vuotta sitten oli verrannollinen Akatemialta saatuun rahoitukseen. Kuva 8 esittää jokaisen rahoituslähteen prosentuaalisen osuuden kunkin vuoden kokonaisrahoituksesta.



Kuva 7. Sähkötekniikan tutkimuksen kokonaisrahoituksen jakautuminen eri rahoituslähteiden kesken miljoonina euroina vuosien 2010–2014 aikana (Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Oulun yliopisto ja Vaasan yliopisto). Vuoden 2012 nousu oman organisaation rahoituksessa johtuu osittain siitä, että nämä tiedot puuttuvat yhden yliopiston osalta vuosilta 2010 ja 2011.



Kuva 8. Sähkötekniikan tutkimuksen kokonaisrahoituksen jakautuminen eri rahoituslähteiden kesken prosentteina vuosien 2010–2014 aikana (Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto, Oulun yliopisto ja Vaasan yliopisto).

### 3.3 Akatemian rahoitus sähkötekniikan tutkimukseen

Yliopistojen antamia tietoja on täydennetty hakemalla Suomen Akatemian tietojärjestelmistä tiedot sähkötekniikan alan tutkimukseen viimeisen kymmenen vuoden aikana haetusta ja myönnetystä rahoituksesta. Tietolähteenä on käytetty Rahoituskuutiota ja tiedot on otettu järjestelmästä 1.12.2015. Tietohaussa haetun ja myönnetyn rahoituksen tutkimusalaryhmäksi on määritelty sähkötekniikka ja elektronikka. Tutkimusalaryhmä perustuu hakijan ilmoittamaan ensisijaiseen tutkimusalaan. Tästä on seurauksena, että kohteena olleiden myöntöpäätösten saajat eivät ole välttämättä samoja luvun 3.2. rahoituslähdetarkastelussa mukana olleen henkilöstön kanssa, koska osa Akatemian rahoituksesta on suuntautunut laitoksille, jotka eivät ole mukana tässä kartoituksessa.



Taulukko 5. Suomen Akatemian kokonaisrahoitus miljoonina euroina vuosien 2005–2014 aikana tutkimukseen, jonka pääasialliseksi tutkimusalaksi on merkitty sähkötekniikka.

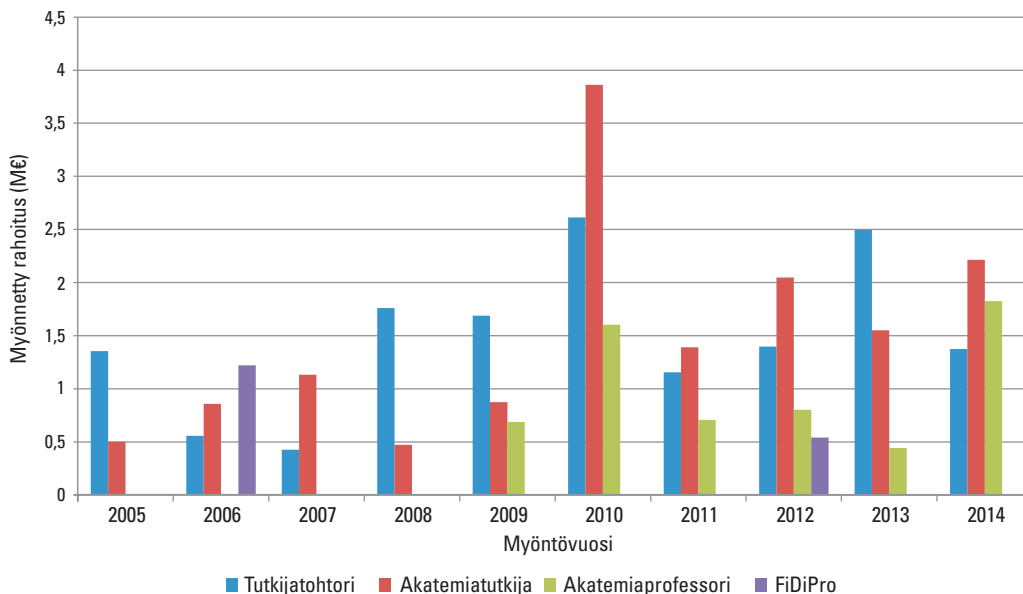
Vuosi	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Yht.
Myöntö (M €)	5,25	9,23	10,1	10,2	12,5	17,5	12,5	12,9	9,57	16,8	117

Ensimmäisten vuosien osalta lukuihin liittyy varaus tietojärjestelmän kattavuudesta. Verrattuna tutkimusyksiköiden ilmoittamiin lukuihin (luku 3.2), voidaan todeta lukujen olevan samassa suuruusluokassa ja sähkötekniikkaa rahoitettavan Akatemian toimesta keskimäärin hieman yli kymmenellä miljoonalla eurolla vuosittain.

### 3.3.1 Tutkijatehtävät

Tutkijarahoituksen osalta on tarkasteltu tutkijatohtorin, akatemiatutkijan, akatemiaprofessorin ja FiDiPro:n rahoitusta. Viimeisen on yleensä katsottu kuuluvan tutkimusympäristön rahoitukseen, mutta se on tässä esitetty muun tutkijatehtäviin kohdistuvan rahoituksen kanssa paremman erottuvuuden vuoksi. FiDiPro-professorit ovat myös olleet mukana henkilöstö- ja julkaisukartoituksessa. Kuva 9 näyttää tutkijatehtäviin annetun rahoituksen miljoonina euroina vuosittain kymmenen vuoden aikana. Kaaviosta näkyy, että tutkijatohtorin tehtävään on sähkötekniikan alalla myönnetty rahoitusta melko tasaisesti, kun taas akatemiatutkijoiden, joita yleensäkin on määrällisesti vähemmän, osalta rahoitus on vaihdellut enemmän. Viimeisten viiden vuoden aikana alalla on rahoitettu myös akatemiaprofessorin tehtävää ja vuonna 2012 FiDiPro:ta. Alalla toimineista FiDiPro-professoreista on suurin osa ollut Tekesin rahoittamia. Vuodesta 2015 lähtien FiDiPro-rahoitusta ei ole ollut haettavana.

Taulukko 6 sisältää tiedot viimeisen kymmenen vuoden ajalta sähkötekniikan tutkimusalalle myönnetty tutkijatehtäväpaikat sekä lukumäärinä että prosentteina lähetetyistä hakemuksista.



Kuva 9. Akatemian myöntämä rahoitus tutkijarahoitukseen vuosien 2005–2014 aikana.

Taulukko 6. Suomen Akatemian Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan myöntämät tutkijatehtävät sähkötekniikan alalla. Tutkijatohtoreiden ja akatemiaturkijoiden kohdalla on näytetty myöntöprosentit, jotka on laskettu päätöstä vastaavan haun hakemusmäärän perusteella.

Vuosi	Tutkijatohtori		Akatemiatutkija	
	Paikat	Myöntöprosentti	Paikat	Myöntöprosentti
2005	9		1	
2006	4	12,9	2	18,2
2007	3	17,6	2	15,4
2008	9	34,6	3	16,7
2009	8	23,5	3	13,0
2010	10	41,7	2	15,4
2011	5	15,6	2	7,7
2012	5	15,2	3	20,0
2013	10	41,7	2	8,0
2014	6	11,5	3	21,4
<b>Yhteensä</b>	<b>69</b>	<b>23,8</b>	<b>23</b>	<b>15,1</b>

### 3.3.2 Hanke- ja ohjelmarahoitus

Hanke- ja ohjelmamuotoiselle tutkimukselle myönnetyn rahoituksen tilasto (Taulukko 7) osoittaa, että sähkötekniikan alalle myönnettyjen akatemiahankkeiden lukumäärä on vuodesta 2012 alkaen ollut aikaisempaa pienempi. Tämä näkyy myös myönnettyissä rahamäärissä. Vastaavasti viime vuosien aikana alalle on osoitettu suunnattua hankerahoitusta, mikä ei kuitenkaan kaikkina vuosina ole riittänyt korvaamaan pienentyneen hankerahoituksen vaikutuksia.

Taulukko 7. Hanke- ja ohjelmamuotoinen rahoitus sähkötekniikan alalle vuosina 2005–2014. Akatemiahankkeiden osalta on annettu myös hankkeiden lukumäärä ja myöntöprosentti, joka on laskettu myönnettyjen ja haettujen hankkeiden lukumäärän perusteella.

	Akatemiahanke (M€)	Akatemiahanke (lkm)	Akatemiahanke myöntöprosentti	Suunnattu akatemiahanke (M€)	Tutkimusohjelma (M€)	Huippuyksikköohjelma (€)
2005	2,03	22			0,92	
2006	4,08	34	25,6			1,41
2007	5,80	28	23,5		0,77	1,91
2008	6,22	30	30,0			1,69
2009	7,33	26	28,9		0,49	
2010	7,22	19	22,1			2,22
2011	6,30	12	12,4	1,84	0,81	0
2012	3,51	7	15,2	4,26	0	0
2013	3,55	7	19,4			0
2014	3,82	7	13,7	6,61	0,67	
<b>Yht.</b>	<b>49,9</b>	<b>192</b>	<b>23,5</b>	<b>12,7</b>	<b>3,66</b>	<b>7,22</b>

### 3.3.3 Muu Akatemian myöntämä rahoitus

Suomen Akatemia on myöntänyt rahoitusta sähkötekniikan alalla myös muissa instrumenteissa, joiden osalta rahoituksen jakautuminen on esitetty Taulukko 8.

Muista rahoitusmuodoista tohtoriohjelmat ja työelämässä olevien jatkokoulutus eivät enää ole Akatemian rahoitusinstrumenttien joukossa. Tohtorikoulutuksen osalta rahoitus on siirtynyt yliopistojen vastuulle, mutta tarkkoja tilastoja yliopistojen tohtoriohjelmien paikkojen jakautumisesta eri alojen välillä ei vielä ole käytettävissä.

Taulukko 8. Suomen Akatemian muu kuin tutkijatehtäviin ja hanke- ja ohjelmamuotoiseen tutkimukseen myöntämä rahoitus euroina sähkötekniikan alalla vuosina 2005–2014.

	Kahdenvälinen yhteistyö, yhteishaut	Tohtoriohjelmat	Liikkuvuus Suomeen	Liikkuvuus ulkomaille	Infrat	Työelämässä olevien jatkokoulutus
2005		344100	1830	53610		38870
2006		899400	3930	74870		128020
2007			2760	29500		66000
2008				31920		
2009		1288966		51840		60000
2010			3500			
2011		248670		41740		
2012	281144		17610	5500		
2013	360000		5460	15100	1150000	
2014			75200	3415	242345	
<b>Yhteensä</b>	<b>641144</b>	<b>2781136</b>	<b>110290</b>	<b>307495</b>	<b>1392345</b>	<b>292890</b>

## 3.4 Tutkijakoulut sähkötekniikan alalla ja niiden paikkamäärät

Vuoteen 2013 asti Suomessa toimi OKM:n rahoittamia tutkijakouluja, jotka tarjosivat pääasiassa nelivuotisen rahoituksen jatko-opintojen suorittamiseen. Taulukko 9 sisältää listauksen niistä tutkijakouluisista, joissa on ollut sähkötekniikan alan tutkijakoulupaikkoja ja koulujen paikkamäärät vuosina 2009, 2011 ja 2013. Osassa listatuista tutkijakouluissa on ollut myös muita kuin tämän kartoituksen tarkoittamia sähkötekniikan tutkijakoulupaikkoja.

Taulukko 9. Valtakunnalliset tutkijakoulut, joissa on ollut sähkötekniikan alan tutkijakoulupaikkoja, sekä niiden koordinoivat yliopistot ja tutkijakoulupaikat vuosina 2009, 2011 ja 2013. Elektroniikan valmistuksen tutkijakoulussa ei enää vuonna 2009 myönnetty tutkijakoulupaikkoja. Kaikki tutkijakoulupaikat listatuissa kouluissa eivät olleet sähkötekniikan alalla. Taulukossa TTY = Tampereen teknillinen yliopisto ja LY = Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Koordinoiva yliopisto	Tutkijakoulun nimi	Tutkijakoulupaikat vuosittain		
		2009	2011	2013
<b>Oulu</b>	Infotech Oulun tutkijakoulu	25	25	25
<b>TTY</b>	Lääketieteellisen tekniikan tutkijakoulu	8	8	10
<b>TTY</b>	Sähkömagneettisen tekniikan tutkijakoulu	7	0	0
<b>Aalto</b>	Elektroniikan valmistuksen tutkijakoulu	0		
<b>LY</b>	Sähköenergiatekniikan tutkijakoulu	14	19	19
<b>Aalto</b>	Elektroniikan, tietoliikennetekniikan ja automaation valtakunnallinen tutkijakoulu, GETA	67	67	67
<b>Yhteensä</b>		<b>121</b>	<b>119</b>	<b>121</b>

## 3.5 Tutkimusinfrastruktuurit

Laitosten edustajilta kysyttiin heidän arviotaan yksikön käytössä olevan tutkimusinfrastruktuurin nykytilasta, sen asemasta kansainvälisessä vertailussa ja kehittämistarpeista.

Vastauksissa tuotiin laajasti esille käytössä olevia infrastruktuureja ja kommentoitiin niiden merkitystä tutkimukselle.

**Aalto-yliopiston** Sähkötekniikan korkeakoulun tutkimusinfrastruktuurin tilan kerrottiin olevan pääsääntöisesti hyvä. Merkittäväksi haasteeksi kerrottiin tutkimusinfrastruktuurien ylläpidon ja päivittämisen kustannukset. Kaikkia infrastruktuureja ei kiristyneen taloustilanteen vuoksi ole päivitetty. Yliopisto on pyrkinyt nostamaan infrastruktuurien käyttöastetta ja saamaan rahoitusta vuokraamalla käyttöoikeuksia yliopiston ulkopuolisille julkisille ja yksityisille tahoille. Tutkimuksen osalta esitettiin, että infrastruktuurin tulee olla tulevaisuudessa joustavaa. Tutkimushankkeissa pyritään tulevaisuudessa suurempiin ja tutkimusalat ylittäviin kokonaisuuksiin, mikä vaatii myös infrastruktuureilta yhteistyötä. Raskaasta tutkimusinfrastruktuurista on mahdollista siirtyä osin kevyempiin mallinnuksiin, mikä vaikuttaa infrastruktuuritarpeisiin.

Yksityiskohtaisesti merkittävimpien infrastruktuurien tilaa arvioitiin seuraavasti (infrastruktuurin nimi alleviivattuna):

Suurjännitehalli kaipaa merkittäviä investointeja ollakseen kansainvälisesti kilpailukykyinen tutkimusinfrastruktuuri. Yliopiston ulkopuoliset toimijat ovat vähentäneet suurjännitehallin käyttöä, eikä tilanteeseen ole näkyvissä muutosta ainakaan lyhyellä tähtäimellä.

OtaNano: Micronova Nanofabrication Centre (Nanofab), Nanomicroscopy Center (NMC) ja Low Temperature Laboratory (LTL) on kansallisesti merkittävä tutkimusinfrastruktuuri, jonka käyttöaste on ollut kohtuullinen. OtaNanon tavoitteena on edelleen kasvattaa käyttöastetta ja paitsi säilyttää asemansa kansallisesti merkittävänä tutkimusinfrastruktuurina, myös kasvattaa kansainvälistä yhteistyötä ja merkittävyyttä.

Metsähovin radiotutkimusasema on tutkimusinfrastruktuurina ainutlaatuinen Suomessa ja kansainvälisesti. Infrastruktuuri on osin vanhentunutta ja kaipaa merkittäviä investointeja.

LUMA laboratorio tarjoaa koululaisille mahdollisuuden tutustua luonnontieteisiin käytännönläheisesti laboratoriossa. Laboratorio on merkittävä investointi tulevaisuuden opiskelijoihin, jotka voivat tätä kautta saada innostuksen luonnontieteiden opiskeluun.

Muiden infrastruktuurien osalta katsottiin, että erilaiset paja ja proto -tyyliset infrastruktuurit tulevat olemaan tulevaisuudessa yhä tärkeämpiä, kun mm. sulautettujen järjestelmien merkitys opinnoissa kasvaa ja ”hands on” -opetuksen osuus opinnoissa tulee nousemaan. Sähkötekniikan korkeakoulun sähköpaja on saanut paljon positiivista palautetta kandidaattitutkinnon opiskelijoilta.

**Oulun yliopiston** vastauksessa katsottiin, että tulevaisuuden kilpailukykyyn takaamiseksi on jatkuvasti kehitettävä tutkimuksen infrastruktuuria. Oulussa koulutus on integroitu kiinteästi tutkimukseen, mikä mahdollistaa uusien ammattilaisten kouluttamisen ajanmukaisin tiedoin ja taidoin alan teollisuuden tarpeisiin ja uusin tutkimustieto pyritään näin siirtämään nopeasti yhteistyöyrityksiin. Oulussa katsotaan, että aktiivinen yhteistyö yritysten kanssa auttaa niitä hyödyntämään uusinta tutkimustietoa tuotekehityksessään ja yksiköt tarjoavat myös merkittävässä määrin tutkimusinfrastruktuurejaan yritysten käyttöön. Tutkimukseen liittyvät tilat ja laitteet Oulussa ovat hyvät ja nykyaikaiset johtuen harkitusta profiloitumisesta. Yksiköt ovat pystyneet uudistamaan ja kehittämään laitteistojaan täydentävällä rahoituksella, yliopiston infrastruktuurirahoituksella ja EU-rahoituksilla.

Tärkeimpiä infrastruktuurikonaisuuksia Oulussa ovat ICT-elektroniikan materiaalien ja komponenttien, nopean elektroniikan ja optoelektroniikan, painettavan elektroniikan, lasertekniikan sekä tulevaisuuden langattomien tietoliikennejärjestelmien tutkimuslaitteistot. Kokonaisuudet käsittävät valmis-

tuksen ja karakterisoinnin laitteistot, algoritmien, proseduurien ja protokollien tietokonesimulaattorit ja erittäin tarkkojen kokeellisten järjestelmätason sekä tiedonsiirtolaitteiden mittausten testausympäristöt ja -alustat. Yksiköillä on mm. kansainvälisesti korkeatasoinen OCT-laitteisto, Satimo Starlab -antennimittausjärjestelmä, miniaturisoitu kiinteän tilan laserskanneri (3D-kuvantamiseen), ICT mikro- ja nano-elektroniikan valmistuslaitteisto sekä edistykselliset optoelektroniikkaan perustuvat spektroskopian laitteistot (laser ja Raman). Edelleen yksiköissä on kansallisesti merkittävä ja tehokkaasti hyödynnetty laboratorioympäristö nopeiden (ps-luokka) sähköisten ja optisten aika-alueiden ilmiöiden karakterisointiin. Näiden lisäksi yksiköillä on laaja tutkimusta tukeva pienlaitteisto, kuten perusmittalaitteita käsittäen mm. piiri- ja spektrianalysaattoreita, signaaligeneraattoreita, oskilloskooppeja, erilaisia karakterisointilaitteita jne. Esimerkkeinä alan yksiköiden yhteistyöstä Oulussa ovat elektroniikan, mikroelektroniikan ja tietoliikenteen yhteinen antenni- ja RF-tutkimus sekä optoelektroniikan, elektroniikan ja mikroelektroniikan yhteinen painettavan elektroniikan tutkimus.

Tutkimusyksiköitä tukevat Oulun yliopiston Mikroskopian ja nanoteknologian keskuksen laitteet ja puhdistilat. Osittain tutkimusta tehdään VTT:n kanssa PrintoCent -osaamiskeskuksessa, jonka kautta painettavan elektroniikan valmistus ja karakterisointilaitteet ovat laajasti käytettävissä. Tutkijat hyödynsivät kansainvälisiä akateemisia kumppaneitaan käymällä tutkijavierailuilla organisaatioissa, joista löytyy erityislaitteistoja.

Uusien avauksien osalta Oulusta mainittiin biofotoniikan erityislaitteistot ja 5G -järjestelmä. Näiden kerrottiin vaativan merkittäviä infrastruktuuripanostuksia tulevaisuudessa. Kehittämistarpeita Oulussa nähtiin halvempien tutkimuslaitteiden (alle 80 k€) hankinnassa sekä tutkimuslaitteiden kalibroinnissa. Todettiin, että tässä kategoriassa tutkimuslaitteiden hankintaan ei löydy rahoituskanavia; yleensä rahoittajat panostavat suurempiin investointihankkeisiin, jolloin pienempien perusmittalaitteiden laiteinvestointeihin ei löydy helposti rahoitusta. Rahoitusta komponenttien tilaamiseksi muilta yliopistoilta tai tutkimuslaitoksilta on vaikea saada. Tämä ongelma kohdataan erityisesti silloin, kun valmistuslaitteistot on keskitetty muualle ja suunniteltujen komponenttien valmistus ei onnistu ilman niitä (esim. puolijohdetekniikan komponentit).

Suurempien laitteistojen osalta mainittiin, että infrastruktuurin tiekartalle on Oulusta vaativaa päästä johtuen sen etäisyydestä muihin suomalaisiin yliopistoihin. Kehittämistarpeena esitettiin, että tiekartalle valikoituneiden tutkimusinfrastruktuurien rahoitukseen pitäisi sisällyttää myös mahdolliset muiden yksiköiden matkustus- ja käyttömenot ainakin kansallisella tasolla. Kansainvälisesti ajanmukaisen infrastruktuurin ylläpitoa kaikilla tasoilla pidettiin tärkeänä edellytyksenä korkeatasoiselle tutkimukselle ja yhteistyölle teollisuuden kanssa.

**Tampereen yliopiston** osalta keskeiset tutkimusinfrastruktuurit ovat Suurjännitelaboratorio ja Smart Grids. Ne ovat aktiivisessa käytössä ja kansallisesti vahvassa asemassa. Erityinen vahvuus jopa kansainvälisesti on Sähkövoimajärjestelmän reaaliaikaisen simulointiympäristön (RTDS) ja Tehoelektroniikan simulointiympäristön (dSPACE) välinen integraatio. Tampereen Sähkötekniikan laitoksella on myös tutkimusta palveleva aurinkosähkövoimala, joka on yliopiston mukaan hyvää kansallista tasoa sekä suprajohtavuustutkimusta palveleva kryolaboratorio.

**Vaasan yliopistossa** tutkimusinfrastruktuurin perustana ovat ammattikorkeakoulujen kanssa yhteisesti hallinnoitavat laboratoriotilat. Tutkimuksen kannalta keskeisintä osaa edustaa sähköverkkojen suojauksen, automaation ja tietoliikenteen tutkimukseen käytettävä laboratorio, joka koostuu kansainvälisenkin mitapuun mukaan ainutlaatuisesta IEC 61850 -standardiin perustuvasta järjestelmäkokonaisuudesta. Laboratorioympäristöä kehitetään tällä hetkellä energiatekniikan alueella (polttomoottorit) ja lähitulevaisuudessa Vaasassa tullaan panostamaan myös sähkötekniikan alueella mm. Smart Grid -tutkimusympäristöön.

## 4 JULKAISUKARTOITUS

Mukana olleiden tutkimusyksiköiden professorikunnan (tutkijauratase IV) julkaisut ja niihin tulleet viittaukset määritettiin viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Julkaisukartoituksen päämääränä oli selvittää, onko alan tutkijoiden julkaisuaktiivisuudessa tai julkaisujen keräämien viittausten määrässä tapahtunut oleellisia muutoksia viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tässä kartoituksessa ei verrattu alan julkaisutietoja muihin aloihin tai alan kansainväliseen tasoon, joten tuloksia ei voi suoraan pitää sähkötekniikan alan tieteellisen tason mittarina. Tästä syystä tuloksia ei voi suoraan verrata Tieteen tila 2014 -raportin tuloksiin, joiden perusteella alan suomalaisten julkaisujen viittaussuureet ovat laskussa kansainväliseen tasoon verrattuna, mutta tuloksista voi päätellä, onko sama trendi nähtävissä alan sisällä eri vuosia vertaamalla.

Tieteen tila 2014 -raportin analyysi oli julkaisulähtöinen, eli julkaisut kohdennettiin julkaisufoorumin perusteella eri aloille, samoin tutkijat määräytyivät tätä kautta. Käsillä olevassa kartoituksessa sen sijaan julkaisuselvitys on tehty erikseen selvitetyle professorijoukolle.

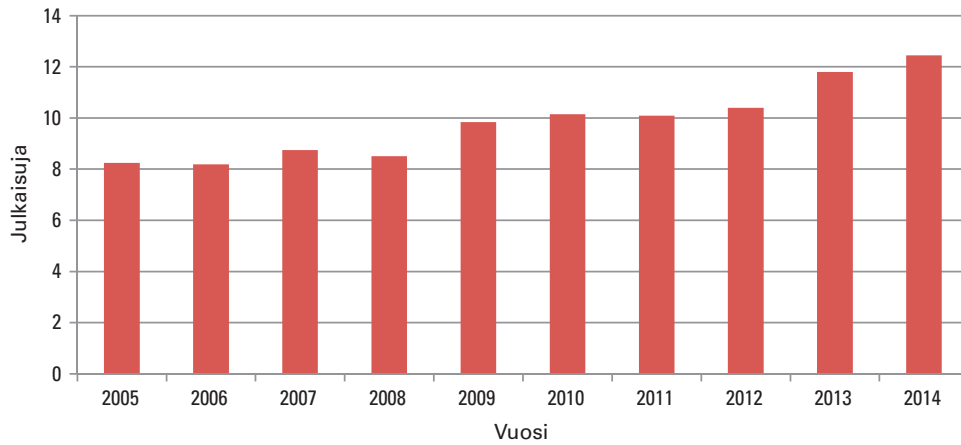
### 4.1 Julkaisumäärät 2005–2014

Seuraavassa on esitetty tilastoja julkaisujen määrästä ja niiden saamista viittauksista. Termi kattaa vertaisarvioituiden ja muut julkaisut sekä patentit. Kuten edellä on todettu, Google Scholar -tietokannasta haettu julkaisuluettelo voi kattaa myös muita kuin tieteellisiksi julkaisuiksi tarkoitettuja töitä. Erityisesti on huomioitava, että julkaisujen määriä laskettaessa ei ole käytetty mitään osituksia, joten kartoituksessa mukana olevien henkilöiden yhteisjulkaisut tulevat lasketuksi useaan kertaan (jokaiselle henkilölle erikseen). Tästä syystä alan julkaisujen kokonaismäärää ei saada selville kertomalla henkilökohtaisia julkaisumääriä henkilöiden lukumäärällä. Julkaisujen määriä voitaisiin kartoittaa pitemmälläkin aikavälillä, mutta oletettavasti GS-tietokannan kattavuus on heikompi menneiden vuosien osalta, joten tulokset eivät olisi vertailukelpoisia. Lisäksi alan henkilöstötiedot ulottuvat parhaimmillaankin kymmenen vuoden taakse. Julkaisukartoituksen tietoja ei ole esitetty yliopistoittain, vaan kaikkien julkaisut on käsitelty yhdessä. Tämä on seurausta siitä, että toisin kuin muiden tietojen osalta, julkaisutiedot voitiin kerätä yhtenevästi eri yksiköiden henkilöiden osalta ja näin voitiin esittää trendejä yhdellä kertaa koko alan kehityksen suhteen.

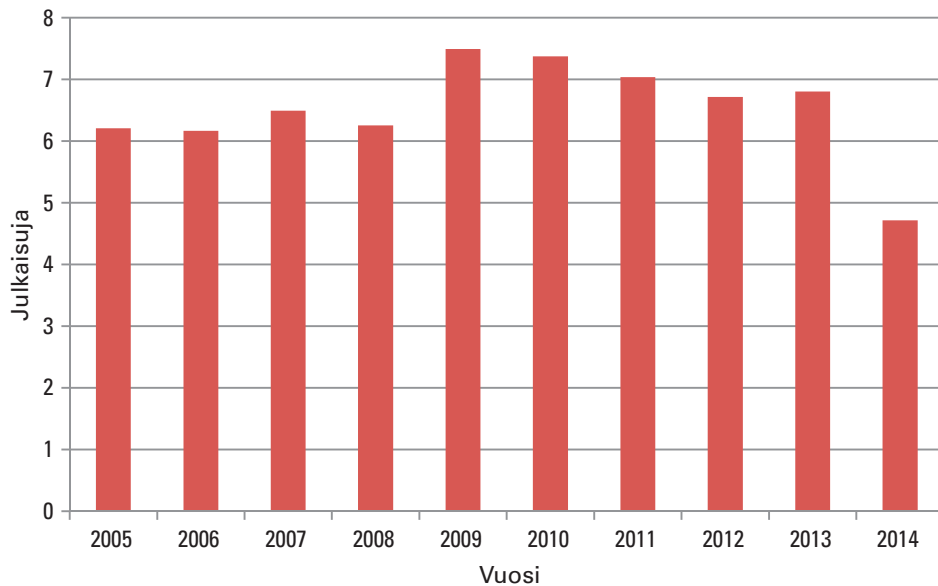
Keskimäärin julkaisujen määrä vuosittain henkilöä kohti (Kuva 10) on selvästi nouseva. Tämä voi johtua myös tietokannan kattavuuden parantumisesta tai yhteisjulkaisujen määrän lisääntymisestä. Tietokannan kattavuus paranee, kun lisää julkaisuja tulee saataville verkossa. Rahoituksen pieneneminen (ks. luku 3.2) ei näy julkaisumäärätilastossa.

Kuva 11 esittää vähintään kahdesti viitattujen julkaisujen määrän henkilöä kohti vuosittain. Viittausraja otettiin mukaan osittain siksi, että muiden kuin tieteellisten julkaisujen osuutta julkaisumäärässä saadaan leikattua. Kuva osoittaa, että tämän kriteerin perusteella julkaisuintensiteetissä ei ole tapahtunut oleellisia muutoksia viimeisten vuosien aikana, toisin kuin kaikkien julkaisujen määrän perusteella edellä. Pudotus vuoden 2014 kohdalla johtunee siitä, että tuona vuonna ilmestyneisiin julkaisuihin ei vielä ole ehditty viitata vaadittua kahta kertaa.

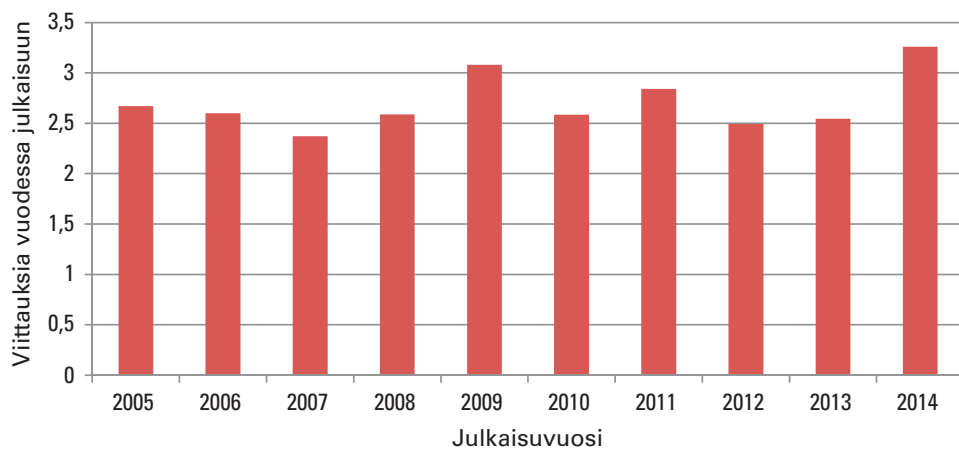
Keskimääräinen viittausten määrä vuodessa julkaisua kohti viimeisen kymmenen vuoden aikana (Kuva 12) on pysynyt pieniä vaihteluita lukuun ottamatta 2,5:n ja kolmen välillä.



Kuva 10. Kaikkien julkaisujen määrä vuodessa professoria kohti sähkötekniikan alalla vuosina 2005–2014. Julkaisuja ei ole ositettu, joten yhteisjulkaisut lasketaan useaan kertaan, mikäli kirjoittajista useampi kuin yksi on mukana tässä kartoituksessa.



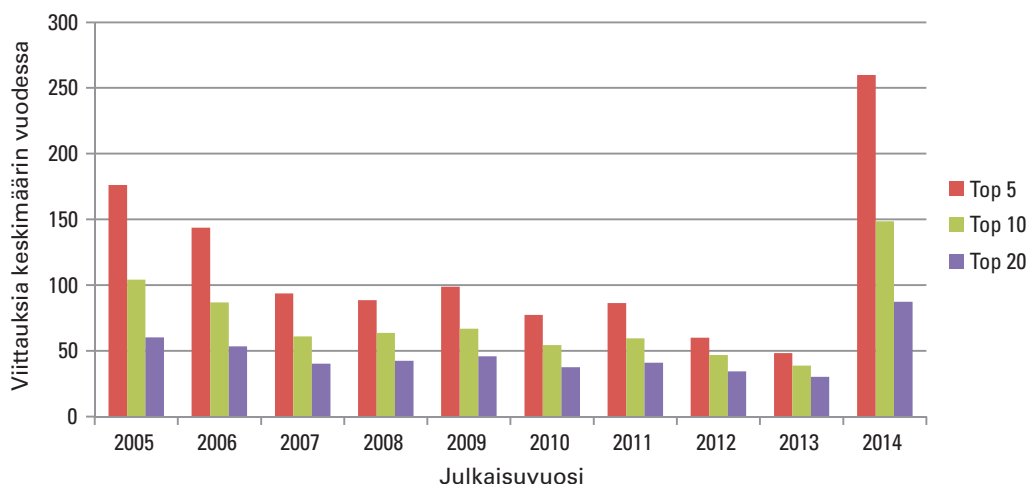
Kuva 11. Niiden julkaisujen määrä henkilöä kohti vuosittain, jotka ovat saaneet vähintään kaksi viittausta, vuosina 2005–2014.



Kuva 12. Viittausten määrä vuodessa keskimäärin vuosina 2005–2014 tehtyihin sähkötekniikan alan julkaisuihin.

### 4.1.1 Eniten viitatut julkaisut

Seuraavassa on tarkasteltu erikseen eniten viitattujen julkaisujen saamia viittauksia. Tilastointiperusteena on käytetty kunakin vuonna julkaistujen artikkelien viiden, 10 ja 20 eniten viitattun julkaisun saamia keskimääräisiä viittausmääriä vuodessa. Tuloksista (Kuva 13) näkyy, että eniten viitattujen julkaisujen saamat viittausmäärät eivät oleellisesti muutu vuosien aikana, lukuun ottamatta hieman laskevaa trendiä. Vuoden 2014 osalta viittauksia on laskettu vain yhdeltä vuodelta, mikä lienee syynä suureen piikkiin tämän vuoden kohdalla.

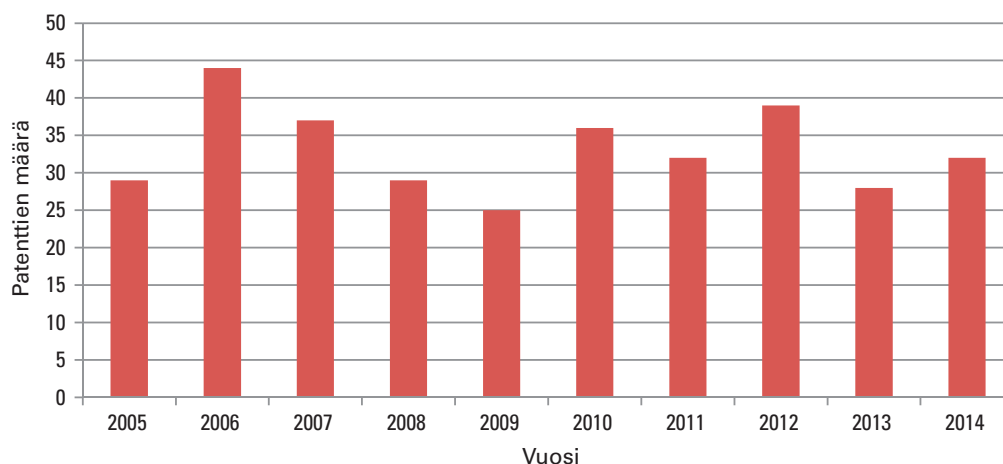


Kuva 13. Viittauksia keskimäärin vuodessa viiteen (Top 5), kymmeneen (Top 10) ja kahteenkymmeneen (Top 20) eniten viitattuun julkaisuun julkaisuvuoden mukaan vuodesta 2005 vuoteen 2014. Vuoden 2014 kohdalla julkaisuajankohdasta kulunut lyhyt aika aiheuttaa sen, että viittausmäärä perustuu vain yhden vuoden lukuun ja vaihtelut näkyvät voimakkaina.

## 4.2 Patentit

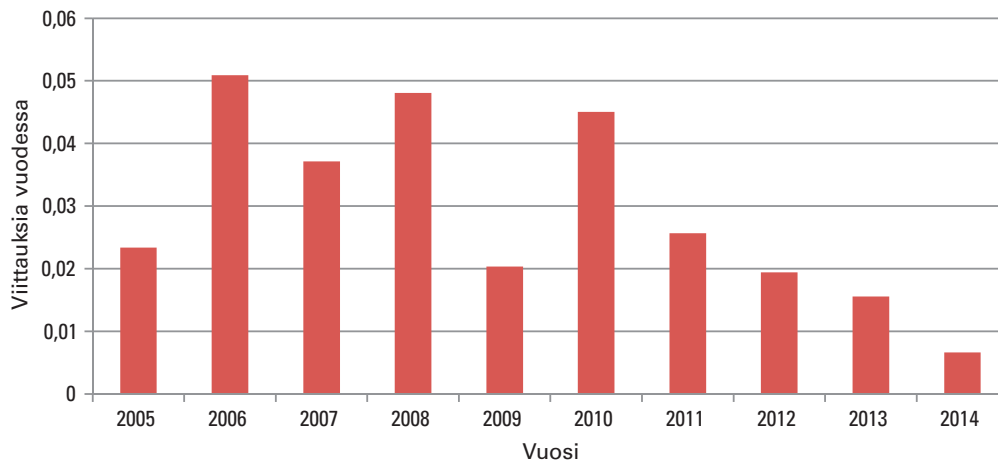
Patenttien määrä ja niihin tulleet viittaukset kerättiin Google Scholar -tietokannasta muiden julkaisujen tapaan. Kriteerinä käytettiin julkaisutyyppissä esiintyvää sanaa ”patent”.

Kuva 14 esittää patenttien määrän vuodessa yhteensä kaikista yksiköistä. Patenttien määrässä on enemmän vaihtelua kuin kaikkien julkaisujen määrässä, mutta selvää trendiä ei ole havaittavissa.



Kuva 14. Sähkötekniikan professorien tuottamien patenttien yhteismäärä vuosittain vuodesta 2005 vuoteen 2014.





Kuva 15. Yhden sähkötekniikan alan patentin keskimäärin vuodessa keräämien viittausten määrä ajanjaksolla 2005–2014.

Patenttien saamat viittaukset (Kuva 15) määritellään samoin kuin muiden julkaisujen kohdalla, eli jossain toisessa tietokannassa olevassa julkaisussa olevana viitteenä patenttiin. Tätä voidaan pitää jonkinlaisena patentin vaikuttavuuden mittana, vaikka se ei kerrokaan sitä, onko patentin pohjalta tehty mitään tuotetta tai onko sitä lisensoitu. Viittausten osalta trendi on viime vuosien osalta selvästi laskeva, vaikka patenteihin tulevien viittausten pienet absoluuttiset määrät saattavat aiheuttaa vaihtelua.

Yhteenvetona julkaisukartoituksen tulokset eivät näytä suuria muutoksia julkaisujen tai niiden keräämien viittausten määrässä vuosien 2005–2014 aikana. Alan julkaisufoorumeissa korostuvat konferenssijulkaisut, joita ei ole luokiteltu Web of Science -palvelun käyttämään tietokantaa. Tällä on suora merkitys kansainvälisissä vertailuissa, kuten Tieteen tila -raporteissa, joissa tutkimus näyttäytyy vähemmän vaikuttavana. Kansainvälisen vaikuttavuuden vuoksi sähkötekniikassa erityisesti tietyillä aloilla, kuten tietoliikennetekniikassa, julkaisuforumien erilainen valinta tieteellisyyttä painottaen voisi nostaa alan merkittävyyttä huomattavasti tieteellisen tason mittauksissa.

## 5 SÄHKÖTEKNIIKAN ALAN TUTKINNOT

Sähkötekniikan alan tutkinnot pyydettiin kymmenen viime vuoden ajalta. Tohtorin tutkintojen osalta pyydettiin tietoja myös tutkintojen rahoituksesta ja tutkinnon jälkeisestä sijoittumisesta ja siitä, kuinka moni valmistuneista tohtoreista on päätenyt professoreiksi joko sähkötekniikan alalle tai muualle (kappale 5.2.2). Lisäksi Akatemiassa toteutettiin erillinen kysely tohtorin tutkinnon suorittaneille, jonka vastauksia käsitellään kappaleessa 5.2.4.

### 5.1 Diplomi-insinöörin tutkinnot

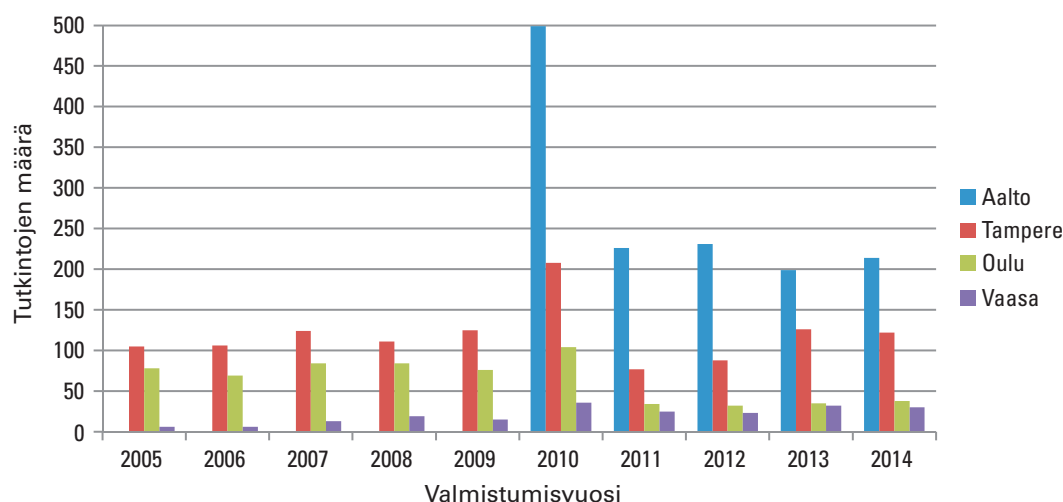
Diplomi-insinöörin tutkintoja selvitettiin kymmenen viime vuoden ajalta. Taulukko 10 antaa suoritettujen tutkintojen määrän yhteensä neljässä yksikössä

Lukujen perusteella tutkintomäärissä oli selvä piikki vuonna 2010. Tutkintomäärät ovat kasvaneet tätä poikkeusvuotta lukuun ottamatta melko tasaisesti niin, että tutkintoja suoritetaan nykyään noin kymmenen prosenttia enemmän viiden vuoden takaiseen tasoon verrattuna. Vuoden 2010 piikki johtunee tutkinnonuudistuksesta, joka pakotti pitkään opiskelleet suorittamaan tutkintonsa valmiiksi opiskeluoikeuden menettämisen uhalla.

Yliopistoittain tarkasteltuna (Kuva 16) nähdään, että tutkintomäärien piikki vuonna 2010 tulee erityisesti Aalto-yliopiston ja vähäisemmältä osin Tampereen teknillisen yliopiston tutkinnoista. Oulun yliopiston osalta perustutkintojen määrässä on tapahtunut laskua, jolle ei ole löytynyt selvää syytä.

Taulukko 10. Diplomi-insinöörin tutkinnot viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tähdellä merkittyjen vuosien osalta Aalto-yliopiston tiedot puuttuvat.

Vuosi	2005*	2006*	2007*	2008*	2009*	2010	2011	2012	2013	2014	Yht.
Tutkintomäärä	189	181	221	214	216	847	362	374	392	404	3400



Kuva 16. Sähkötekniikan alan diplomi-insinöörin tutkinnot vuosien 2005–2014 aikana Aalto-yliopistossa, Tampereen teknillisessä yliopistossa, Oulun yliopistossa ja Vaasan yliopistossa. Vuosien 2005–2009 tietoja ei ollut saatavilla Aalto-yliopiston osalta.

### 5.1.1 Diplomi-insinöörin sijoittuminen tutkinnon jälkeen

Opetushallinnon Vipunen-tilastopalvelu<sup>17</sup> sisältää tietoja mm. eri sektoreiden koulutuksesta ja koulutuksen jälkeisestä sijoittumisesta sekä korkeakouluissa tehdystä tutkimuksesta. Tästä tietokannasta haettiin tilastot sähkötekniikan koulutusnimikkeellä diplomi-insinöörin ja tohtorin tutkinnon suorittaneiden sijoittumisesta yksi vuosi tutkinnon jälkeen. Koska tietokannan tieteenalaluokittelu poikkeaa jonkin verran tämän kartoituksen rajauksesta, eivät tutkinnon suorittaneiden kokonaismäärät ole täysin yhteneväisiä yksiköiden ilmoittamien tutkintomäärien kanssa. Koska kuitenkin suurimmalta osaltaan kyseessä ovat samat henkilöt, voidaan suhteellisten osuuksien antavan oikean kuvan sijoittumisesta eri aloille. Tilasto (Taulukko 11) osoittaa, että diplomi-insinöörin tutkintojen kokonaismäärä on ollut laskussa (huomioitava, että viimeinen tutkinnon suoritusvuosi tilastossa on 2012). Tilastossa vuoden 2011 kohdalla oleva suuri kokonaismäärä kuvastaa vuoden 2010 suurta tutkintomäärää, joka osin johtui tutkinonuudistuksesta, jolloin monet pitkään opiskelleet suorittivat tutkintonsa.

Taulukko 11. Diplomi-insinöörin tutkinnon sähkötekniikan alalla suorittaneiden sijoittuminen vuosina 2009–2013 yksi vuosi tutkinnon suorittamisen jälkeen. Luokittelu perustuu Opetushallinnon Vipunen-tietokannan käyttämään jaotteluun, jossa henkilön koulutusnimikkeeksi on valittu sähkötekniikan diplomi-insinööri.

Tutkintovuosi	Työllinen	Päätoiminen opiskelija	Työtön	Muut	Muuttanut maasta	Yhteensä
2009	315	9	21	12	12	372
2010	321	12	12	9	27	384
2011	465	12	24	9	30	543
2012	186	3	9	9	21	228
2013	198	3	9	12	12	231

## 5.2 Tohtorin tutkinnot

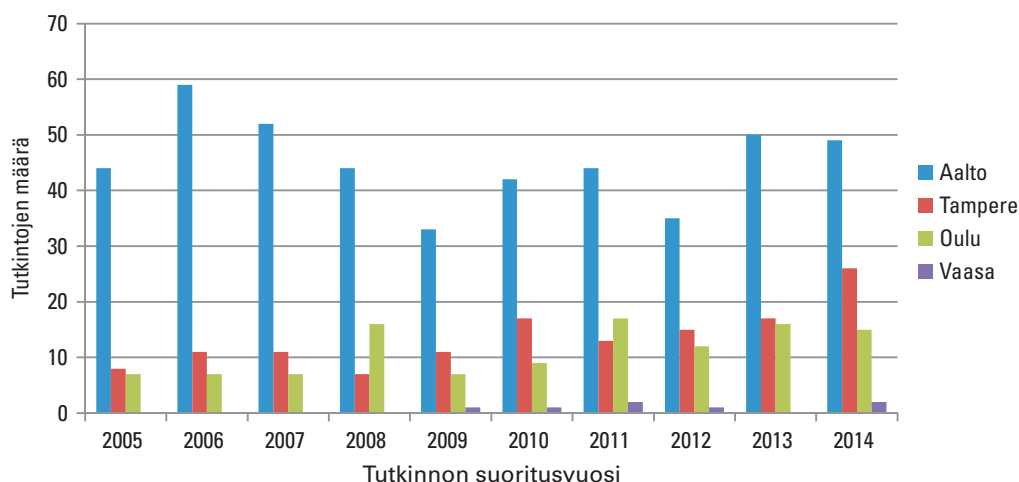
Tutkintojen yhteismäärä Suomessa kymmenen vuoden aikana (Taulukko 12) on jonkin verran kasvanut keskimäärin vuosittain. jatko-opiskelijoiden määrässä viime vuosina tapahtunut väheneminen (Kuva 1) ei vielä näy tutkintojen määrässä, mutta oletettavasti näin käy kahdesta kolmeen vuoden kuluttua.

Yliopistoittain tarkasteltuna (Kuva 17) määrässä on tapahtunut jonkin verran vaihtelua, mutta lievä kasvusuuntaus on nähtävissä kolmen suurimman yksikön osalta.

Taulukko 12. Tohtorin tutkinnot sähkötekniikan alalla viimeisen kymmenen vuoden aikana.

Vuosi	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Yht.
Tutkintomäärä	59	77	70	67	52	69	76	63	83	92	708

<sup>17</sup> <https://vipunen.fi/fi-fi>



Kuva 17. Suoritettujen tohtorintutkinnot neljässä yliopistossa vuosien 2005–2014 aikana Aalto-yliopistossa, Tampereen teknillisessä yliopistossa, Oulun yliopistossa ja Vaasan yliopistossa.

### 5.2.1 Tohtorin tutkintojen rahoitus

Yliopistoja pyydettiin antamaan tohtorin tutkintojen rahoituksen jakauma viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tässä kappaleessa esitetään tiedot Aalto-yliopiston ja Oulun yliopiston osalta, joilta saatiin kattavat vastaukset.

Aalto-yliopiston osalta jatko-opiskelijoiden rahoitus on jakautunut taulukon 13 mukaisesti. Eri rahoituslähteiden osuudet ovat pysyneet melko vakioina. OKM:n tutkijakoulujen rahoitus on nyttemmin loppunut, eivätkä uudet rahoituslähteet vielä näy tilastoissa.

Oulun yliopiston osalta jakauma (Taulukko 14) näyttää, että tutkijakoulujen merkitys on ollut Oulussa huomattavasti Aaltoa vähäisempi, kun taas Tekesin rooli on ollut selvästi vahvempi. Sekä Aalto-yliopistossa että Oulussa Suomen Akatemian rahoituksella on tuotettu noin viidennes tohtorin tutkinnoista.

Annetut luvut eivät muun kuin Akatemia- ja Tekes-rahoituksen osalta ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Tiedoissa näkyy kuitenkin varsin selvä ero kahden yliopiston osalta rahoituslähteissä.

Taulukko 13. Tohtorin tutkintojen rahoituslähteiden jakauma Aalto-yliopistossa vuosien 2005–2014 aikana.

Lähde / vuosi	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Ka
OKM / tutkijakoulut	21	22	23	17	18	22	21	24	25	26	21,9
Suomen Akatemia	14	13	13	18	15	19	21	21	24	19	17,7
Tekes	18	20	20	23	20	23	21	21	20	18	20,4
Muu kansallinen	14	15	13	10	11	6	9	7	9	8	10,2
EU	5	4	5	5	4	7	7	8	9	13	6,7
Muu ulkomainen	4	3	1	3	3	3	2	2	2	3	2,6
Muu	24	23	25	24	29	20	19	17	11	13	20,5

Taulukko 14. Tohtorin tutkintojen rahoituslähteiden jakauma Oulun yliopistossa vuosien 2010–2014 aikana.

Lähde / vuosi	2010	2011	2012	2013	2014	Ka
OKM / tutkijakoulut	3	6	5	5	5	4,8
Suomen Akatemia	24	20	18	21	23	21,2
Tekes	31	42	44	46	39	40,4
Muu kansallinen / julkinen	20	15	15	16	13	15,8
EU	22	17	18	13	19	17,8

Taulukko 15. Tohtorin tutkinnon sähkötekniikan alalla suorittaneiden sijoittuminen vuosina 2009–2013 yksi vuosi tutkinnon suorittamisen jälkeen. Luokittelu perustuu Opetushallinnon Vipunen-tietokannan käyttämään jaotteluun, jossa henkilön koulutusnimikkeeksi on valittu tekniikan tohtori sähkötekniikan alalta.

Tutkintovuosi	Työllinen	Päätoiminen opiskelija	Työtön	Muut	Muuttanut maasta	Yhteensä
2009	51		3	3	6	63
2010	33	3	3	3	6	42
2011	45	3	3	3	6	57
2012	39	3	3	3	9	54
2013	36	3	3	3	3	45

Tohtorin tutkinnon suorittaneiden osalta sijoittumista koskeva Vipunen-tietokannan tilasto (Taulukko 15) osoittaa, että tohtorin tutkintojen kokonaismäärä on perustutkintojen tavoin hienoisessa laskussa.

Sekä diplomi-insinööreillä että tohtoreilla sijoittumisen osuudet ovat pysyneet melko samoina; pääosa tutkinnon suorittaneista on töissä. Työttömyys on molemmissa ryhmissä hieman alle viisi prosenttia, tohtoreiden osalta kyse muutamista henkilöistä.

## 5.2.2 Uudet professorit

Kartoituksessa pyydettiin yliopistoja nimeämään ne viimeisen kymmenen vuoden aikana tohtorin tutkinnon suorittaneet, jotka toimivat nykyään professoreina. Professuurilla tarkoitetaan tässä eri professorin tehtävän asteita mm. tenure-track-urajärjestelmässä. Tohtorintutkinnon suoritusvuoden mukaan jaoteltuna (Taulukko 16) suomalaisissa ja ulkomaisissa yliopistoissa vuonna 2015 professoreina yhteensä 27 henkilöä ja professorin tehtävään on päätyntä muutama vuosittain tohtoreiksi valmistuneista. Hieman yli puolet toimii professoreina samassa yliopistossa, jossa ovat suorittaneet tutkintonsa, vajaa puolet (pääasiassa ulkomaalaisia) toimii professoreina ulkomaisissa yliopistoissa. Vain yksi on päätyntä professoriksi toiseen suomalaiseen yliopistoon. Taulukossa listattujen lisäksi kaksi henkilöä on toiminut määräaikaisessa professuurissa, joista toinen kotiyliopistossa ja toinen ulkomailla.

Melko suppean henkilömäärän perusteella voi kuitenkin päätellä, että liikkuvuus suomalaisten yliopistojen välillä on vähäistä, ja ulkomaille liikkuvuus tapahtuu pääasiassa kotimaahansa palaavien ulkomaalaisten toimesta.

Professoreiksi päätyneiden menestymistä Suomen Akatemian rahoituksen hakemisessa selvitettiin Akatemian rahoituspäätösten avulla. Ulkomailla professoreina toimivat eivät olleet saaneet Akatemian rahoitusta, kun taas kotimaassa professoreina toimivista neljä oli ennen professuuria saanut tutkijatohtorirahoitusta ja neljä akatemiatutkijarahoitusta. Neljästä akatemiatutkijasta kaksi oli ollut tutkijatohtoreina. Akatemiahankerahoitusta urallaan oli saanut kahdeksan professorina toimivaa ja hankkeita oli rahoitettu yhteensä 16.

Taulukko 16. Vuonna 2015 professorin tehtävässä toimivien lukumäärät vuosina 2005–2013 sähkötekniikan alan tohtorin tutkinnon suoritteista jaoteltuna tutkintovuoden mukaan.

Tutkintovuosi	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Yht.
<b>Professoreita yhteensä</b>	6	3	5	2	2	1	3	2	3	27
<b>Sama yliopisto</b>	3	2	4	1	0	1	1	1	1	14
<b>Muu suomalainen yliopisto</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<b>Ulkomailla</b>	3	1	1	1	1	0	2	1	2	12

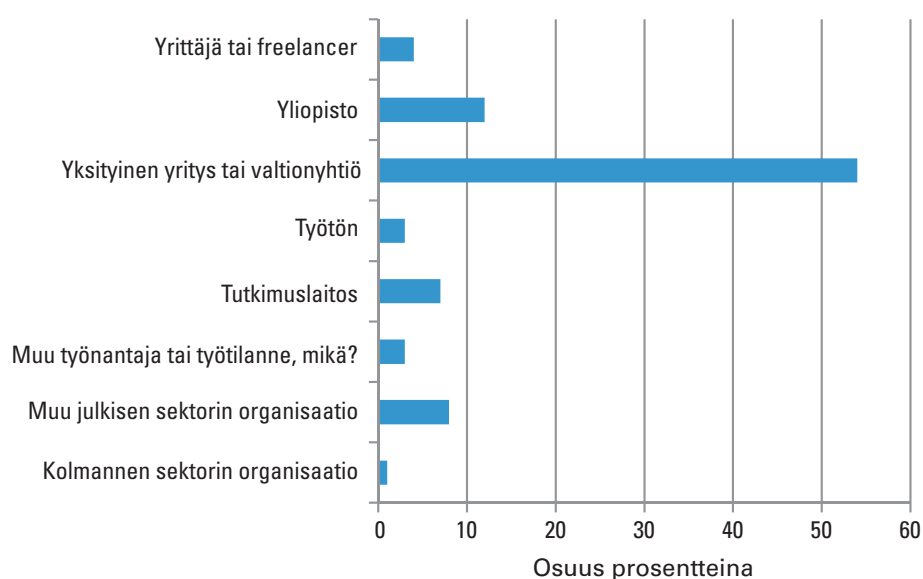
### 5.2.3 Tohtorien urapolut

Osana laajempaa tutkimuksen vaikuttavuuden arviointiprojektia Suomen Akatemian Suunnittelu ja johdon tuki -yksikön työryhmä lähetti kyselyn kaikille tässä kartoituksessa tunnistetuille sähkötekniikan alan tohtorin tutkinnon suorittaneille. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää erityisesti henkilöiden urakehitystä tohtorintutkinnon jälkeen, sekä koulutuksen vaikuttavuutta työtehtävien kannalta. Kysely lähetettiin 517 tohtorille, joiden osoitetiedot saatiin Väestörekisterikeskuksesta. Kyselyyn vastasi 93 henkilöä, joten vastausprosentti oli 18. Vaikka vastaajien osuus ei ollut erityisen suuri, voidaan joitakin johtopäätöksiä tehdä tämän joukon pohjalta.

Pääosa vastaajista oli 25–35-vuotiaita ja keskimäärin viisi vuotta sitten tutkinnon suorittaneita. Enemmistö vastaajista työskentelee yrityssectorilla. Kaikista vastaajista yli puolella työtehtävien sisältönä oli joko tutkimus tai suunnittelu- ja kehitystehtävät. Noin 15 % työn sisältönä ovat esimiestehtävät. Vastaajien enemmistö on hakeutunut tutkijakoulutukseen suoraan ylemmän korkeakoulututkinnon suoritettuaan, yli kymmenen kohdalla tutkijakoulutuksen tarve oli noussut esiin työtehtävissä, hieman alle kymmenen halusi muuttaa uransa suuntaa ja muutama oli tehnyt jatkotutkinnon oltuaan sitä ennen työtömänä.

Ennen jatko-opintoihin hakeutumista puolet vastaajista oli työskennellyt yliopistossa ja neljännes yrityksissä. Enemmistö oli tutkinnon suorittamisen jälkeisessä ensimmäisessä työpaikassaan ja kolmanneksella oli työnantajia ollut kahdesta neljään. Vastaajista alle kymmenen kertoi, ettei ole tavoitteidensa mukaisella työuralla, muut katsoivat olevansa omalla alallaan..

Kuva 18 näyttää eri työnantajien prosentuaaliset osuudet vastanneiden joukossa. Enemmistö työskentelee yrityssectorilla. Tähän kyselyyn vastanneiden tohtorien osalta vastausjakaumaa voidaan verrata tilastokeskuksen aineistoon tohtorintutkinnon suorittaneista, joilla tutkinnon ala on ollut ”Sähkö-, automaatio- ja tietoliikennetekniikka, elektroniikka”. ja tutkinnon suoritusvuosi 2011 tai ennen. Tässä tilastossa olevat henkilöt eivät siis ole täysin samoja kuin kartoituksen kohteena olleista yksiköistä valmistuneet. Tilastokeskuksen aineistossa työllisiä tohtoreita on 798, joista yliopistoissa työskenteli 300 ja julkisen sektorin tutkimuslaitoksissa 92. Yrityssectorilla oli siis työssä 51 % ja yliopistoissa 38 %. Tämä aineisto osoittaa, että tämän kartoituksen kyselyyn vastanneista yliopistoissa työskentelevien osuus oli pienempi. Pieni vaikutus asiaan saattaa olla sillä, että tässä kartoituksessa mukana oli myös vuoden 2011 jälkeen väitelleitä tohtoreita.



Kuva 18. Urakartoituksen vastanneiden sähkötekniikan alan tohtorintutkinnon suorittaneiden työnantajien prosentuaaliset osuudet vuonna 2015.

Kysyttäessä koulutuksen merkitystä työuran kannalta, oli 77 % vastaajista sitä mieltä, että koulutuksesta oli ollut hyötyä. noin 20 %:lle tutkijakoulutus oli ollut välttämätön vaatimus. Näistä puolet oli töissä yliopistossa tai tutkimuslaitoksessa. Tärkeimmäksi tutkijakoulutuksen anniksi ilmoitettiin tiedon etsimiseen ja käsittelemiseen liittyvät taidot ja toiseksi tärkeimmäksi substanssiosaaminen.

#### 5.2.4 Avoimet vastaukset tutkinnon merkityksestä työelämässä

*”Ei tässä mitään tekniikan tohtoreita tarvita, tässä työssä ollaan kuule ihan ihmisten kanssa tekemisissä!”<sup>18</sup>*

Kyselyssä tohtoreilla oli mahdollisuus antaa vapaamuotoisia mielipiteitä tutkinnon merkityksestä työuran kannalta ja sen vaikutuksesta rekrytointiin. Ehkä jossain määrin yllättävää oli, että huolimatta monien sähkötekniikan tutkimusalojen läheisestä yhteydestä teollisuuteen, useissa vastauksissa tuotiin esiin, että varsinkin ensimmäistä työpaikkaa haettaessa tohtorin tutkinnosta ei ole hyötyä, tai se voi olla suoranaan haittatekijä. Tässä syyksi arveltiin tohtoreiden perinteisesti pientä osuutta yritysmaailmassa. Itse työtehtävissä tutkinnon merkitys nähtiin myönteiseksi erityisesti tuotekehityksen parissa, jossa tutkijakoulutuksen aikana hankitut analyttiset ja yleiset tiedonhakuun ja käsittelyyn liittyvät taidot olivat hyödyllisiä.

Useampi vastaaja nosti esiin erot suomalaisten ja ulkomaisten (tai monikansallisten) yritysten välillä. Tohtorintutkinnon merkityksen nähtiin olevan suurempi kansainvälisissä yrityksissä, joissa tutkinto antaa paremmat etenemismahdollisuudet. Samoin tuotiin esiin, että kansainvälisissä yrityksissä tohtoreiden merkitys tuotekehityksen johtotehtävissä on suurempi suomalaisyrityksiin verrattuna.

Osa vastauksista oli kriittisiä tohtorikoulusta kohtaan; katsottiin, että Suomessa koulutetaan tohtoreita enemmän kuin yritykset tai yliopistot voivat mielekkäästi työllistää. Näissä vastauksissa tohtorinkoulutusta pidettiin liian teoreettisena eikä sen nähty palvelevan suomalaisen teollisuuden akuutteja tarpeita.

---

<sup>18</sup> Yhden tohtorin puhelinkeskustelussa saama vastaus mahdolliselta työnantajalta.

## 6 YHTEISKUNNALLINEN VAIKUTTAVUUS

### 6.1 Tutkijoiden liikkuvuus

Laitosjohtajilta kysyttiin, kuinka paljon laitoksella on ollut liikkuvuuskuukausia laitoksesta pois tai laitokseen (ulkomailla tai kotimaassa) vuosina 2010–2014. Mukaan laskettiin vähintään viikon kestäneet vierailut. Vastauksessa pyydettiin erittelemään kohde- ja lähtömaa sekä jatko-opiskelijat, tohtorintutkinnon suorittaneet (poislukien professorit) ja professorit.

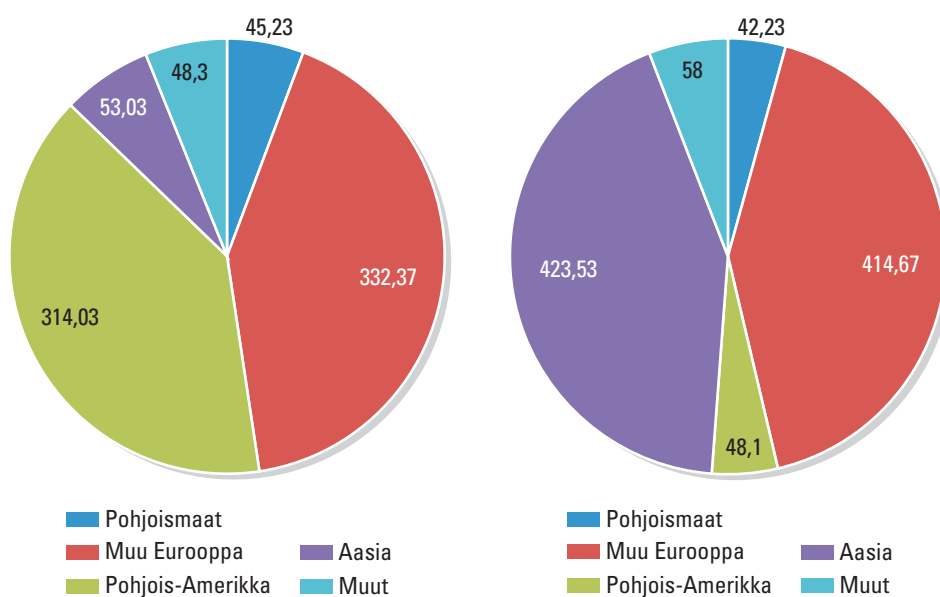
Tavat kirjata tutkijoiden liikkuvuutta vaihtelevat huomattavasti yliopistosta ja tutkimusryhmästä riippuen. Oheinen taulukko esittää liikkuvuuden kolmen yliopiston (Aalto, Oulu, Vaasa) sähkötekniikan tutkijoiden osalta.

Kaikilta osin liikkuvuutta ei ollut vastauksissa eritelty vuosittain, mutta niiden vastausten osalta, joissa vuosittainen jaottelu oli nähtävissä, voitiin todeta liikkuvuuden pysyneen melko vakiona vuosittain.

Taulukko 17. Liikkuvuuskuukaudet Suomesta ulkomaille ja ulkomailta Suomeen sähkötekniikan alalla vuosien 2010–2014 aikana.

	Suomesta ulkomaille	Ulkomailta Suomeen
Liikkuvuus-kk	977	1025
Liikkuvuus vuosina	81	85

Tarkasteltaessa liikkuvuuskuukausien jakautumista kohdemaiden mukaan Suomesta ulkomaille ja lähtömaiden mukaan ulkomailta Suomeen (Kuva 19) voidaan todeta suurimman osan liikkuvuudesta ulkomaille tapahtuvan Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan, joiden osuudet ovat kutakuinkin yhtä suuret.



Kuva 19. Suomesta ulkomaille (vasen puoli) ja ulkomailta Suomeen (oikea puoli) suuntautuvan liikkuvuuden jakauma kuukausina kohde- ja lähtömaaryhmien mukaan.



Vähemmässä määrin liikkuvuutta on Aasiaan ja muualle maailmaan, joiden osuus vastaa kutakuinkin pohjoismaihin suuntautuvaa liikkuvuutta. Toisaalta taas ulkomailta Suomeen tullaan Euroopasta ja Aasiasta, kun taas Pohjois-Amerikan osuus lähtömaana on pieni.

## 6.2 Spin off -yritysten synty

Taustakysymyksenä pyydettiin luettelemaan laitoksen tutkimustoiminnasta alkunsa saaneet spin off -yritykset nimeltä vuosina 2005–2014.

Taulukko 18 sisältää syntyneiden yritysten lukumäärän vuosittain (mikäli vuosi annettu kerätyissä tiedoissa). Yrityksiä on syntynyt varsin tasaisesti keskimäärin viisi vuodessa.

Syntyneiden yritysten toimialat kattavat elektroniikan ja tietotekniikan aloja, sekä myös materiaali-tekniikkaa, elektroniikkaa ja tietotekniikkaa yhdistäviä aloja. Karkean jaottelun voi tehdä kaupparekisteritietoihin merkittyjen toimialojen mukaan. Tämä luokittelu ei kuitenkaan kata samoja aloja kuin yliopistojen tutkimusalat ja lisäksi yrityksen varsinainen toiminta voi kattaa muita kuin kaupparekisteriin merkittyjä aloja. Tässä luokittelussa 16 yritystä toimii elektroniikan ja sähkötekniikan valmistuksen tai suunnittelun alalla, 14 yritystä toimii tietotekniikan alalla ja loput jakautuvat mm. suunnittelu- ja konsultointitoiminnan alle.

Yritysten henkilöstömäärät ja liikevaihdot on haettu kaupallisen toimijan vapaasti käytettävästä palvelusta<sup>19</sup> ja tiedot esitetty taulukoissa alla vuosien 2011–2014 osalta. Viidentoista yrityksen osalta tilinpäätöstietoja ei löytynyt lainkaan. Tämä saattaa johtua siitä, että tilinpäätöstietoja ei ole toimitettu kaupparekisteriin, yrityksen toiminta on loppunut tai se on fuusioitunut toisen yrityksen kanssa. Osa tilinpäätöstiedoista oli myös epätäydellisiä sikäli, että kaikkia tietoja ei ollut saatavilla. Vuoden 2011–2014 osalta tilinpäätöstiedot löytyivät vastaavasti 13, 18, 26 ja 31 yrityksen osalta. Taulukko 19 sisältää tiedot yritysten tuloslukuista. Spin off -yritykset ovat keskimäärin pieniä, noin viisi henkeä työllistäviä.

Yleisesti spin off -yritysten merkitys työllistäjänä muutamia vuosia perustamisen jälkeen on kokonaisuudessaan pieni. Luultavimmin kyseisten yritysten vaikutus näkyy parhaiten uusien teknologioiden viejinä yritys kentälle. Tämä vaikutus voi tulla suuremmaksi joidenkin yritysten kasvun kautta tai niiden sulautuessa olemassa oleviin suurempiin yrityksiin.

Taulukko 18. Syntyneiden spin off -yritysten määrä kunakin vuonna kartoituksen yksiköissä.

Vuosi	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Muu	Yht.
Määrä	0	2	1	0	2	2	1	2	2	3	36	51

<sup>19</sup> <http://www.taloussanommat.fi/yritykset/>

Taulukko 19. Yhteenveto spin off -yritysten tilinpäätöstiedoista vuodelta 2011–2014.

Vuosi 2011 (13 yritystä)	Liikevaihto 1000 EUR	Tilikauden tulos 1000 EUR	Liikevoitto- %	Henkilöstön lukumäärä	Omavaraisuus- aste
<b>Yhteensä</b>	6936	- 77		51	
<b>Keskiarvo</b>	533,5	-6,4	-18,7	7,3	29,9 %
<b>Mediaani</b>	64,0	-5,5	-4,8	3,0	11,8 %
<b>Vuosi 2012 (18 yritystä)</b>					
<b>Yhteensä</b>	7360	-718		75	
<b>Keskiarvo</b>	460,0	-42,2	-259,5	5,4	17,76 %
<b>Mediaani</b>	161,0	-4,0	-5,4	3,5	26,15 %
<b>Vuosi 2013 (26 yritystä)</b>					
<b>Yhteensä</b>	9170	-1526		107	
<b>Keskiarvo</b>	398,7	-58,7	-229,2	4,9	6,0 %
<b>Mediaani</b>	95,0	-23,5	-11,7	4,0	35,3 %
<b>Vuosi 2014 (31 yritystä)</b>					
<b>Yhteensä</b>	13931	-2825		123	
<b>Keskiarvo</b>	557,2	-91,1	-148,2	5,1	-14,42 %
<b>Mediaani</b>	164,0	1,0	1,1	5,0	41,70 %

### 6.2.1 Tutkimuksen merkitys Spin off -yritysten syntyyn

Muutamilta sähkötekniikan spin off -yritysten edustajilta pyydettiin kuvausta tutkimustyön ja tutkimusrahoituksen merkityksestä yrityksen synnylle. Sähköpostitse lähetetyssä kyselyssä tiedusteltiin seuraavia asioita:

1. Onko perustutkimuksessa tehdyillä tutkimustuloksilla ollut ratkaiseva merkitys yritysideoiden synnyssä?
2. Kuinka pitkän ajan kuluessa yrityksen taustalla oleva tutkimustyö on tehty?
3. Onko yrityksen synty tapahtunut Akatemian, Tekesin tai yrityksen rahoittaman tutkimuksen seurauksena?
4. Onko yrityksellä edelleen yhteistyötä yliopiston kanssa?

Kolmelta yritykseltä saaduissa vastauksissa oli varsin merkittäviä yhtenevyyksiä. Ensimmäisen kysymyksen osalta kaikki totesivat perustutkimuksella olleen ratkaiseva merkitys yritysideoiden synnyssä. Kaikki myös totesivat, että yrityksen syntyyn johtanutta tutkimustyötä oli tehty varsin pitkän, vastaajien arvion mukaan yli kymmenen vuoden kuluessa ja yhdessä tapauksessa jo 1980-luvulta alkaen. Kahdessa tapauksessa vastaajat kertoivat, että yritysideoita oli kehitelty Akatemian ja Tekesin rahoittamissa projekteissa, näistä toisen syntyyn oli lisäksi vaikuttanut EU-rahoitus. Yhden yrityksen kohdalla kerrottiin tärkeimmän yrityksen syntyyn vaikuttaneen idean syntyneen erillisten hankkeiden ulkopuolella yliopiston perustutkimuksen yhteydessä ja ideoita sittemmin kehitelty Tekes-rahoituksen avulla kohti yrityksen syntyä. Merkittävää vastauksissa oli, että kaikki kolme yritystä tekevät edelleen yhteistyötä yliopiston kanssa. Yhdessä tapauksessa yrityksen omistajat työskentelevät edelleen yliopistossa.

## 6.3 Teollisuusyhteistyö

Taustakysymyksenä laitosjohtajilta tiedusteltiin, miten teollisuuden kanssa tehty yhteistyö on muuttunut vuosien 2010–2014 aikana, esimerkiksi projektien määrän tai yritysten määrän ja koon suhteen.

Vastausten perusteella toimintaympäristön muutokset ovat olleet erilaisia eri yksiköissä, johtuen osittain kyseisellä alueella tapahtuneista yritystoiminnan muutoksista ja osin eroista paikallisissa tutkimusprofiileissa.

Aalto-yliopiston kohdalla teollisuuden kanssa tehtyjen projektien määrä on laskenut jonkin verran viime vuosina, mutta yhteistyökumppaneiden määrä on pysynyt lähes ennallaan. Yritysyhteistyössä tutkimusprojekteihin liittyvä rahoitus on aiempaa pienempää. Aalto-yliopisto on viime aikoina pyrkinyt syventämään yhteistyötä tarjoamalla yrityksille enemmän ja monipuolisempia yhteistyömahdollisuuksia. Tutkimusyhteistyön rinnalla pyritään tarjoamaan täydennyskoulutuspalveluita ja mahdollisuuksia osallistua poikkitieteellisiin opiskelijaprojekteihin. Aalto-yliopisto hakee myös strategisia kumppanuuksia suurempien yritysten kanssa ja pyrkii saamaan yrityskumppaneita Otaniemen kampukselle.

Oulussa Nokialla oli matkapuhelinliiketoiminnan aikana merkittävä asema yhteistyökumppanina yliopiston kanssa. Tämän liiketoiminnan loputtua on Nokiaa tullut korvaamaan monta pientä uutta yritystä, mistä johtuen yritysrahoitus on koottava monesta pienestä lähteestä. Oulussa ulkopuolisen rahoituksen määrä kokonaisuudessaan ei kuitenkaan ole juurikaan laskenut vuodesta 2011. Alan yksiköiden tutkimus on Oulussa entisestään laajentunut yhteistyöksi sellaisten yritysten kanssa, jotka toimivat vain osittain tai eivät lainkaan Suomessa. Teollisuuspartnereita nykyisissä tutkimushankkeissa yksiköillä on yli 50. Yksiköt ovat hakeneet uusia yrityskumppaneita aktiivisesti johtuen kotimaisen julkisen tutkimusrahoituksen vähenemisestä. Tähän on vaikuttanut myös EU-hankkeiden merkityksen kasvaminen ja Suomessa toimivien yritysten nopea kansainvälistyminen. Alan tutkimuksen tarve eri teollisuuden tarpeisiin on myös kasvava trendi, ja asiakaskunta laajenee nopeasti uusilla toimialueilla.

Tampereen osalta yritysyhteistyössä ei ole tapahtunut suuria muutoksia. Tampereella on suoraa yhteistyötä erityisesti suuryritysten kanssa, lisäksi tärkeässä roolissa ovat olleet SHOK:it ja muu Tekesyhteistyö. Myös Vaasan yliopiston osalta muutokset ovat olleet vähäisiä.

## 6.4 Menestystarinat

Tutkimusryhmien tähänastista tuloksellisuutta selvitettiin pyytämällä esimerkkejä erityisen menestyksellistä projekteista ja sovelluksista (kysymys 9 Liite 1).

**Aalto-yliopiston** vastauksessa painottui erityisesti tietoliikennetekniikan ja signaalinkäsittelyn osuus, jossa teollisuusyhteistyöllä on merkittävä rooli. Tältä alalta mainittiin esimerkkeinä (alla lyhenteet TLV: Tietoliikenne- ja verkkotekniikan laitos, SPA: Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos, MNT: Mikro- ja nanotekniikan laitos, RAD: Radiotekniikan laitos Aalto-yliopiston Sähkötekniikan korkeakoulussa)

- Vuonna 2009 TLV- ja SPA -laitosten tutkijat yhdessä Nokian kanssa aloittivat verkon ohjaaman suoran laitteidenvälisen tietoliikenteen (Device-to-Device, D2D) tutkimuksen. D2D tullee olemaan yksi keskeisistä viidennen sukupolven matkaviestinjärjestelmien (5G) ominaisuuksista ja se on myös 3GPP:n LTE (long time evolution) -standardisointipolulla.
- TLV-laitoksen kehittämä ”The ONE” -simulaattori on laajasti käytössä viivesietoisten verkkojen (Disruption Tolerant Networkin, DTN) tutkijoilla. Menetelmään liittyvään keskeiseen artikkeliin on tällä hetkellä yli 1000 viitettä. [www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/](http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/)
- Nettitutka-työkalu antaa mahdollisuuden käyttäjille, säätelijöille ja tutkijoille analysoida matkaviestinjärjestelmien toimintaa: <http://www.netradar.org/>

- TLV-laitoksen tutkijoita on ollut aktiivisesti mukana puolustusvoimien C4 (Command, Control, Communications and Computers) -järjestelmien kehitystyössä.
- TLV-laitoksella on kehitetty täysin uusi kombinatoriseen optimointiin, informaatioteoriaan ja mittauksiin perustuva systemaattinen menetelmä ihminen-kone rajapintojen ja käyttöliittymien suunnitteluun ja optimointiin. TLV-laitoksen professori sai vuonna 2014 ERC-starting grantin menetelmän tutkimiseen.
- Prof. Ville Pulkin *Tilääni*-tutkimus (Spatial Sound) on lukuisia patenteja tuottanut aihe josta on käytännön tuloksia. menetelmä on lisensoitu saksalaiselle Fraunhofer Gesellschaftille.
- Prof. Mikko Kurimon *Puheen tunnistus* -tutkimus (Speech recognition) on laajasti tutkittu aihe, jolla on paljon sovelluksia.
- Prof. Visa Koivusen ja prof. Sergiy Vorobyovin tutkimushanke *Sensoriryhmien signaalinkäsittely* (Sensor Array Signal Processing), jolla on sovelluksia kulutuselektronikasta maanpuolustukseen ja joka on saanut paljon akateemisia palkintoja. Hankkeella on kansallisesti merkittävä yhteistyötä Puolustusvoimien kanssa.
- Akatemiaprofessori Paavo Alkun (SPA) tutkimushanke *Puhesynteesi* (Speech synthesis), jossa on saavutettu paljon tieteellisiä tuloksia, lisäksi tutkimus on tuottanut start up -yrityksiä ja patenteja.
- Prof. Erkki Iksen LED:ien valotehomittaus (LED photometry) on maailman tarkimmaksi arvioitu uusi mittaamenetelmä LED-valolähteiden valotehon mittaamiseen. Menetelmän kaupallistaminen on suunnitteilla.
- MNT-laitoksen piiriteknikan ryhmä oli 2000-luvun alussa kehittäneenä *Bluetooth low-energy radio* -järjestelmää suomalaisen teollisuuden kanssa. Tavoitteena oli kehittää uusi järjestelmä, joka pystyisi merkittävästi aikaisempia radiostandardeja pienempään tehonkulutukseen. Ensimmäiset demonstraatiot tehtiin vuosikymmenen puolivälin aikaan ja itse standardi saatiin laajempaan hyödyntämiseen 2010-luvulla. Nykyisin merkittävä osa matalan tehonkulutuksen radiosta käyttää tätä standardia.
- Nanotekniikan ryhmän tutkimuksesta on saanut osittain alkunsa Micronovassa toimiva startup-yritys HSfoils Oy. Yritys tekee ohuita röntgenikkunoita, jotka tuotteina ovat maailman huipulla. Samoista yhteisprojekteista on hyötynyt röntgenilmaisimien alalla yritys Oxford Instruments Analytical Oy.
- MQS-ryhmä on kehittänyt turkulaiselle yritykselle valmistustekniikan mikromekaaniselle painesensorille, jota käytetään fotoakustisessa kaasuspektroskopiassa.
- Optoelektronikan ja nanotekniikan ryhmät ovat tehneet tiivistä yhteistyötä ledialan yrityksen OptoGaN Oy:n kanssa 2000-luvun puoliväistä asti. Startup-yritys alitti toimintansa laitoksen yhteydessä vuokraamalla yliopiston tutkimuslaitteita ja tekemällä tiivistä yhteistyötä laitoksen kanssa Tekes-projekteissa. Suurimmillaan yritys työllisti 400 henkeä ulkomailla.

Metsähovin radiotutkimusasema on ollut mukana useissa eurooppalaisissa tutkimushankkeissa, joista mainittiin

- Pan-European 4Gbps EC FP7 NEXPREs e-VLBI -demonstraatio, jossa Very Long Baseline Interferometry (VLBI) -menetelmän tuottama 4 Gbps-datavirta viidestä eurooppalaisesta tutkimuslaitoksesta yhdistettiin reaaliaikaisesti. WP8 FlexBuff -tiimi toimi Metsähovin aseman johtamana. Menetelmällä voidaan käsitellä useiden samanaikaisia tietovirtoja, tarjota tallennuskapasiteettia verkon yli ja se on tärkeä askel tulevaisuuden VLBI-menetelmille.
- Vuonna 2008 radiosignaalin siirto verkon yli 8Gbps kapasiteetilla Metsähovin ja Ruotsin Onsolan välillä, silloinen maailmanennätys. Menetelmä oli kehitetty Metsähovissa EU-rahoitteisen EXPREs-projektin puitteissa.

Radiotekniikan osalta nostettiin erityisesti SMARAD -huippuyksikön (vuosina 2002–2013) merkitys tutkimukselle ja tuotekehitykselle langattoman tietoliikenteen ja suurtaajuuselektroniikan aloilla, sekä kouluttajana yliopistojen ja teollisuuden tarpeisiin.

- Uuden maisteriohjelman (NANORAD) opetustarjonta (alkaen v. 2015) - on herättänyt paljon opiskelijoiden mielenkiintoa ja tuonut paljon uusia opiskelijoita.
- Nokia Networks on demonstroinut ja kaupallistanut keilanohjauksella (beam steering) varustetut E-taajuusalueen radiot. Keilanohjauksen perustuu RAD:issa tutkittuihin ja kehitettyihin integroituihin linssiantenneihin, jossa elementtiantenni ja kytkinverkko integroitu linssin takapinnalle.

**Oulun yliopiston** osalta todettiin, että vuonna 2015 Oulun yliopiston sähkötekniikan osasto juhli 50-vuotista taivaltaan. Viidenkymmenen vuoden aikana osasto on käynyt läpi useita rakenteellisia uudistuksia johtaen nykyisiin sähkö- ja tietoliikennetekniikan osastoihin. Osasto on profiloitunut erityisesti diplomi-insinöörien ja tekniikan tohtoreiden kouluttajana Pohjois-Suomen elinkeinoelämän tarpeisiin, samalla tuottaen kansainvälisen tason tutkimusta. Kansainvälisen ja kansallisen tutkimusrahoituksen osalta mainittiin Juha Kostamovaaran akatemiaprofessorit (2006–2011 ja 2012–2017) ja vuoden 2011 ERC Advanced Grant -apuraha Heli Jantuselle ensimmäisenä Oulussa. Osastolla on Suomen Akatemian huippuyksikössä ”Centre of Excellence in Laser Scanning Research” toimiva tutkimusryhmä. Yksiköissä on toiminut ja toimii usea FiDiPro-professori kuten Anita Lloyd Spetz, Tadashi Matsumoto, Ryuji Kohno, Behnaam Aazhang, Ghassan Jabbour ja Valery V. Tuchin.

Vaikuttavuudeltaan viime vuosien merkittävimmistä tutkimuksista mainittiin

- Vuonna 2015 ensimmäinen julkinen 5G-verkko testauskäyttöön
- Vuonna 2014 ensimmäinen implementaatio näkyvän valon tiedonsiirrossa (Li-Fi, Visible Light Communication)
- Vuonna 2014 kaksinäyttöinen puhelin Electronic Paper -näytöllä.
- Vuonna 2013 maailman ensimmäinen sisätilapaikannusjärjestelmä (ubiquitous indoor positioning solution)
- PrintoCent Pilot Factory -konseptitehdas painettujen älykkäiden järjestelmien tuotantoon.
- 2011 WIFIUS -kognitiivinen radio
- 2010 ensimmäiset Linux-pohjaiset matkapuhelinratkaisut

Edellä lueteltujen tulosten lisäksi alan tutkimus Oulussa tuotti Nokian puhelinliiketoiminnan kukoistuksen aikana useita läpimurtoja matkapuhelintekniikoissa.

Oulussa on tuotettu uusia tietoliikennetekniikan materiaaleja ja komponentteja, laajalti uusia sensoriratkaisuja, rakenteita energian tuottamiseen langattomiin sensoriverkkoihin, uusia karakterisointimenetelmiä, kuten Raman-spektroskopia, laserskannaus ja interferometria. Lisäksi on kehitetty tietoliikennejärjestelmäratkaisuja teollisuuden tarpeisiin mm. vaativiin toimintaympäristöihin (puolustusvoimien käyttöön), matkaviestintäjärjestelmiin (3G, 4G, 5G) sekä lyhyen kantaman järjestelmiin (IEEE802.15-standardoinnin eri vaiheisiin). Nämä kaikki ovat joko vahvistaneet yhteistyöyritysten liiketoimintaedellytyksiä tai luoneet pohjaa aloittaville yrityksille.

Eryityisesti Oulussa on tutkimuksen tuloksena kehitetty maailman ensimmäiset erittäin matalassa lämpötilassa valmistettavat sähkötekniikan sovellusten keraamit, jotka ovat herättäneet suurta kansainvälistä mielenkiintoa elektroniikkateollisuudessa. Kehitys keraamien valmistustekniikassa on mahdollistanut mm. erittäin vaativien olosuhteiden anturitekniologioiden kehityksen ja pienikokoisten totaalianalysointijärjestelmien ( $\mu$ TAS) toteuttamisen. Pietsosähköisten energiankeräinten kehityksessä on saavutettu rakenteita, jotka ovat tällä hetkellä maailman tehokkaimpia. IoE:n (Internet-of-Everything) myötä nämä laitteet ovat löytäneet lukuisia sovelluskohteita.

Oulussa nanoelektronikan tutkimus on ollut aktiivista esimerkiksi hiilinanoputkien osalta, mikä on tuottanut erittäin korkeatasoisia tieteellisiä julkaisuja. Hiilinanoputkien käyttöä on demonstroitu mm. kaasuantureissa, katalyyteissä sekä painettavassa elektroniikassa.

Elektronikan polymeerikomposiittien tutkimuksen myötä elektroniikan materiaalien kansainvälisille markkinoille on saatu kokonainen tuoteperhe tarjolle kotimaisen yrityksen kautta. Painettavan elektroniikan sovelluksiin on myös kehitetty uusia elektroniikan komponenttien ratkaisuja sekä materiaali- että suunnitteluteknisin menetelmin, esimerkkinä mainittakoon painotekniikoin valmistetut ensimmäiset paineesta energiaa keräävät rakenteet ja ensimmäinen täysin painotekniikoin toteutettu memristori.

Oulussa aloitettiin ensimmäisenä Suomessa hajaspektritutkimus v. 1986, mikä johti myöhemmin ultralaajakaistaisten (UWB) sekä koodijakomonikäyttöjärjestelmien (CDMA) tutkimukseen. Hajaspektritutkimus yhdessä radiokanavatutkimuksen kanssa johti myöhemmin taktisen datalinkkiratkaisun kehittämiseen ilmavoimille. Vuonna 1990 aloitettiin CDMA-tutkimus, josta lähti käyntiin 3G-standardin kehitys FRAMES-projektissa, VALDE-demonstraattori ja maailman ensimmäinen WCDMA-puhelu v. 1995. Vuonna 1995 perustetun Centre for Wireless Communications -tutkimusyksikköön (CWC) suurimpina saavutuksina voidaan pitää monikantoaaltoja MIMO-tutkimuksen aloittamista v. 1998. Samoihin aikoihin aloitettiin 4G-järjestelmäkontribuointi sekä UWB-tutkimus. 2000-luvulla tehtiin IEEE802.15.3a- ja IEEE802.15.4a-standardien konseptiehdotukset, ja 2010-luvulla tehtiin laajennusehdotus IEEE802.15.6 langattomien kehooverkkojen (WBAN) standardiin. Vuonna 2008 aloitettiin kognitiivisten radioteknologioiden tutkimus ja jo v. 2011 CWC teki maailman ensimmäisen kognitiiviverkkopuhelun käyttäen neljää eri verkkoteknologiaa. 2010-luvulla CWC on aloittanut 5G-järjestelmätutkimuksen. Tänä vuonna CWC on aloittanut 5G-testiverkon rakentamisen yliopistokampukselle.

Optoelektronikkaa hyödyntäen on kehitetty materiaalin rakenteiden, nesteen virtausprofiilin ja partikkelien optisten ominaisuuksien mittaustekniikkaa monipuolisesti lääketieteen ja puunjalostusteollisuuden sovellutuksiin. Merkittäviä uusia tuloksia on saavutettu paperin ja ihon rakenteen ei-koskettavasta mittaustekniikasta, uutena sovelluksena ihosyövän diagnostisoinnin varmentaminen. Ihon läpi on pystytty mittaamaan luun ominaisuuksia minkä pohjalta on kehitetty uusia luun tiheyttä mittaavia laitteita. Virtausprofiilin osalta on saatu uutta tietoa putkessa virtaavista nesteistä kuten paperimassasta ja verestä. Partikkelien optista manipulointitekniikkaa on kehitetty yksittäisten partikkelien (verisolut, painettavan elektroniikan ja biofotoniikan nanopartikkelit) mittaamiseksi. Optoelektronikkaan perustuen on myös Printocent-osaamiskeskuksen puitteissa kehitetty erityisesti kalvomaisten rakenteiden on-line-mittaustekniikka mm. aurinkokennoille ja valoa tuottaville komponenteille sekä kertakäyttösensoreille.

Elektronikan alueen tutkimuksessa yksikkö (elektronikan tutkimusryhmä) on maailman johtaviin kuuluva tutkimusyksikkö aika-digitaalimuuntimien tekniikan ja siihen liittyvien piirien kehittämisessä. Laboratoriossa kehitetyillä piireillä saavutetaan n. 1 ps:n kertamittausrésoluutio, joka edustaa parasta kansainvälistä tasoa. Aikavälimittausteknologioiden ohella elektroniikan tutkimus on tuottanut uusia puolijohderakenteita ja piiritekniikoita nopeiden ja suuren energian omaavien optisten ja sähköisten transienttien tuottamiseen ja ilmaisemiseen (mm. ps-alueen puolijohde laserdiodeja, mm-aaltoalueen pulssi-lähetin ja yksittäisten fotonien ilmaisimia). Tutkimusryhmä on ollut edelläkävijä myös laseretäisyysmittaustekniikan ja siihen liittyvän piiritekniikan kehittämisessä ja soveltamisessa erityisesti teollisuussmittauksiin. Laboratorion tutkimus on tuottanut myös lupaavan, laboratoriossa kehittyjä nopean elektroniikan/optoelektronikan komponentti- ja piiritekniikoita hyödyntävän menetelmän ja teknologian, jolla Raman-spektroskopiaan tyypillisesti liittyvää voimakasta fluoresenssitaustaa voidaan merkittävästi vähentää. Tämä edelleen jatkuva tutkimustyö voi onnistuessaan viedä spektroskopian täysin uusille sovellusalueille (start up v. 2014). Laseretäisyysmittauksen osalta tutkimus on tuottanut menetelmän ja teknologiset ratkaisut, joiden perustella on mahdollista kehittää ns. miniaturisoitu solid-state-laserkeilain, joka tuottaa ympäristöstään 3D-kuvaa ilman liikkuvia osia. Tämäntyyppistä geneeristä teknologiaa tarvitaan mm.

tulevaisuuden autoissa, työkoneiden ja robottien automaattisessa ohjauksessa ja liikkeeseen perustuvassa ihminen/kone-kommunikaatiossa. Tutkimustyö on tuottanut useita patenteja ja sen tuloksia on lisensoitu teollisuuteen.

Muissa vastauksissa erityisesti Tampereen teknillisen yliopiston ja Vaasan yliopiston kohdalla korostui erityisesti energiatekniikan merkitys. Älykkääseen sähköverkkoon liittyvästä pitkäjänteisestä tutkimuksesta on Tampereella syntynyt spin off -yrityksiä (mm. PowerQ) ja lukuisia patenteja esimerkiksi ABB:n toimesta. Viime vuosina on saavutettu merkittäviä tutkimustuloksia aurinkoinverttereihin liittyen. Sähkömagneetiikan tutkimusryhmä on tuottanut sovelluksia myös sisätilanavigointiin ym.

Vaasassa sähkötekniikan tutkimusryhmällä on pitkäaikainen kokemus sähköenergiajärjestelmien transienttisimuloinnista. Tätä osaamista on jo yli 15 vuoden ajan hyödynnetty eri tutkimushankkeissa. Yhteisten hankkeiden myötä osaamista on voitu vuosien varrella siirtää myös teollisuuteen ja muihin kotimaisiin yliopistoihin. Merkittävin keksinnöllinen asia liittyy Skaala Oy:n julkaisemaan ikkunaratkaisuun, johon on integroitu ilmanvaihtolaite. Vaasan yliopisto on ollut mukana hankkeessa kehittämässä järjestelmän ohjaus- ja tietoliikennetkaisuja.

# 7 ALAN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

## 7.1 Tutkimusrahoitushakemusten nousevat aiheet

Suomen Akatemian tietojärjestelmästä haettiin sähkötekniikan alan rahoitushakemukset vuosilta 2011–2015, joista avainsanahakujen avulla haettiin tutkimuksen nousevia aloja ja alojen välisiä yhteyksiä. Hakemusten valintakriteerinä käytettiin pääasiallista tieteenalaa, joka oli sähkötekniikka, elektroniikka, signaalinkäsittely tai tietoliikennetekniikka. Valittuina vuosina näitä hakemuksia Akatemiaan saapui yhteensä 904 kappaletta (vuosittain 136, 135, 179, 278 ja 176). Mukana olivat kaikki rahoitusmuodot.

Hakemuksissa mainituista avainsanoista koottiin lista, jossa oli kaikkiaan 2821 yksittäistä sanaa ja termiä. Pdf-muotoiset hakemukset käytiin läpi tekstinlouhintaohjelmalla, joka etsi avainsanojen esiintymiskerrat hakemuksissa. Saadusta aineistosta etsittiin eniten esiintyviä avainsanoja, sekä tarkasteltiin erityisesti niiden avainsanojen esiintymistä, joiden esiintymistiheys oli nousussa vuosien 2011–2015 aikana. Lisäksi tarkasteltiin avainsanojen samanaikaista esiintymistä. Tämä antaa kuvan tutkimuskohteiden välisistä yhteyksistä, mikä ei suoraan paljastu yksittäisiä hakemuksia tarkastelemalla. Vuosina 2011–2014 tulleista hakemuksista on tehty päätös tarkasteluajankohtaan 2016 mennessä. Päätöstieto liitettiin hakemuksen avainsanatietoihin. Näin voitiin tarkastella myöntöjen suhteellisia osuuksia eri avainsanoja sisältäville hakemuksille ja saada selville miten jaettu tutkimusrahoitus on suuntautunut.

Lukumääräisesti eniten hakemuksia, 279 kappaletta, vuosina 2011–2015 oli vastaanotettu tietoliikennetekniikan alalta. Tämä johtuu alan laajuudesta Suomessa sekä tälle alalle osittain tai kokonaan kohdistuneista erityisistä hakumuodoista, kuten ICT2023-ohjelmasta<sup>20</sup> ja 5G- ja WiFi-yhteishankehauista<sup>21</sup>. ICT2023-ohjelmasta oli tullut hakemuksia myös muille sähkötekniikan osa-alueille, mutta muita erillisiä nimenomaan sähkötekniikkaan kohdistuneita suuntauksia ei hakumuodoissa ole ollut.

### 7.1.1 Nousevat avainsanat

Avainsanojen tarkastelussa etsittiin sähkötekniikan alan hakemuksista avainsanoja, jotka esiintyivät yhtä aikaa vähintään 20 kertaa yhdessä hakemuksessa. Tällä pyrittiin välttämään satunnaisten esiintymisten vaikutusta ja kohdentamaan haku hakemuksiin, joissa avainsanan kuvaamalla tutkimuskohteella oli oleellinen rooli. Tarkastelu kohdistettiin ensin niihin avainsanoihin, joiden esiintymistiheys oli kasvanut eniten vuosien 2011–2015 aikana. Näistä sanoista esimerkeiksi valittiin sanat ”sensor”, ”5G” ja ”materials”. Näitä sanoja sisältävien hakemusten suhteellinen osuus on kasvanut oleellisesti viiden vuoden aikana (Taulukko 20).

Sanan ”sensor” osalta vuoden 2014 huippu selittyy erityisesti ICT2023-ohjelman suunnatuilla hauilla tänä vuonna. Erityisesti avainsanan ”5G” kohdalla huomataan aiheeseen liittyvän tutkimuksen nousu: ennen vuotta 2013 ei hakemuksissa tätä sanaa esiintynyt.

Kun tarkastellaan näiden eniten kasvaneiden avainsanojen liittymistä muihin avainsanoihin, saadaan kuva eri tutkimusalojen liittymisestä toisiinsa (Taulukko 21).

<sup>20</sup> <http://www.aka.fi/ict2023>

<sup>21</sup> <http://www.aka.fi/fi/akatemia/media/Tiedotteet1/2014/Suomen-Akatemiassa-avoinna-kansainvalisia-rahoitushakuja/>



Taulukko 20. Niiden hakemusten prosentuaalinen osuus vuosien 2011–2015 sähkötekniikan alan hakemuksista, joissa avainsana esiintyy vähintään 20 kertaa.

Avainsana	2011	2012	2013	2014	2015
sensor	11,0	17,0	14,0	23,0	16,5
5G	0,0	0,0	1,1	8,3	10,2
materials	4,4	5,2	7,8	8,3	9,7

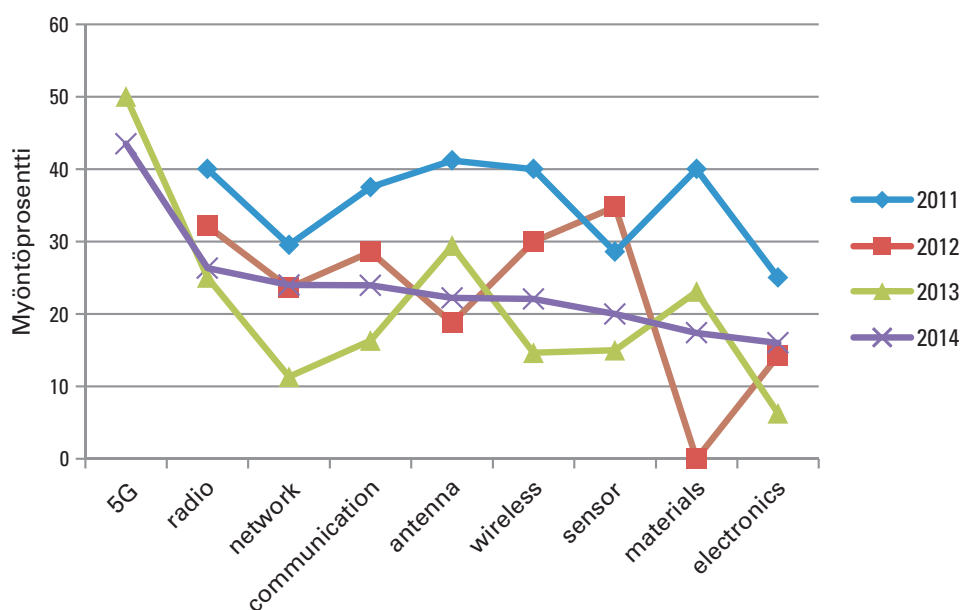
Taulukko 21. Taulukon otsikkorivillä esitettyjen nousevien avainsanojen kanssa eniten esiintyneet muut avainsanat vuosina 2011–2015 Suomen Akatemialle osoitetuissa tutkimusrahoitushakemuksissa asteikolla 0–100. Värikoodauksessa sinisestä valkoiseen muuttuva väri merkitsee vähenevää samanaikaista esiintymistä.

	5G	radio	network	communication	antenna	wireless	sensor	materials
network	23	33	100	50	14	61	13	3
communication	23	40	50	100	19	54	18	3
cell	25	39	45	42	19	40	14	6
wireless	16	36	61	54	19	100	20	2
sensor	5	10	13	18	9	20	100	7
antenna	8	38	14	19	100	19	9	16
radio	25	100	33	40	38	36	10	4
analysis	14	28	26	31	20	24	19	9
MIMO	15	42	36	40	23	41	8	1
measurement	5	28	13	19	42	17	19	13
DMA	13	22	33	41	8	41	8	0
magnetic	1	6	3	3	25	4	4	55
control	12	20	32	27	10	28	18	8
spectrum	11	27	26	27	8	27	4	1
performance	19	35	40	50	22	40	16	7
devices	10	22	24	28	21	25	21	13
materials	1	4	3	3	16	2	7	100
OFDM	19	47	32	42	20	34	8	1
interference	18	37	31	38	17	30	6	1
models	9	22	28	29	13	25	11	9
receiver	20	57	25	33	37	27	9	3
sensing	9	26	25	21	14	27	24	3
transmission	28	39	41	37	22	35	8	19
aging	3	9	9	10	14	8	14	16
algorithms	12	32	30	31	14	28	15	2
coding	10	17	30	32	7	31	6	1
5G	100	25	23	23	8	16	5	1

## 7.1.2 Myöntöjen kohdistuminen avainsanojen mukaan

Avainsanojen esiintyminen hakemuksessa ja vastaavan hakemuksen saama myönteinen tai kielteinen rahoituspäätös kytkettiin yhteen, jotta voitiin määritellä eri avainsanoja sisältävien hakemusten menestymisen hauraus. Tähän vertailuun valittiin eräitä menestyneissä hakemuksissa paljon esiintyneitä avainsanoja. Lisäksi vaadittiin, että kyseinen avainsana esiintyi vähintään 20 kertaa yhdessä hakemuksessa, jotta hakemusmassasta voitiin valikoida kaikkein eniten tämän avainsanan alueelle kohdistunut tutkimus. Kuva 20 esittää nämä kriteerit täyttävien vuosina 2011-2014 saapuneiden hakemusten myöntöprosentit vuosittain käyrinä. Tuloksista näkyy, että menestyneet avainsanat painottuvat tietoliikennetekniikkaan ja erityisen hyvin on menestynyt avainsanaan ”5G” liittyvä uuden sukupolven matkapuhelinteknologiaan liittyvä tutkimus. Osittain suureen hyväksymisprosenttiin vaikuttaa tälle alueelle suunnatut erityiset haut, mikä on nostanut alan tutkimushankkeiden hyväksymisprosenttia yli tavallisten hankkeiden hyväksymisprosentin, mutta ilmeisesti osa menestyksestä liittyy myös arvioitsijoiden ja päätöksentekijöiden haluun tukea nousevaa alaa. Kuten edellä nähtiin (Taulukko 20), sana ”5G” ei esiintynyt hakemuksissa merkittävää määrää ennen vuotta 2013.

Muuhun kuin selvästi langattomaan tietoliikenteeseen liittyvät menestyneet avainsanat esiintyvät menestyneissä sähkötekniikan hakemuksissa vähemmän. Erikoisuutena (Kuva 20) nähdään, että sana ”materials” ei esiintynyt yli 20 kertaa yhdessäkään vuonna 2012 saapuneessa myönteisen rahoituspäätöksen saaneessa hakemuksessa.



Kuva 20. Niiden vuosina 2011–2014 Akatemiaan saapuneiden hakemusten myöntöprosentti, joissa vaaka-akselin asiana on esiintynyt vähintään 20 kertaa. Eri käyrät kuvaavat kunkin saapumisvuoden myöntöprosenttia ja asiansanat on järjestetty vuoden 2014 myöntöprosentin mukaan vasemmalta oikealle.

## 7.1.3 Laitosten tutkimuksellinen yhtenevyys avainsanojen kautta

Rahoitushakemuksissa käytetyt avainsanat laitoksittain määritettiin järjestämällä hakemukset Akatemialla ilmoitetun kustannuspaikan (laitos tai osasto) mukaan ja selvittämällä kutakin laitosta kohti vähintään 20 kertaa yhdessä hakemuksessa esiintyneet avainsanat. Tällaisten hakemusten lukumäärän perusteella määriteltiin laitosten tutkimuksellinen yhtenäisyys samoja avainsanoja sisältävien hakemusten prosentuaalisen osuuden avulla. Teknisesti menetelmässä kukin laitos muodostaa vektorin, jonka komponentteina ovat kutakin avainsanaa vähintään 20 kertaa sisältävien hakemusten määrä. Pituudeltaan

Taulukko 22. Laitosten\* tutkimusalojen yhteenliittyminen esitettynä samojen avainsanojen prosentuaalisen osuuden avulla Suomen Akatemialle tulleissa tutkimusrahoitushakemuksissa. Värikoodauksessa sinisestä valkoiseen muuttuva väri merkitsee vähenevää tutkimuksellista yhtenevyyttä.

	Aalto ELE	Aalto RAD	Aalto SPA	Aalto TLV	Oulu ELE	Oulu TLV	TTY ELE	TTY ORC	TTY TLV
Aalto ELE	100	47	33	29	46	25	57	36	52
Aalto RAD	47	100	36	32	48	37	30	33	57
Aalto SPA	33	36	100	62	24	69	37	10	54
Aalto TLV	29	32	62	100	16	84	43	8	66
Oulu ELE	46	48	24	16	100	15	28	66	55
Oulu TLV	25	37	69	84	15	100	31	8	67
TTY ELE	57	30	37	43	28	31	100	18	46
TTY ORC	36	33	10	8	66	8	18	100	43
TTY TLV	52	57	54	66	55	67	46	43	100

**Lyhenteet** Aalto: ELE Sähkötekniikan ja automaation laitos, RAD Radiotekniikan laitos, SPA Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos, TLV Tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos. Oulu: ELE Sähkötekniikan osasto, TLV Tietoliikennetekniikan osasto. TTY: ELE Sähkötekniikan laitos, ORC optoelektronikan tutkimuskeskus, TLV Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laitos.

samoiksi normitettujen vektorien pistetulo on määritelty laitosten tutkimukselliseksi yhtenevyydeksi. Taulukko 22 sisältää laitosten yhtenevyydet prosentteina ja vastaavina värikoodeina. Lukuja voidaan verrata keskenään, mutta lukujen absoluuttisella suuruudella ei ole merkitystä.

Tulokset ovat osittain odotusten mukaisia siten, että esimerkiksi Aalto-yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston sähkötekniikan laitokset (lyhenteet ELE Taulukko 22) ovat tutkimusrahoitushakemusten avainsanasisältöjen perusteella lähellä toisiaan. Toisaalta Oulun Sähkötekniikan osasto on nimestään huolimatta näistä tutkimuksellisesti kauempana ja lähimpänä Tampereen teknillisen yliopiston Optoelektronikan tutkimuskeskusta, joka on tutkimuksellisesti erillään muista laitoksista. Samoin Aalto-yliopiston Signaalinkäsittelyn laitos on tutkimuksellisesti melko kaukana muista laitoksista myös saman yliopiston sisällä. Kaikkein suurin ero on Oulun Sähkötekniikan osastoon ja Tampereen Optoelektronikan tutkimuskeskukseen. Samoin nähdään, että Oulun yliopiston kaksi mukana olevaa osastoa ovat selvästi eri tavalla profiloituneita.

## 7.2 Laitosjohtajien arviot alan tulevasta kehityksestä

Laitosjohtajilta pyydettiin arviota alan tulevasta kehityksestä (Liite 1, kysymys 10). Vastauksissa tuotiin esiin teollisuudessa ja teknologiassa tapahtuneita muutoksia, joilla on ollut vaikutuksia ja jotka tulevat vaikuttamaan alan kehitykseen. Alan näkyvyys on teollisuuden tilanteen vuoksi tällä hetkellä alamaissa suhteutettuna esimerkiksi vuosikymmenen takaiseen tilanteeseen. Tieteenalan julkinen profiili on yhteydessä teollisuuden menestykseen, joten suhdanteiden muuttuminen vaikuttaa tilanteeseen pitkään. Todennäköisesti teollisuuden suurimmat negatiiviset rakenteelliset muutokset ovat kuitenkin takanapäin. Oletettavasti pienyritysten määrä ja merkitys tulee kasvamaan ja keskisuuret yritykset osallistuvat tutkimuksen hyödyntämiseen entistä aktiivisemmin. Nokian vaikutus tulee myös kasvamaan nykyisestäään sähkötekniikan ja tietoliikennetekniikan alan tasolla, mutta tuskin nousee enää samalle tasolle kuin matkapuhelinliiketoiminnan aikaan. Julkiseen ja kansainväliseen sähkötekniikan profiiliin vaikuttaa tulevaisuudessa myös yritysten innovointikyky. Yksi tärkeimpiä keinoja edistää yritysten innovointikykyä on mahdollistaa pientenkin yritysten mukaantulo tutkimushankkeisiin, jolloin tutkimuksen avulla voidaan löytää parempia ratkaisuja yritysten tarpeisiin. Toisaalta keskisuurten ja suurten yritysten mahdollisuudet hyödyntää tutkimusta tuotekehitystyössään nopeasti ovat paremmat, mikä voi johtaa kansainvälisiin menestystuotteisiin.

Tietotekniikan ja tietoliikenteen kehitys tulee kasvavassa määrin vaikuttamaan koko sähkötekniikan alaan. Erilaisten sulautettujen järjestelmien merkitys tulee lisääntymään sekä kuluttajateknologioissa että myös raskaammassa sähkötekniikan infrastruktuurissa. Tutkimuksessa ja koulutuksessa kapea-alainen huippuasiantuntijuus eri sähkötekniikan aloilla tulee ajan mukana vähenemään – vaikkakaan ei katoamaan koska tulevaisuudessakin esimerkiksi energian tuotanto- ja siirtojärjestelmät sekä massiiviset tietoverkot ja niiden valmistus sekä ylläpito vaativat kapea-alaisia sähkötekniikan huippuasiantuntijoita. Rinnalle nousee kuitenkin tärkeäksi osaksi sekä tutkimusta että koulutusta monialainen asiantuntijuus missä yhdistyy tietotekniikka, tietoliikenne, automaatio ja perinteinen sähkötekniikka eri painotuksin. Myös koulutuksessa monialaisuuden merkitys lisääntyy nopeasti ja esimerkiksi 3D-tulostuksen ja erilaisten ohjelmoitavien piirisarjojen halventuminen tulee lisäämään hands-on-tyyppistä opetusta, jossa opiskelijat suunnittelevat, rakentavat ja ohjelmoivat erilaisia sähkötekniisiä laitteita. Tämän tyyppinen projektimuotoinen koulutus sekä mahdollisuus rakentaa nopeasti ja pienellä taloudellisella riskillä sulautettuja sähkötekniisiä järjestelmiä tukee osaltaan korkean teknologian yrittäjyyttä sähkötekniikan alalla. Pienten yritysten lisääntyminen ja kasvava yhteiskunnallinen merkitys tulee vastaavasti vaikuttamaan koulutukseen sekä tutkimukseen sähkötekniisillä aloilla. Vastauksissa mainittiin lisäksi, että käytännössä perinteisen sähkötekniikan lisäksi yhä useammin alan asiantuntijoilta vaaditaan myös tieto- ja ohjelmistotekniikan sekä tietoliikenteen tuntemusta.

Yleisesti suurten rakennemuutosten jälkeen sähkötekniikan ja tietoliikennetekniikan profiili tulee paranemaan uusien teknologiatrendien myötä. Tällä hetkellä 5G ja kaikkialla läsnä olevat verkkoyhteydet, esimerkkinä teollinen internet, ovat ne megatrendit, joiden myötä alan kehitystä viedään eteenpäin. Muista tulevaisuuden trendeistä erityisesti rakenteellinen elektroniikka ja tietoliikennetekniikka, jossa ne sulautetaan osaksi perinteisiä komponentteja jo valmistusvaiheessa, vievät alan laitteita käyttöympäristöihin, joissa alan tutkimuksen hyödyntämistä ei ole osittain edes aloitettu. Näistä hyvänä esimerkkinä ovat raskas teollisuus ja rakennusteollisuus, joiden aktiivisuus alan tutkimuksen suuntaan on kasvanut huomattavasti viime aikoina. Langattomassa tietoliikenteessä mennään yhä enenevässä määrin sovelluslähtöisten tarpeiden ratkaisemiseen. Erityisesti tämä näkyy siinä, että vaatimukset luotettavuuden, siirtonopeuden, viipeen ja energiankulutuksen osalta tulevat olemaan yhä tiukempia.

Fotoniikan osalta alan kehitys nähtiin vakaana ja nopeana. Esimerkkeinä mainittiin valaistustekniikka ja näytöt sekä energiatekniikka. Eurooppalainen Photonics21-järjestö ennustaa fotoniikan alan kasvavan vuosittain kahdeksalla prosentilla tehden siitä sähkötekniikan nopeimmin kasvavan alan.

Mikro- ja nanoelektroniikan teknologioita hyödyntävä elektroniikka mainittiin alana, joka kehittyy kansainvälisesti erittäin nopeasti. Uusia teknologioita tuodaan aiempien rinnalle ja sen ohella myös integroitujen piirien toiminnallisuus laajentuu: tavoitteena on integroida piialustalle elektroniikan ohella myös fotoniikan toiminnallisuuksia. Näiden tulevien ja kehityksessään jo nyt pitkällä olevien teknologioiden syvälinen hallinnan nähtiin olevan tärkeää myös suomalaiselle teollisuudelle. Ala on monipuolinen ja käytännön läheinen ja sen opettaminen edellyttää kurssuja laajalta alueelta (piiriteoriaa, analogiatekniikkaa, digitaalitekniikkaa, optoelektroniikkaa, RF-tekniikkaa) ja laboratoriotöitä.

Osassa vastauksista nähtiin, että teollisuudessa on puute alan huippuosaajista. Ainakin osassa yliopistoja alaa opiskelemaan hakevien joukko pienenee, mikä voi johtua teollisuuden vaikeuksista. Yliopistojen rahoitus perustuu pääosin opiskelijoiden määrään, joten alan koulutus (ja siten myös tutkimus) kohtaa vaikeuksia. Teknologiat etenevät nopeasti ja osaajien tarve kasvaa, mutta yliopistojen mahdollisuudet tuottaa osaajia heikentyvät. Esimerkiksi Oulussa yksiköt käyvät jatkuvaa vuoropuhelua yritysten kanssa niiden henkilöstö- ja tutkimustarpeista ja pyrkivät vaikuttamaan osaltaan alan merkittävyyden tunnistamiseksi. Oulun kaupunki on myös merkittävästi panostanut ICT-alan kehittämiseen, mikä on johtanut siihen, että uudet ja aloittavat yritykset ovat nousseet Oulussa muutamassa vuodessa merkittäväksi työllistäjäksi ja uudet pienyritykset työllistävät tätä nykyä jo noin 1 500 työntekijää. Tämä on johtanut alan osaajien kasvavaan kysyntään osin tarjontaa suuremmaksi.

Yleisenä huolenaiheena alalla on teknillisten tieteiden jo jonkin aikaa jatkunut perustutkimusta tukevan rahoituksen määrän aleneminen, joka mm. Suomen Akatemian rahoituksen laskiessa pienenee todennäköisesti edelleen. Tämä vaikeuttaa korkeatasoisen tutkimuksen tekemistä, joka on ensiarvoisen tärkeää yliopistojen kansainvälisen merkittävyyden kannalta esimerkiksi osallistuttaessa EU-hankkeisiin. Tekesin rahoitus on ollut myös erittäin tärkeää tutkimustulosten hyödyntämiseksi kotimaisessa teollisuudessa yritysten kansainvälistyessä. Yliopistojen ja tutkimuslaitosten kiinteä yhteistyö teollisuuden kanssa on ollut hedelmällistä ja kansainvälisellä mittakaavalla poikkeuksellisen hyvin järjestettyä. Vastauksissa todettiin, että EU-tason rahoitus ohjaa tutkimusryhmiä isoihin konsortioihin, joissa teho ei välttämättä ole paras mahdollinen, hankkeiden tutkimuksellisuus voi myös olla vaatimaton ja kotimaisen teollisuuden – varsinkin pienyritysten – hyödyntämismahdollisuudet rajalliset. Teknillisten tieteiden perustutkimuksen rahoituksen vähäisyydestä johtuen on alalla kehittynyt vääristynyt perus- ja täydentävän rahoituksen suhde, vaikka mm. sähkötekniikka, elektroniikka ja tietoliikennetekniikka ovat kokeellisina tieteinä suhteellisen kalliita erityisesti tarvittavien tilojen, laitteiden, materiaalien ja valmistuksen osalta. Alalla on jo nyt tehty voimakasta kansallisen tason profilointia, mutta koko alan vaikuttavuuden hyödyntämiseksi Suomessa olisi sitä vahvistettava kiinnittämällä huomiota toimintaketjuun tutkimuksesta yritystoimintaan: toimintaketjun vahvistaminen lisää alan kansallisen tutkimuksen merkittävyyttä maailmalla auttaen syvällisen tutkimuksen ja nopean tuotekehityksen kautta yrityksiä luomaan uusia liiketoimintamahdollisuuksia, synnyttää uusia poikkitieteellisesti alaa hyödyntäviä yrityksiä ja houkuttelee kansainvälisiä yrityksiä Suomeen laadukkaaksi tunnustettavan tutkimuksen perusteella.

Erikseen mainittiin, että tarkasteltujen alojen merkittävyys kansallisten ja globaalien megatrendien suhteen, joita ovat mm. ilmastonmuutos, resurssiniukkuus ja digitalisaatio. Nämä trendit vaikuttavat merkittävästi myös sähkötekniikan tutkimukseen ja kehitykseen. Ilmastomuutoksen hillitsemisessä sähkötekniikalla on keskeinen rooli sekä uusiutuvan energian että energiatehokkuuden lisäämisen kautta. Energia- ja energiatehokkuuden ja energiajärjestelmien muutokseen liittyen tärkeimpinä muutostekijöinä nähtiin:

- Sähkön rooli energiajärjestelmässä kasvaa
- Uusiutuvan energian (tuuli, aurinko, jne.) osuus kasvaa
- Tarve kysynnän joustolle ja energian varastoinnille kasvaa
- Tehoelektroniikan rooli kasvaa (energiatehokkuus, sähköverkko sovellukset, liikenne ja työkoneet)
- Liikenne sähköistyy
- Sähköenergiajärjestelmän hallinta digitalisoituu
- Yhteiskunnan sähköriippuvuus kasvaa

Vastauksissa korostettiin, että sähkötekniikan suurten haasteiden ratkaisemisessa on kiistaton ja niiden edistämiseksi kaikilla tasoilla tietoa tulee viedä laajalti yhteiskunnan eri osa-alueille (esim. kouluopetukseen). Tiedepoliittisilla päätöksillä nähtiin olevan merkittävä rooli alan kehitykselle ja eräänä tiivistyksenä tarvittavista toimista esitettiin ketju

- Lisätään alan tieteellisen perustutkimuksen ja perusrahoituksen osuutta
- Mahdollistetaan rahoitus laitteistojen laajamittaisempaan hyödyntämiseen kansallisesti (myös yritykset)
- Kehitetään kansallista tuotekehitysrahoitusta
- Lisätään kansainvälistä vaikuttavuutta kotimaisen osaamisen edelleen kehittämiseksi
- Hyväksytään, että alan osaajien kouluttaminen kallista ja se on otettava huomioon resurssien allokoinnissa valtakunnallisesti ja yliopistojen sisällä.

## 8 YHTEENVETO

Sähkötekniikan alan tutkimusta suomalaisissa yliopistoissa on selvitetty kartoittamalla alan tutkijakunnan ja rahoituksen laajuus, sekä keräämällä tietoja tutkimusympäristöjen tilasta ja tutkimuksen tieteellisestä ja yhteiskunnallisesta vaikuttavuudesta. Samassa yhteydessä on koottu näkemyksiä alan tutkimuksen nykytilasta ja tulevaisuuden näkymistä.

Kartoitus toteutettiin aiemmista tieteenala-arvioinneista poikkeavasti tutkijalähtöisenä ja ilman kansainvälisiä arviointipaneelleja. Kartoituksen alussa järjestettiin tutkijatapaaminen sähkötekniikan alan laitosjohtajille, jossa osallistujat kertoivat näkemyksiään niistä asioista, joita kartoituksella pitäisi pyrkiä selvittämään ja menetelmistä, joilla tarvittavia tietoja voisi kerätä. Käytännössä tiedonkeruu toteutettiin kaksiosaisena laitosjohtajille suunnattuna kyselynä, jonka tietojen analysoinnista vastasi Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen yksikkö Suomen Akatemiassa. Tutkijoilta saatuja tietoja täydennettiin ja vertailtiin Akatemian omia ja opetushallinnon tietojärjestelmiä käyttäen.

Henkilöstökartoitus (Luku 3.1) kertoi, että alan jatko-opiskelijoiden määrä on viime vuosina ollut laskussa. Tutkijatohtoreiden määrä on kehittynyt eri tavoin eri yksiköissä, mutta kokonaisuudessaan määrä on pysynyt melko samana viime vuosina ja trendistä on odotettavissa määrän hienoinen lasku tulevaisuudessa. Henkilöstöryhmistä tutkijauratasojen 3 ja 4, eli yliopistotutkijoiden, lehtorien ja professorien määrä on ollut edelleen ollut kasvussa viime vuosina. Tämä voi johtua yliopistojen strategisesta valinnasta henkilöstöresurssien suuntaamisesta tai siitä, että jatko-opiskelijoiden määrä reagoi nopeammin tutkimusrahoituksen määrässä tapahtuviin muutoksiin.

Alan kokonaisrahoituksen määrä (Luku 3.2) on kääntynyt selvään laskuun vuoden 2012 huipusta, johon asti rahoituksen määrä oli kasvanut yhtäjaksoisesti. Vuoden 2014 rahoitus oli jo yli kymmenen prosenttia vuoden 2012 rahoitusta pienempi. Eryteisesti kokonaisrahoituksen lasku on seurausta laitosten perusrahoituksen sekä Tekes- ja yritysrahoituksen vähenemisestä. Akatemian rahoitus on alalla pysynyt kutakuinkin vakiona ja EU-rahoituksen määrä on ollut kasvussa. Jälkimmäiset kanavat tuovan kokonaisuudessaan kuitenkin pienehkön osan alan kokonaisrahoituksesta. Kokonaisrahoituksen lasku heijastaa jatko-opiskelijoiden määrässä tapahtunutta laskua. Professori- ja lehtoritason henkilöstön määrä on kuitenkin edelleen jatkanut kasvuaan.

Muuna tutkimusympäristön tilaan vaikuttavana seikkana kysyttiin tietoja tutkimuksen käytössä olevista infrastruktuureista. Näiden osalta (Luku 3.5) ilmeni, että yksiköillä on käytössään varsin suuri määrä yliopistoissa sijaitsevia tutkimusinfrastruktuureja, joilla on oleellinen merkitys tutkimukselle. Myöhemmin alan kehitystarpeiden kohdalla tuotiin esiin, että näiden yliopistoissa sijaitsevien usein hankintahinnaltaan pienehköjen laitteiden rahoitus on ongelmallista, koska yleisesti käytössä olevista rahoitusinstrumenteista ei usein voi saada tukea laitteistojen hankintaan ja ylläpitoon.

Alan professorikuntaan perustuva julkaisuanalyysi (Luku 4) kertoo, että alan julkaisujen määrissä tai niiden saamissa viittauksissa henkilömääriin suhteutettuna ei ole tapahtunut suuria muutoksia viime vuosien aikana. Tämä tulos poikkeaa jonkin verran aiemman Tieteen tila 2014 -selvityksen antamasta kuvasta, jossa sähkötekniikan alan viittausmäärät kansainvälisessä vertailussa olivat laskussa. Tieteen tila 2014 ja käsillä oleva kartoitus eroavat kuitenkin huomattavasti toisistaan julkaisukartoituksen osalta. Edellisessä julkaisu- ja viittausmääriä verrattiin kansainväliseen keskimääräiseen ja huipputasoon, jälkimmäisessä vain alan sisällä eri vuosina, eikä tässä työssä pyritty varsinaiseen tutkimuksen tieteellisen tason arvioimiseen. Lisäksi kahden julkaisuselvityksen kohderyhmät määräytyivät eri tavalla, edellisessä

julkaisujen mukaan ja jälkimmäisessä alan sisältä tutkimusyksiköittäin. Edelleen käsillä olevan kartoituksen tiedonkeruuvaiheessa todettiin, että erityisesti julkaisukartoitusten teossa käytetyillä tietokannoilla on suuri merkitys lopputuloksiin, johtuen eri tietokantojen erilaisesta kattavuudesta. Tämä ero on erityisen suuri insinööritieteiden alalla.

Tutkimusyksiköiden tuottamien tutkintojen määrä osoittaa, että diplomi-insinöörin tutkintoja on viimeisen kymmenen vuoden aikana tuotettu 3400 kappaletta siten, että vuosittainen määrä on viime vuonna kohonnut noin neljäänsataan. Tohtoreita on samassa ajassa tuotettu noin 700 kappaletta siten, että vuosittainen määrä on kohonnut noin puolella 90:een. Tohtorit ovat Tilastokeskuksen aineiston mukaan sijoittuneet tutkinnon suorittamisen jälkeen siten, että noin puolet toimii yrityssektorilla ja kolmannes yliopistoissa. Uusiksi professoreiksi on valmistuneista tohtoreista päätynyt 27 henkilöä, joista noin puolet ulkomaille ja puolet Suomeen. Ulkomaille sijoittuneet ovat käytännössä kaikki ulkomaalaisia, jotka ovat tulleet Suomeen suorittamaan tohtorin tutkintonsa. Suomalaisiin yliopistoihin päätyneistä kaikki yhtä poikkeusta lukuun ottamatta toimivat professorina samassa yliopistossa, jossa ovat suorittaneet tohtorin tutkintonsa. Erillisessä kyselyssä valmistuneille tohtoreille osa vastaajista toi esiin, että kaikki yritykset eivät pidä tohtorin tutkinnon tuomaa lisäarvoa merkittävänä, eikä tohtoreiden taitoja osata hyödyntää tuotekehityksessä täysipainoisesti. Joidenkin vastausten mukaan ulkomaiset ja monikansalliset yritykset ovat tässä suhteessa suomalaisia yrityksiä edellä.

Alan muusta vaikuttavuudesta voidaan nostaa esiin erityisesti spin off -yritykset, joita sähkötekniikan alalta on kymmenessä vuodessa syntynyt 51 kappaletta. Syntynyt liiketoiminta ei ole tässä vaiheessa erityisen laajaa; yritykset työllistävät tällä hetkellä yhteensä noin 120 henkeä, joskin jotkin yritykset ovat kasvaneet varsin nopeasti. Muutamalle yritykselle erikseen lähetetyn kyselyn mukaan yliopistoissa tehdyillä tutkimuksella on ollut oleellinen merkitys yritysideoiden synnyssä. Kaikissa tapauksissa yrityksen syntyyn johtavaa tutkimusta oli tehty pitkän ajan, jopa usean vuosikymmenen, kuluessa. Ulkopuolisella Tekesin ja Suomen Akatemian tarjoamalla tutkimusrahoituksella kerrottiin olleen huomattava vaikutus tutkimusideoiden kehittämisessä.

Yritysten kanssa tehtävällä yhteistyöllä on perinteisesti ollut sähkötekniikan alalla suuri merkitys. Tässä suhteessa ovat myös tapahtuneet merkittävimmät muutokset joidenkin yksiköiden osalta, erityisesti liittyen Nokian matkapuhelinliiketoimintojen supistumiseen ja omistusvaihdoksiin. Yksiköt ovat kuitenkin pyrkineet korvaamaan muutoksia hankkimalla aktiivisesti uusia kumppaneita. Yritysten suhteen onkin tapahtunut profiilin muuttumista siten, että nykyään yhteistyötä tehdään entistä suuremman, mutta pienemmistä yrityksistä koostuvan joukon kanssa. Yhteistyöyritykset ovat lisäksi aiempaa kansainvälisempiä. Yliopistoissa on myös pyritty tarjoamaan yrityksille uudenlaisia yhteistyötapoja, kuten täydennuskoulusta ja mahdollisuuksia osallistua opiskelijaprojekteihin.

Alan tulevaisuuden näkymistä esiin nousi elektroniikan ja tietoliikennetekniikan kehitys, joka laajentaa perinteisen sähkötekniikan tutkimus- ja sovelluskohteita. Sähkötekniikan tutkimuksella nähtiin myös olevan ratkaiseva merkitys tulevien energiahuoltoon liittyvien haasteiden ratkaisemisessa, erityisesti älykkäiden sähköverkkojen muodossa, mikä on yksi esimerkki tietoliikennetekniikan ja perinteisemmän sähkötekniikan yhdistämisen muodostamasta uudesta alueesta. Vastauksissa haluttiin myös lisätä pienten yritysten ja yliopistojen yhteistyötä tuotekehityksen vauhdittamiseksi ja tutkimuksen sovellusten nopeamman kaupallistamisen mahdollistamiseksi.

# LIITE 1. VAIKUTTAVUUSKYSELY

## Sähkötekniikan alan tutkimuksen kartoitus -vaikuttavuusosio

Tässä sähkötekniikan alan tutkimuksen kartoituksen toisessa osassa selvitetään tutkimusympäristössä tapahtuneita muutoksia ja tutkimuksen vaikuttavuuteen liittyviä kysymyksiä. Kysymykset pohjautuvat keskusteluihin yliopistojen laitosjohtajien kanssa, ja niiden muodostamisessa on käytetty hyväksi kartoituksen tueksi muodostettua Suomen Akatemian Luonnontieteiden ja tekniikan toimikunnan ohjausryhmää sekä keskustelua Aalto-yliopiston Sähkötekniikan korkeakoulun varadekaanin Raimo Sepposen kanssa.

Kysymykset käsittävät yleensä kymmenen vuoden ajanjakson 2005–2014. Mikäli tietoja ei koko ajalta ole saatavana, ilmoitetaan se erikseen. Vastausmuoto on valittavissa, soveltuvin osin voi käyttää esimerkiksi Excel-taulukoita tai vapaata tekstiä. Vastauksia toivotaan viimeistään 21.10.2015.

## Rahoitus

Kysymys selvittää tutkimukseen käytetyn rahoituksen lähteitä, siksi opetukseen kohdistunut rahoituksen osuus olisi arvioitava, esimerkiksi erittelemällä oman organisaation rahoitus opetukseen ja tutkimukseen käytetyiksi osiksi.

**Kysymys 1:** Anna laitoksen tutkimustoiminnan rahoituslähteet euromääräisesti vuosittain aikana 2005–2014.

1. Oma organisaatio
2. Suomen Akatemia
3. Tekes
4. Muu kansallinen rahoitus, kuten ministeriöt tai säätiöt (ei elinkeinoelämä)
5. Kansainvälinen rahoitus eriteltyinä (esim. ERC-rahoitus)
6. Yritykset
7. Muu elinkeinoelämän rahoitus (esimerkiksi teollisuuden säätiöt)

## Teollisuusyhteistyö

**Kysymys 2:** Miten teollisuuden kanssa tehty yhteistyö on muuttunut vuosien 2010–2014 aikana, esimerkiksi projektien määrän tai yritysten määrän ja koon suhteen?

## Spin offien synty

**Kysymys 3:** Luettele laitoksen tutkimustoiminnasta alkunsa saaneet spin off -yritykset nimeltä vuosina 2005–2014.



## **Uusien professorien kouluttaminen**

**Kysymys 4:** Ketkä laitoksellanne tohtorintutkinnon vuosina 2005–2014 suorittaneista toimivat nykyisin professoreina (ml. tutkimusprofessorit tutkimuslaitoksissa) ja missä organisaatiossa?

## **Tohtorin tutkinnot**

**Kysymys 5:** Luettele laitokselta valmistuneet tohtorit vuosittain aikana 2005–2014. Anna nimen lisäksi syntymävuosi ja mahdollisuuksien mukaan sijoittuminen vuosi tohtorin tutkinnon jälkeen (yksityinen/julkinen sektori). Kerro vuositason jatko-opiskelijoiden rahoituslähteiden jakauma (esim. v. 2012 GETA 60 %, SA hankkeet 25 %, TEKES 10 %, yritykset 5 %).

## **Diplomi-insinöörin tutkinnot**

**Kysymys 6:** Luettele laitokselta valmistuneet diplomi-insinöörit vuosittain aikana 2005–2014. Anna nimen lisäksi syntymävuosi.

## **Tutkijoiden liikkuvuus**

Liikkuvuus jaotellaan yleensä lyhyisiin (viikosta kuukauteen) kestäviin ja pitkiin (yli kuukauden kestäviin) vierailuihin. Tässä selvityksessä haetaan liikkuvuuden kokonaismäärää ja kohteita. OKM on kerännyt liikkuvuustietoja yliopistoilta, tässä pyydetään samoja tietoja sähkötekniikan osalta.

**Kysymys 7:** Kuinka paljon laitoksellanne on ollut liikkuvuuskuukausia laitoksesta pois tai laitokseen (ulkomailla tai kotimaassa) vuosina 2010–2014? Mukaan lasketaan vähintään viikon kestäneet vierailut. Erittele vastauksessa kohde- ja lähtömaa sekä jatko-opiskelijat, tohtorintutkinnon suorittaneet (poislukien professorit) ja professorit.

## **Tutkimusinfrastruktuurit**

**Kysymys 8:** Mikä on oma arviosi yksikön käytössä olevan tutkimusinfrastruktuurin nykytilasta, sen asemasta kansainvälisessä vertailussa ja kehittämistarpeista?

## **Menestystarinat**

**Kysymys 9:** Kerro laitoksesi tutkimukseen liittyvistä tai siitä alkunsa saaneista asioista, jotka mielestäsi ovat olleet erityisen vaikuttavia (tutkimustulokset, keksinnöt, sovellukset...).

## **Arviot alan tulevasta kehityksestä**

**Kysymys 10:** Miten alan nykyinen profiili tulee arviosi mukaan muuttumaan?



## SUOMEN AKATEMIA

Hakaniemenranta 6 • PL 131, 00531 Helsinki  
Puh. 029 533 5000 • Fax 029 533 5299  
[www.aka.fi](http://www.aka.fi) • [viestinta@aka.fi](mailto:viestinta@aka.fi)