



SUOMI
TARVITSEE
YHÄ ENEMMÄN
HUIPPUOSAAJIA:
MITEN
TUTKIJIA-
KOULUTUSTA
TULISI KEHITTÄÄ?

PEKKA
NEITTAANMÄKI



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisu No. 109/2024

© Pekka Neittaanmäki 2024

Ulkoasu: Keijo Halttunen

ISBN 978-952-86-0358-0



SUOMI
TARVITSEE
YHÄ ENEMMÄN
HUIPPUOSAAJIA:

MITEN
TUTKIJIA-
KOULUTUSTA
TULISI KEHITTÄÄ?

PEKKA
NEITTAANMÄKI

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	7
1 JOHDANTO	9
2 MATEMATIIKAN OPISKELIJASTA PROFESSORIKSI	10
2.1 Matematiikkakoneesta matemaattiseen tietojenkäsittelyyn	10
2.2 Rolf Nevanlinnan luento ja Bonnin yliopisto	11
2.3 Oppia Lappeenrannan teknillisestä korkeakoulusta	12
2.4 Varusmiespalvelu EMP (<i>Electromagnetic Pulse</i>) tutkijana	13
2.5 Laskennallisista tieteistä tieteiden kolmas paradigma	14
2.6 LTKK mukaan kansainväliseen yhteistyöhön	17
2.7 Lappeenranta loi pohjan tutkijakoulutuksen kehittämiseksi	18
2.8 Takaisin Jyväskylään. IT-alalla käynnistyy tutkijankoulutus	19
3 TUTKIJAKOULUTUKSEN LUOVA YMPÄRISTÖ	20
3.1 Soveltavien luonnontieteiden kehittämisohjelma vauhdittaa tutkijakoulutusta	21
3.2 COMAS-tutkijakoulu	21
3.3 Luova työympäristö on tärkeä perusedellytys tutkijakoulutukselle	24
3.4 Minustako tohtori?	24
3.5 Agora Center – uudenlainen verkostomainen erillislaitos 2002–2017	26
3.5.1 Agora Centerin perustaminen	26
3.5.2 Menetelmäasiantuntijoiden tutkijakoulutus	27
3.5.3 Tieteellä tuloksiin	27
3.5.4 Agora Center maakunnan kehityksen veturina	28
3.5.5 Kansainvälinen Agora Center	29
3.5.6 Agora Center – avoin ja kannustava	30
3.5.7 Spin Off	30
3.6 Tutkijakoulutus muun työn ohella	31
3.7 Kansainvälinen kesäkoulu	31
4 LASKENNALLISET TIETEET JA KANSAINVÄLINEN TUTKIMUSVERKOSTO	33
4.1 Kansainvälinen yhteistyöverkosto	35
1 Numeerinen analyysi	35
2 Luotettava laskenta	35
3 Optimointi, optimaalinen ohjaus ja logistiikka	36
4 Nanoteknologian laskennallinen metodologia	36
5 Laskennallinen mekaniikka	37
6 Dynaamiset järjestelmät ja houkuttimet (<i>attraktorit</i>)	37
7 Signaalin- ja kuvan käsittely	37
8 Massadata-analytiikka	38

9	Kyberturvallisuus. Kriittisen infrastruktuurin suojaus (<i>CIP</i>)	38
10	Digitaaliset palvelualustat	38
11	Tietojen analysointi, optimointi ja simulointi julkisessa terveydenhuollossa	39
12	Digitaaliset oppimisympäristöt	39
4.2	Miten verkosto syntyi?	39
5	OKM:N TOHTORIKOULUTUSRAHOITUS 2024–2027	42
6	TUTKIJAKOULUTUKSEN KEHITTÄMINEN	46
6.1	Kansallisia linjauksia rahoituksesta ja koulutustarpeista	46
6.2	Tohtoreiden määrät ja työllistyminen	47
6.3	Tutkimustiedon hyödyntämistä nopeutettava	50
6.4	Tutkijakoulutuksen kehittäminen	50
6.5	Jatko-opintojen kolmen vuoden haaste	52
6.6	OKM:n tavoitteet tutkijakoulutuksessa	53
6.7	Tutkijakoulutuksen tarpeet maakunnittain ja aloittain	54
6.8	Kansainvälinen yhteistyö tutkijakoulutuksessa	56
6.9	Raportteja tohtorikoulutuksesta ja työelämäyhteistyöstä	57
	LÄHTEET	58
7	VÄITÖSKIRJAN TEKEMISEN ERI VAIHEET JA URASUUNNITTELU	60
7.1	Miten jatko-opintoihin päädytään	60
7.2	Väitöskirjan perustyytit	60
7.3	Jatkokoulutuksen rahoitus ja väitöskirjojen ohjausmalli	61
7.4	Tutkimustoiminnan eri vaiheet ja väitöskirjan aiheen valinnan vaikeus	64
7.5	Yritysyhteistyön kehittäminen	66
7.6	Kansainväliset konferenssit, kesäkoulu ja tutkimusyhteistyö osana tutkijakoulutusta	67
7.7	Väitelleiden urakehitys ja -suunnittelu	69
7.8	Tietokanta väitöskirjan ohjaajista	74
8	OPPILAIDEN KERTOMUKSIA OPISKELUSTA, VÄITÖSKIRJAN TEKEMISEN ERI VAIHEISTA SEKÄ TYÖELÄMÄÄN SIIRTYMISESTÄ	76
	Timo Tiihonen, FT, professori	77
	Erkki Laitinen, FT, dosentti	81
	Raino Mäkinen, FT, professori	84
	Tommi Kärkkäinen, FT, professori	86
	Jari Hämäläinen, FT, professori	90
	Marko Mäkelä FT, professori	96
	Dimitri Kuzmin, FT, professori	103
	Kullervo Hirvonen, FT	106

Kari Saarinen, FT, dosentti	109
Janne Kujala, FT	115
Tero Tuovinen, FT, dosentti	118
Ilkka Pölönen, FT, professori	120
Jorma Kyppö, FT	122
Mauno Keto, FT	139
Aarne Hummelholm, FT	143
Jouni Pöyhönen, FT	161
9 YHTEISTYÖKUMPPANIEEN PUHEENVUOROJA	166
TIETOJÄRJESTELMÄTIETEEN PULMISTA (<i>Pertti Järvinen</i>)	166
MY TWENTY YEARS OF COLLABORATION WITH PEKKA NEITTAANMÄKI ON NUMERICAL ANALYSIS (<i>Michal Krížek</i>)	171
KOGNITIOTIEDE (<i>Pertti Saariluoma, Rebekah Rousi, Tuomo Kujala, Johanna Silvennoinen</i>)	182
10 TIETEEN UUDET PARADIGMAT JA TUTKIJAKOULUTUSTA TUKENEET UUDET KEHITTÄMISHANKKEET	185
10.1 TIETEEN KOLMAS JA NELJÄS PARADIGMA	185
10.1.1 Laskennallinen tiede – tieteen kolmas paradigma	185
10.1.2 Big data-analyysi – tieteen neljäs paradigma	186
10.1.3 Laskennalliset tieteet tutkimustyön, tutkijan ja tiedeyhteisön näkökulmasta	187
10.2 KOGNITIIVINEN TEKOÄLY	190
10.3 SOTE-IT-ALAN TUTKIMUSTA	193
10.3.1 SOTE-IT-tutkimusta aloitetaan 2010-luvulla	194
10.3.2 Jyväskylän yliopisto edelläkävijä tekoälyn ja terveydenhuollon tutkimuksessa	195
10.3.3 Kansallisen SOTE-uudistuksen käynnistyminen lisäsi tutkimuksen tarvetta	196
10.3.4 IT-tiedekuntaan muodostui merkittävä SOTE-IT-tutkimusryhmä	197
10.4 KYBERTURVALLISUUDEN TUTKIMUS JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON IT-TIEDEKUNNASSA (<i>Martti Lehto</i>)	200
10.4.1. Toiminnan lähtökohta	200
10.4.2. Kyberturvallisuuden tutkimuksen ja opetuksen perustan luominen vuosina 2009–2010	200
10.4.3. Informaatioturvallisuuden kehittämisohjelma ja koulutuksen aloittaminen vuonna 2011	200
10.4.4. Jyväskylän yliopiston ensimmäinen informaatioturvallisuustutkimuksen ja -koulutuksen kehittämissuunnitelma 2011	201
10.4.5. Informaatioturvallisuuskoulutus alkoi syksyllä 2011	201
10.4.6. Informaatio (<i>kyber</i>) turvallisuuden tutkimus käynnistyy	202
10.4.7. INKA-hanke nostaa Jyväskylän kyberturvallisuustutkimuksen kärkeen	202
10.4.8. Cyber Trust -hanke aloitti kansallisen tutkimustoiminnan	203
10.4.9. Kyberprofiloituminen vahvisti yliopiston asemaa kyberyliopistona	203
10.4.10. Kansallista kyberturvallisuuden tilaa on tutkittu Jyväskylän yliopiston johdolla	204
10.4.11. IT-tiedekunnassa tehdään uutta luovaa tutkimusta	205

LIITTEET	207
Liite 1. Eri tieteenalat	208
Liite 2. Ohjaamani väitöskirjat, ja oppilaiden ohjaamat väitöskirjat (<i>tilanne 9/2024</i>)	209
Liite 3. Top 76 väitöskirjojen ohjaajat (<i>Mathematics Genealogy Project</i>)	215
KUVALUETTELO	218
TAULUKKOLUETTELO	219

TIIVISTELMÄ

Keskeinen osa kansainvälisen kilpailukyvyn parantamista on tavoite nostaa tutkimus- ja kehityspanostukset (*T&K*) neljään prosenttiin bruttokansantuotteesta vuoteen 2030 mennessä. Rahoitustason nousu edellyttää *T&K*-työtä tekevän henkilöstön merkittävää lisäystä. Arvion mukaan vuosittainen lisätarve olisi lähes 9000 henkilöä, joista noin 2000 olisi tohtorikoulutettua.

Suomi tarvitsee lisää tutkijakoulutuksen saanutta työvoimaa. Opetus- ja kulttuuriministeriö on myöntänyt yhteensä 255 miljoonaa euroa tohtorikoulutuksen pilottihankkeeseen vuosille 2024–2027. Lisärahoituksella yliopistoihin palkataan 1000 väitöskirjatutkijaa kolmen vuoden työsuhteisiin suorittamaan tohtorintutkinto.

Uuden tohtoripilotin myötä kansainvälinen kilpailukykyämme ja innovaatiopotentiaalimme paranevat. Myös tohtoreiden määrää Suomessa saadaan nostettua.

Tutkijakoulutus on yksi tärkeimmistä yliopistojen tehtävistä. Olen pitänyt sitä omalla yliopistourallani tärkeimpänä tehtävänäni. Yliopistojen tulee kouluttaa opiskelijoita toimimaan yhteiskunnan tärkeissä tehtävissä ja uudistaa yhteiskuntaa. Erityisesti tutkijakoulutuksessa pitäisi pystyä ennakoimaan tulevaisuuden tarpeet.

Aikaisempien kokemusteni pohjalta tarkastelen, miten tutkijakoulutus tulisi toteuttaa, jotta esitettyihin tavoitteisiin päästään. Parin viime vuosikymmenen aikana tieteen tekeminen on uudistunut. Tietotekniikan ja matemaattisten menetelmien kehityksen tuloksena perinteisen teoreettisen ja kokeellisen tutkimuksen rinnalle on tullut laskennalliset tieteet, jotka mahdollistavat uusia tapoja tehdä tutkimusta. Vastaan kysymyksiin yli 40 vuoden tutkijakoulutuskokemuksella, yli 130 väitöskirjan ohjanneena, kuinka tutkijanuralle hakeudutaan, kuinka väitöskirjan aihe valitaan, kuinka ohjataan väitöskirjan tekijää, miten tehdään uravalinta sekä miten kansainvälisyys tuodaan kampukselle. Professorin työn lisäksi näkökulmiani rikastavat kokemukseni yliopiston dekaanina ja vararehtorina.

Kirjassa käsitellään myös luovia tutkijakoulutusympäristöjä ja erilaisia väitöskirjan ohjausmalleja sekä kansainvälisten verkostojen merkitystä. Olen pitänyt tärkeänä oppilaitteeni urakehitystä. Kirjan loppuosassa oppilaani kertovat omista opiskeluajan kokemuksistaan ja työurastaan. Lisäksi pitkäaikaiset yhteistyökumppanit kertovat kokemuksistaan. Lopuksi esitellään tieteen uusia paradigmoja sekä miten reagoidaan uusiin koulutus- ja tutkimustarpeisiin esimerkkinä SOTE- ja kyber-alat.

■ ■ ■

1 JOHDANTO

Tutkijakoulutus on yksi tärkeimmistä yliopistojen tehtävistä. Olen pitänyt sitä tärkeimpänä tehtävänä omalla yliopistourallani. Tarkastelen tässä kirjassa kuinka tutkijakoulutusta tulisi kehittää. Kirja koostuu kuudesta osasta.

Luvussa 2 kerron omasta opiskelustani ja siitä, kuinka päädyin väitöskirjan tekijäksi ja väitöskirjojen ohjaajaksi. Lisäksi analysoin miten tietotekniikan aiheuttama murros vaikutti omaan tutkimustyöhöni ja väitöskirjojen aiheisiin. Tutkijakoulutukseen alettiin kiinnittämään huomiota 1980-luvun puolivälissä. Aloitin jatko-opiskelijoiden kouluttamisen 1980-luvun alussa.

Luvussa 3 tarkastellaan tutkijakoulutuksen ja tutkimusympäristön kehittämistä Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksessa, IT-tiedekunnassa sekä Agora Centerissä. Tietotekniikan ja matemaattisten menetelmien kehityksen seurauksena laskennalliset tieteet ovat tulleet perinteisen teoreettisen ja kokeellisen tutkimuksen rinnalle, mikä mahdollistaa uusia tapoja tehdä tutkimusta. Halusin työskennellä ja ohjata väitöskirjoja tieteen kolmatta ja neljättä paradigmaa edustavilla laskennallisten tieteiden alueilla.

Luvun 4 aiheita ovat laskennalliset tieteet ja globaali tutkijaverkostoni.

Luvussa 5 tarkastellaan tutkijakoulutuksen laajentamista Opetus- ja kulttuuriministeriön lisärahoituksella sekä yliopistojen menestymistä rahoituksen saamisessa. Painopiste rahoituksessa on suunnattu kansallisen strategian mukaisesti tekniikan, lääketieteen koulutuksen, sosiaalitieteiden sekä luonnon- ja ympäristötieteiden tärkeille aloille.

Luvussa 6 tarkastelen tutkijakoulutuksen kehittämistä lähes 40 vuoden tutkijakoulutuskokemukseni ja yli 130 väitöskirjan ohjauksen pohjalta. Käsittelen mm. seuraavia aiheita: väitöskirjojen tyypit, ohjauksen järjestelyt, rahoitus ja yritysyritystyö sekä kokemukseni jatko-opiskelijoiden ohjauksesta.

Luvun 7 aiheena ovat väitöskirjojen rakenteet ja ryhmässäni väitelleiden urakehitys.

Luvussa 8 neljätoista ryhmässäni väitellyttä kertoo oman tarinansa kuinka he päätyivät jatko-opiskelijoina ja kuinka väitöskirjan tekeminen eteni ja miten väittäminen vaikutti työuraan.

Luvussa 9 väitöskirjojen ohjauksessa mukana ollut pitkäaikaiset yhteistyökumppanit kertovat kokemuksistaan.

Luvussa 10 esitellään tieteen uusia paradigmoja sekä tutkijakoulutusta vauhdittaneita SOTE- ja kyber-alan kehittämishankkeita.

Kiitokset

Kiitokset Keijo Halttuselle kirjan erinomaisesta grafiikasta ja taitosta, Marja-Leena Rantalaiselle avusta tekstin viimeistelyssä ja Päivi Fadjukofille Agora Centeriä sekä Marja Korhoselle kesäkoulua sekä Jari Hämäläiselle ja Matti Heiliölle LUTia koskevasta materiaalista. Kiitos jatko-opiskelijoilleni monipuolisista kirjoituksista. Kiitän myös Pertti Järvisestä ja Pertti Saariuluomaa ja hänen ryhmänsä sekä Michal Krizekiä. Kiitän Martti Lehtoa avusta lukujen 10.2–10.4 valmistelussa sekä Lea Pulkkiselle kommentteista ja Tarja Vänskä Kauhaselle kommentteista ja JYn valkokuvista.

2 MATEMATIIKAN OPISKELIJASTA PROFESSORIKSI

Tietokoneiden kasvava vaikutus oli nähtävissä 1970-luvun alkupuolella, kun olin lähdössä opiskelemaan. Tämä muutti alkuperäisiä suunnitelmiani opiskella matematiikan, fysiikan ja kemian opettajaksi. Päädyinkin tutkijakouluttajaksi. Sanotaan että tämä on professorin tehtävistä mielenkiintoisin.

Kerron aluksi omien opiskelutavoitteideni muutoksiin vaikuttaneista tekijöistä ja tietotekniikan alkuvaiheista Suomessa. Seuraavaksi kerron kokemuksistani toimiessani vuosina 1982–1986 Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa (*nykyään Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT*). Tuolloin oli nähtävissä merkkejä tieteen paradigman murroksesta, jossa perinteisten teoreettisten ja kokeellisten tieteiden rinnalle on kehittynyt kolmas tieteenala: laskennalliset tieteet.

2.1 Matematiikkakoneesta matemaattiseen tietojenkäsittelyyn

Suomessa oli alettu luomaan pohjaa tietokonealan tietämykselle jo vuonna 1954, kun akateemikko Rolf Nevanlinnan aloitteesta perustettiin ns. matematiikkakomitea. Vuosina 1955–1960 Rolf Nevanlinnan oppilas Ilppo-Simo Louhivaara toimi suomalaisen "*matematiikkakonetyöryhmän*" sihteerinä. Työryhmällä oli suuri merkitys Suomen tietotekniikkaosaamisen kannalta, vaikka itse kone, työnimeltään ESKO, ei koskaan käyttöön päässytäkään.

Kun Jyväskylän kasvatustieteellinen korkeakoulu (*JKK*) muuttui Jyväskylän yliopistoksi vuonna 1966, Louhivaara alkoi hoitaa sinne perustettua matematiikan professuuria. Hän toimi myös matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan ensimmäisenä dekaanina vuosina 1965–1967. Vuonna 1967 Louhivaara valittiin Jyväskylän yliopiston rehtoriksi. Hän jatkoi tehtävässä vuoteen 1977 saakka.

Tietojenkäsittelyopin koulutus alkoi Jyväskylän yliopistossa vuonna 1967. Tuolloin alalle perustettiin professuuri, jota aluksi hoiti 100%:n osuudella Louhivaara, koska pätevää professoria ei ollut käytettävissä alkuvaiheessa.

Rolf Nevanlinna oli myös suunnittelemassa matematiikan laitoksen koulutus- ja tutkimusprofiilia. Tavoite oli luoda Helsingin yliopiston klassisen analyysin (*erityisesti kompleksianalyysin*) ja Turun yliopiston diskreetin matematiikan (*erityisesti algebra, lukuteoria*) koulutusta täydentävä profiili. Se oli moderni analyysi. Painopisteiksi tuli voimakkaassa kehitysvaiheessa ollut reaali- ja funktioanalyysi sekä osittaisdifferentiaaliyhtälöt, joka oli Louhivaaran oma tutkimusala.

Professori Ilppo-Simo Louhivaara työskenteli myös 1960-luvun alussa perustetussa laskentakeskuksessa. Vuonna 1967 aloitettua tietojenkäsittelyn koulutusta laajennettiin sovellettuun matematiikkaan ja matemaattiseen tietojenkäsittelyyn. Matematiikan laitokselle perustettiin sovelletun matematiikan linja, jota tuli vetämään professori Aarni Perko

Turusta. Hänen tehtävänä oli opettaa sekä sovellettua matematiikkaa että tietojenkäsittelyä. Myöhemmin perustettiin myös matemaattisen tietojenkäsittelyn linja.

Professori Ilppo-Simo Louhivaara siirtyi rehtoritehtävien jälkeen Berliiniin professoriksi vuonna 1977. Yhteistyö hänen kanssaan jatkui koko hänen työuransa ajan ja saimme erityisesti nopeasti kehittyvän Saksan uuden pääkaupungin Berliinin tiedemaailmasta paljon hyödyllistä tietoa.

Matematiikka, sovellettu matematiikka ja matemaattinen tietojenkäsittely samassa laitoksessa oli ainoa Suomessa ja harvinaista myös maailmanlaajuisesti. Moderni analyysi, numeriikkaan keskittyvä sovellettu matematiikka ja simulointiin, ohjelmointitekniikkoihin, tietorakenteisiin, laskentaympäristöjen kehittämiseen sekä tietoliikenteeseen keskittynyt matemaattinen tietojenkäsittely tarjosivat erinomaisen koulutus- ja tutkimusympäristön. Kokonaisuutta täydensivät monipuoliset fysiikan ja kemian laitokset, joissa mallinnus ja simulointi nousi kokeellisen tutkimuksen rinnalle 1980-luvulla.

2.2 Rolf Nevanlinnan luento ja Bonnin yliopisto

Miten päädyin jatko-opiskelijaksi ja yliopistouralle? Tutkijakoulutusta laajennettaessa pohditaan paljon kysymystä, miten kiinnostutaan jo opiskeluaikana tieteellisestä tutkimustyöstä. Aloitin opintoni Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksella vuonna 1970. Opiskelijoita oli paljon ja opettajia vähän. Laitoksen ainoa professori Ilppo-Simo Louhivaara oli opiskeluni alkaessa myös yliopiston rehtori. Hänen lisäksi oli kaksi apulaisprofessoria (*mm. Rolf Nevanlinnan veljenpoika Veikko Nevanlinna*) sekä lehtoreita ja assistentteja.

Louhivaara osallistui rehtorin työn ohella myös matematiikan laitoksen toimintaan pitäen keskiviikkoisin klo 18–20 luentoja, tarkastaen pro-graduista sekä ohjaten väitöskirjoja. Rolf Nevanlinnan assistenttina hänellä oli hyvät kansainväliset verkostot. Hän järjesti kansainvälisiä matemaattisia konferensseja Jyväskylässä ja kutsui kotimaisia ja ulkomalaisia tutkijoita vieraaksi ja pitämään esitelmää. Louhivaaran toimiminen matematiikkakonetyöryhmän sihteerinä vuosina 1955–1960 loi hyvän pohjan laitoksen monipuoliselle kehittämiselle.

Ehkä suurin vaikutus tutkimuksesta kiinnostumiselleni oli akateemikko Rolf Nevanlinnan vierailu laitoksella ja hänen luentonsa (*Pfaffian ongelma, Pfaffian problem*). Hän oli ollut suunnittelemassa matematiikan laitoksen suuntautumista ja tuli katsomaan, mitä on saatu aikaiseksi modernin analyysin koulutuksessa. Sisällöltään luento oli vaikea ymmärtää mutta esityksenä huippuluokkaa. Olen kuunnellut satoja esitelmää, mutta erityisesti tästä luennosta minulle jäi muistikuva otsikkoa myöten. Ei ole ihme, että Zürichin ja Stanfordin yliopistot kilvoittelivat kumman yliopiston professuurin Rolf Nevanlinna ottaa vastaan. Zürich voitti ja sen läheisyyden ansiosta myös Suomi.

Rolf Nevanlinna oli akateemikko Alvar Aallon hyvä ystävä. Aalto asui kesäisin Jyväskylän Säynäsalossa, jossa hänellä oli vapaa-ajan asunto. Siellä oli myös eri materiaalien kehittämistoimintaa. Rolf Nevanlinna oli usein vierailulla ystävänsä luona ja mukana myös

Jyväskylän Kesän tapahtumissa puhujana.

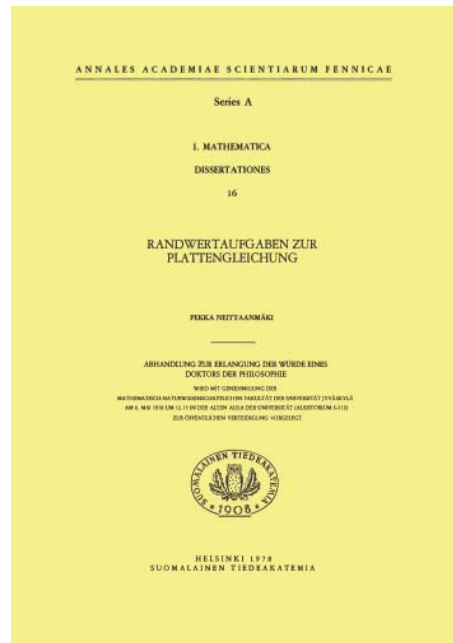
Aloitin matematiikan opinnot tavoitteena valmistua matematiikan opettajaksi kotipaikkakunnalleni Saarijärvelle. Rehtori Louhivaara pyysi luentonsa tauolla minut huoneeseensa ja kysyi, olisinko kiinnostunut puolipäiväisestä assistentin tehtävästä. Opetuksen lisäksi tehtäviin kuului tutkimustyö tähtäimenä lisensiaattityö. Lisensiaattityöni ja myöhemmin väitöskirjani käsitteli ns. ulkoavaruustehtäviä eli ilmiöitä rajoitetun alueen (*esim. maapallo*) ulkopuolella tai alueissa, jotka ulottuvat äärettömyyteen (*esim. puoliavaruus*). Kyseessä olivat osittaisdifferentiaaliyhtälöt, joille asetettiin reunaehdot ja ehdot ratkaisun käyttäytymiselle äärettömyydessä. Aiheeseen liittyviä tutkimusryhmiä oli erityisesti Venäjällä, Saksassa ja USA:ssa. Prof. Louhivaara toi minulle uusinta kirjallisuutta ja alan saksankielisiä väitöskirjoja Saksasta.

Valmistuin sekä maisteriksi että tohtoriksi matematiikan linjalta ja sivuaineeni oli sovellettu matematiikka ja matemaattinen tietojenkäsittely. Pro graduni käsitteli säätäteoriaa ja väitöskirja osittaisdifferentiaaliyhtälöitä. Tein osan väitöskirjastani Bonnin yliopistossa ja vuoden 1978 toukokuussa olleen väittelyn jälkeen menin vuodeksi tutkijaksi Bonnin yliopistoon. Saksassa vietetyn jälkeen palasin matematiikan laitokselle syksyllä 1979.

Bonnin yliopistossa oli useita numeriikan tutkimusryhmiä, jotka olivat keskittyneet matemaattiseen mallittamiseen ja numeriikkaan. Pääsin tutkimusryhmiin mukaan ja keskityin erityisesti matemaattisten mallien numeriikkaan ja myöhemmin optimointiin sekä optimisäätöongelmiin.

2.3 Oppia Lappeenrannan teknillisestä korkeakoulusta

Väitöskirjan valmistumisen jälkeen olin vuoden yliopistossa ja keskityin tutkimuksessa numeeriseen analyysiin ja osittaisdifferentiaaliyhtälöiden numeeriseen ratkaisemiseen FEM (*finite element method*)-menetelmällä. Erityisesti eri tekniikan aloilla menetelmä oli laajasti käytössä. Kun Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa (*LTKK*) tuli apulaisprofessori hakuun, hain paikkaa ja olin hyvin tyytyväinen että sain tehtävän. Toimin Lappeenrannan Teknillisen korkeakoulun (*LTKK*) tietojenkäsittelyopin apulaisprofessorina 1982–1986. Yhteistyö on jatkunut tämän jälkeenkin. Tietojenkäsittelyä opetettiin yleisten tieteiden laitoksella yhdessä matematiikan ja fysiikan opetuksen kanssa. Laitos hoiti DI-koulutukseen liittyvää sivuainekoulutusta.



Kuva 1. Väitöskirjani kansi.

IT-alan koulutusta laajennettiin voimakkaasti 1980-luvulla ja myös LTKK sai luvan OKM:ltä tietojenkäsittelyn pääainekoulutukseen. Koulutuksen suunnittelun yhteydessä kävimme läpi tekniikan alojen koulutustarpeita sekä sovelletussa matematiikassa että tietojenkäsittelyssä. Myös insinööritieteiden tutkimuksessa oltiin siirtymässä kokeellisten tutkimusmenetelmien ohella datapohjaiseen tai matemaattiseen mallintamiseen, numeeriseen simulointiin, optimointiin ja optimisäätöön sekä systeemanalyysiin.

Oli hyvin mielenkiintoista keskustella eri tekniikan alan tutkijoiden kanssa millaisia mallinnus-, simulointi-, optimointi- ja optimisäätötekniikan numeerisia menetelmiä kullakin alueella käytetään ja millaisia tarpeita olisi. Keskustelimme myös useiden yritysten kanssa tarpeista. Heillä oli tarpeita tehostaa tuotantoprosesseja, tuotannon laatua ja tehokkuutta sekä logistisia palveluketjuja. Myös kerätyn datan käsittelyssä, sensoriteknologiassa ja kuvantamisessa oli kehittämistarpeita.

Oli mielenkiintoista keskustella yritysmaailmassa työskennelleiden professoreiden kanssa mm. paperikoneen suunnittelusta, teräksen ja kuparin tuotantoprosessista, kemianteekniikasta sekä käytetyistä simulointitekniikoista. Tapasin myös muiden yliopistojen eri tekniikan alan professoreita. Silloisen 1980-luvun tiedon pohjalta sain kuulla arvion, että paperikoneen toiminnan simulointi ja metallien jatkuvavaluprosessin säätäminen on mahdotonta tai ainakin liian epätarkkaa.

Tämä tieto oli hyvin hyödyllinen. Pessimistinen analyysi osoitti, että tekniikan alalla ei oltu tietoisia matematiikassa ja numeerisissa analyysissä tapahtuneista läpimurroista. Käynnistimme Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun ja Jyväskylän yliopiston matematiikan laitosten välisen yhteistyön paperikoneen toiminnan sekä metallin valuprosessin simuloinnista. Analysoimme, millaisia matemaattisia menetelmiä tarvittaisiin paperikoneen ja metallin valujärjestelmän suunnitteluun sekä prosessien säätöön ja optimointiin. Osoittautui että teollisuuden tuolloin käyttämät simulointi-, optimointi- ja säätömenetelmät olivat vanhanaikaisia verrattuna johtavissa teknologiamaisissa käytössä oleviin matemaattisiin menetelmiin.

2.4 Varusmiepalvelu EMP (*Electromagnetic Pulse*) tutkijana

Menin vasta 29 vuotiaana vuonna 1980 varusmiespalveluun Keuruulle. Perheellisenä 11 kuukauden armeija-aika tuntui ajatuksissani hyvin raskaalta. Minut oli komennettu Keuruun varuskunnan puhelinkomppaniaan.

Hain kolme kertaa Keuruun varuskunnasta siirtoa Tikkakoskelle. Perustelin sen koulutuksellani, jonka vuoksi minun olisi hyödyllisempää palvella Tikkakoskella. Sain aina kielteisen päätöksen. Kun viimein pääsin lomalle menin matematiikan laitokselle ja kirjoitin yli sivun mittaisen kirjeen jossa perustelin että voisin palvella Tikkakoskella paremmin kuin Keuruulla. Lähetin kirjeen Ilmavoimien Viestikoulun johtajalle everstiluutnantti Perttu Peitsaralle. Muistaakseni saman viikon torstaina sain pyynnön mennä Keuruun varuskunnan johtajan puhutteluun. Hän oli hyvin kättyisä ja sanoi että olen ohittanut virkatien olemalla yhteydessä varusmiesaikana toiseen varuskuntaan. Sanoin

että olen pyytänyt ja perustellut siirtoa kolme kertaa ja hakemustani ei ole lähetetty Keuruun varuskunnasta eteenpäin. Minulla ei ollut muuta mahdollisuutta. Keskustelu loppui siihen ja minulle ilmoitettiin että siirto Tikkakoskelle tapahtuu jo seuraavana päivänä.

Tikkakoskella palvelin esikuntakompaniassa. Olin päivät Ilmavoimien esikunnassa tutkimustehtävissä ja yöt varuskunnassa. Tehtäväni oli tehdä kirjallisuuskatsaus sähkömagneettisesta pulssista (*EMP*).

Sähkömagneettinen pulssi eli *EMP* (*engl. electromagnetic pulse*) on erittäin lyhytkestoinen ja korkeatehoisen sähkömagneettinen aalto, joka vaurioittaa elektroniikkaa ja sähkölaitteita. Myös elektromagneettisena pulssina tunnettu purkaus voi syntyä joko luonnollisesti tai ihmisen tekemänä. Koska sähkövirta on elektronien tai muiden varausten liikettä, syntyy maan magneettikentän kanssa vuorovaikuttava sähkövirta, jolloin muodostuu voimakas sähkömagneettisen säteilyn pulssi.

Myös lähellä maanpintaa tapahtuvassa räjähdyksessä syntyy voimakas, paikallinen ja suhteellisen pitkäkestoinen sähkömagneettinen sykäys. Erityisen herkkiä *EMP*:lle ovat antennimaiset rakennelmat, kuten pitkät lanka-antennit, puhelinlinjat ja sähkölinjat. Tällaiset rakenteet myös johtavat *EMP*-pulssin niihin kiinnitettyihin laitteisiin tuhoisin seurauksin. Teoriassa sähkö- ja puhelinlinjoja pitkin johtuva pulssi voisi edetä mantereelta toiselle tuhoten kaikki sähkö- tai puhelinverkkoon kytketyt sähkölaitteet matkaltaan. Pieniin, eristettyihin järjestelmiin *EMP* ei vaikuta niin tehokkaasti.

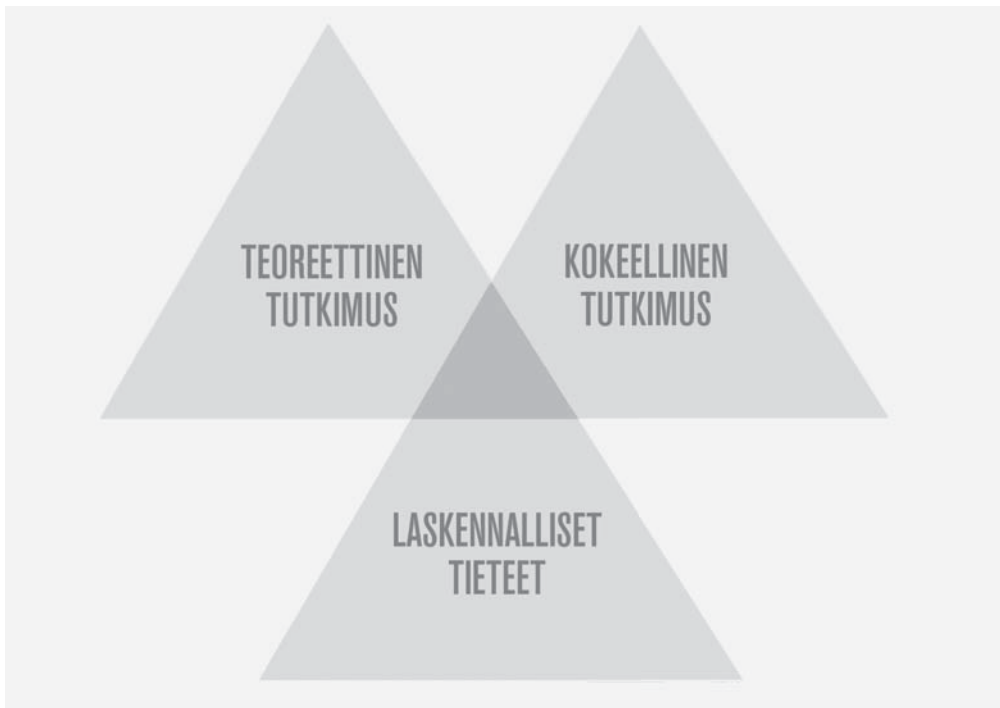
Sähkömagneettisella pulssilla voi lamauttaa sähköön ja elektroniikkaan perustuvat yhteiskunnan toiminnot äkillisesti suurelta alueelta. Koska ydinaseen käyttökynnys on hyvin suuri, *EMP*:n synnyttämiseksi on pyritty kehittämään pieniä tavanomaisiin räjähteisiin pohjautuvia aseita, jotka tuottavat vastaavan ilmiön. Voimakkaan paikallisen *EMP*:n tuottavaa pommia, jolla voidaan katkaista sähköt tietyltä alueelta polttamalla voimalinjojen sulakkeita kutsutaan nimellä E-pommi.

Tehtävänäni oli kuvata tekniikka ja sen suojausmenetelmät. Kirjoitin kolme raporttia ja pidin esitelmän. Työhuoneeni oli kenraaliluutnantti Rauno Meriön vieraisessa huoneessa. Kenraali Meriö myönsi minulle 90 päivän kuntoisuusloman ja suoritin armeijapalveluksen 8 kuukaudessa alkuperäisen 11 kuukauden sijaan. Perusteluna oli että en ollut saanut (*onneksi*) riittävän pitkää peruskoulutusta aloka aikana. Palaaminen takaisin Keuruulle uusien alokkaiden joukkoon vetämään puhelinkaapeleita metsään olisi ollut hyvin epäoikeudenmukaista.

Tikkakoskella palvelu oli motivoivaa. Pääsin matkustamaan teknisen henkilökunnan kanssa Helsinkiin tutustumaan uusimpiin *EMP*-suojausteknologioihin. Pääsin myös matkustamaan ulkomaille konferenssiin pitämään esitelmän. Huonekaverini Tikkakoskella oli kapteeni joka antoi hyvin työrauhan. Kun olin päivän tavoitteet saanut valmiiksi kaivoin paperini pöytälaatikosta ja aloin tekemään omaa tutkimusta.

2.5 Laskennallisista tieteistä tieteiden kolmas paradigma

Tietokoneiden, numeeristen menetelmien sekä ohjelmistojen kehittyessä 1980-luvulta alkaen laskennallisten menetelmien käyttö lisääntyi sekä tieteellisessä tutkimuksessa



Kuva 2. Tieteen kolme paradigmaa.

että yritysten ja julkisten organisaatioiden tutkimus- ja kehitystoiminnassa. *Kuvassa 2* on havainnollistettu laskennallisten tieteiden asema suhteessa teoreettiseen ja kokeelliseen tutkimukseen. Matemaattisten menetelmien ja IT-alan kehityksen yhteisvaikutusta kutsutaan myös tieteen kolmanneksi paradigmaksi.

Kuvassa 3 (s.16) havainnollistetaan laskennallisten tieteiden merkitystä. Se on tärkeä digitalisaation myötä kaikilla tieteenaloilla. *Liitteessä 1 (s. 207)* on Tilastokeskuksen käyttämä eri tieteenalojen luokittelu. Kaikilla tieteenaloilla hyödynnetään laskennallisia tieteitä. Tekniikassa, luonnontieteissä, lääketieteessä sekä maa- ja metsätieteissä laskennallisia tieteitä on hyödynnetty jo pitkään. Laskennallisten tieteiden menetelmien hyödyntäminen myös humanistisissa tieteissä ja yhteiskuntatieteissä ovat voimakkaassa kehitysvaiheessa (*Kuva 3*).

Laskennallisista tieteistä löytyy materiaalia mm. seuraavasta lähteestä:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_science

Laskennallisten tieteiden ja systeemianalyysin koulutusta ja tutkimusta Suomen yliopistoissa on käsitelty raporteissa

- <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/79361>
- https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/83200/1/Systeemiajattelun_opetus_ ja_tutkimus_verkkoversio.pdf



Kuva 3. Laskennallisten tieteiden hyödyntäminen eri aloilla.

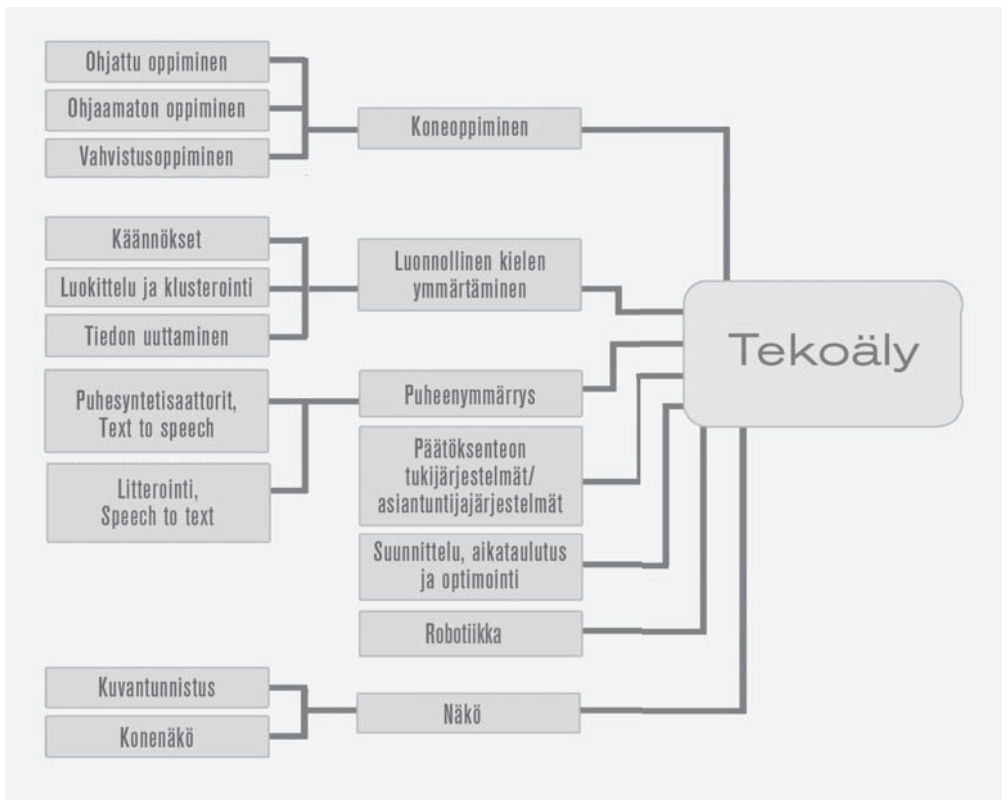
Seuraavaksi tarkastelen laskennallisten menetelmien ja tietokoneiden kehityksen yhteisvaikutusta tutkimustoiminnassa. Tieto- ja ohjelmistotekniikan kehitys on mahdollistanut matematiikan hyödyntämisen yhä useammassa käytännön ongelmassa. Tämä voidaan esittää kaavana

$$\text{tulos} = \text{järki}(\text{menetelmä}) \times \text{rauta}.$$

Menetelmäkehitys ja tietokoneiden kehitys kulkevat rintarinnan. Tietokoneen entistä nopeammista prosessoreista ei saada täyttä hyötyä, elleivät matemaattiset algoritmit ja ohjelmistot kehity samaan tahtiin.

Kalliista ja teknisesti vaikeasti toteutettavasta kokeellisesta tutkimuksesta on siirrytty kiihtyvällä vauhdilla käyttämään matemaattisia, tietoteknisiä ja tekoälypohjaisia menetelmiä. Reaalimaailman tilannetta kuvataan data- tai matemaattispohjaisella mallilla. Tämä tuo aivan uusia mahdollisuuksia kaikilla tieteenaloilla.

Tekoälyteknologia vauhdittaa simulointimallien kehittämistä ja uusien ratkaisujen löytymistä (Kuva 4). Simuloinnissa ja massiivisten tietomassojen käsittelyssä kvanttietokoneet tulevat mullistamaan tekoälyn ja kvanttietokoneiden kehittämisen myötä myös tiede siirtyä uuteen kehitysvaiheeseen.



Kuva 4. Tekoäly ja johdannaistechnologiat (11).

1. Neittaanmäki P. Omia kokemuksia tutkijakoulutuksesta ja ehdotuksia koulutuksen kehittämiseen. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja 101, Jyväskylän yliopisto, 2024.
<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/93294>

Seuraavaksi tarkastelen laskennallisten tieteiden alkutaivalta LTKK:ssa.

2.6 LTKK mukaan kansainväliseen yhteistyöhön

Kuvien 2 ja 3 tilanne ei ollut selkeä vielä 1980-luvulla, kun suunnittelimme tietojenkäsittelyn koulutusta silloisessa LTKK:ssa. Tieteellisissä konferensseissa uusi kehitys oli jo nähtävissä. *Euroopan* eri yliopistoissa alettiin puhumaan teollisuusmatematiikasta.

Keskeiset pioneerit, professorit Helmut Neunzert (*Kaiserslautern*), Alan Talyer (*Oxford*) ja Michel Hazewinkel (*CWI Amsterdam*) kutsuivat koolle konferenssin Amsterdamiin 1985 keskustelemaan teollisuuden ja matematiikan yhteyksistä. Kokous johti ECMI (*European Consortium for Mathematics in Industry*) -verkoston perustamiseen vuonna 1985. ECMI (<https://ecmiindmath.org/>) on yliopistojen ja tutkijoiden yhteistyöverkosto, joka on kehittänyt koulutusohjelmia ja järjestänyt teollisuuden ja matemaatikkojen seminaareja ja työpajoja sekä kesäkouluja. Aloitimme ECMI toiminnan LTKK:ssa yhdessä Matti

Heiliön kanssa. Hän otti vastuun Suomen ECMI-toiminnasta vuodesta 1985 alkaen. Laitoksen johdon (*Markku Lukka*) ja rehtorin tuki oli tärkeä apu.

Matti Heiliön aktiivisen toiminnan ansiosta LTKK oli mukana alusta alkaen tässä toiminnassa. Suomessa järjestettiin *Teollisuusmatematiikan päivät* 1984, 1986, 1988, 1992 sekä iso konferenssi *ECMI 90*. Suomessa on järjestetty *ECMI Modelling week* kolmesti sekä *Study Group with Industry* kolme kertaa. LUT oli Matti Heiliön johdolla vastuussa kyseisissä tapahtumissa ja LUT on ollut osajärjestäjänä suomalais-venäläisen Study Group -työpajan sekä Saksan Koblenzissa ja kolmen Intiassa pidetyn *Study Group -työpajan* toteutuksessa. Study Group -toimintamalli on tehokas matalan kynnyksen toimintatapa tuomaan teollisuuden ja muiden organisaatioiden laskentaa, mallinnusta ja systeemitarkastelua vaativia kehitystehtäviä analysoitaviksi.

ECCOMAS:n (*European Consortium in Computational and Mathematical Sciences*) (<https://www.eccomas.org/>) toiminta alkoi vuonna 1992. ECCOMAS:n toiminnan painopisteenä on järjestää temaattisia sekä monitieteisiä konferensseja. Olen ollut mukana ECCOMAS-järjestön toiminnassa sen perustamisvuodesta 1992 alkaen. Osallistuminen ECMI- ja ECCOMAS-toimintaan oli hyvin tärkeää maisteri- ja tutkijakoulutusta suunniteltaessa ja toteutettaessa sekä tieteellisessä tutkimusyhteistyössä.

Laskennallisten tieteiden koulutusta kehitettäessä ECMI ja ECCOMAS olivat ratkaisevia kun 2000-luvun alussa DI-koulutuksessa avattiin teollisuusmatematiikan (*Techno-mathematics*) opintosuunta. Laitokselle haettiin teollisuusmatematiikan ansioita omaavia tekijöitä Heikki Haario, Tuomo Kauranne, Jari Hämäläinen, joiden toimesta matematiikan PhD koulutus lähti vauhtiin. Myös kansainvälinen tutkijaverkosto laajeni

<https://ecmiindmath.org/european-study-groups-with-industry/>

Laskennallisen tieteen merkittävä vaihe alkoi kun Heikki Haariön ansiosta laitos tuli osaksi Suomen Akatemian Inversio-ongelmien huippuyksikköä 2006 alkaen.

2.7 Lappeenranta loi pohjan tutkijakoulutuksen kehittämiseksi

Toimin vuosina 1982–1986 apulaisprofessorina LTKK:ssa ja dosenttina JY:ssä. Asuin perheeni kanssa Vaajakoskella. Lukukausien aikana syyskuusta joulukuuhun ja tammikuusta toukokuuhun olin Lappeenrannassa tiistaista torstaihin. Kuljin matkat henkilöautolla. Lähtö oli tiistaina kuuden maissa ja paluu torstai-iltana kuuden aikoihin. Tein pitkää päivää yliopistolla ja nukuin työhuoneessani. Se käytäntö tosin loppui, kun sisäisessä tiedotteessa oli maininta, että työhuonetta ei saa käyttää yöpymiseen. Aika moni professori ja lehtori joutui etsimään uuden yöpymispaikan.

Lappeenranta-vuosina työskentelin Jyväskylässä matematiikan laitoksella maanantaisin ja perjantaisin. Pidin dosenttiluentoja numeerisesta analyysistä ja tein tutkimustyötä. Opetustunteja oli LTKK:ssa kahdeksan ja JY:ssä neljä eli yhteensä 12 tuntia viikossa. Työpäivät olivat pitkiä.

Työskentely kahdessa yliopistossa oli hyödyllistä. LTKK:ssa tein yhteistyötä tekniikan alan tutkijoiden kanssa ja JY:ssä matemaatikkojen kanssa. Laskennallisten tieteiden käyt-

tö lisääntyi tekniikan alalla. Havaitsin insinöörien ratkaisevan käytännön ongelmia aluksi simuloimalla ja tekevän sen pohjalta testausympäristön uuden tuotteen tai toimintatavan toimivuuden analysoimiseksi. Toinen tutkimustapa oli kerätä mittaustietoa jonkin laitteen toiminnasta ja analysoida laitteen vikaantumista tai sitä, miten laitteen toimintaa voisi tehostaa. LTKK:n erikoisalajat olivat energia-, kone- ja kemiantekniikka sekä tuotantotalous. Energia-alan tutkimuksessa painopiste oli ydinvoimateknologia. Laskennalliset menetelmät olivat simulointi, FEM, optimointi ja optimisäätö, riskianalyysi ja datan käsittelyssä erilaiset tilastolliset menetelmät. JY:n sovelletun matematiikan ja tilastotieteen koulutus ja tutkimus käsittelivät samoja aloja.

Opin Lappeenrannassa laskennallisten tieteiden soveltamisen lisäksi myös johtamista. Sain vastuulleni alan koulutuksen ja tutkimuksen laajentamisen, sekä tutkimusrahoituksen hankkimisen. OKM oli laajentanut tietojenkäsittelyn koulutusta eri yliopistoissa 1980-luvun puolivälissä erityisesti yliopistoissa, joissa oli tekniikan alan koulutusta. LTKK oli jätetty ulkopuolelle. Rehtori Juhani Jaakkola oli tilanteesta ymmärrettävästi tuohtunut. Keskustelimme miten pääsisimme eteenpäin. Kerroin mitä olemme tehneet ja suunnitelleet. Pelkkä tietojenkäsittely sivuaineena ei riitä. Alan DI-tuotantokoulutus on saatava myös LTKK:n opetusohjelmaan. Hän soitti OKM:ään yliopistoasioista vastaavalle Markku Linnalle ja pyysi häntä käymään. Sain tehtäväkseni LTKK:lle soveltuvan koulutusohjelman suunnittelun. Aikaa taisi olla pari viikkoa. Suunnitelma esiteltiin Markku Linnalle. Hän oli tyytyväinen esittelyyn ja rehtorin ansiokkaiisiin perusteluihin. Hän sanoi, että soittaa heti OKM:ään ja pyytää lisäämään LTKK:n tietojenkäsittelyn DI koulutusta antavien yliopistojen joukkoon. LTKK:n tietojenkäsittelytekniikan professoriksi valittiin Erkki Oja vuonna 1987. Hän siirtyi Kuopion yliopistosta Lappeenrantaan. Hän jatkoi tietojenkäsittelytekniikan kehittämistä ja oli perustamassa muun muassa yliopiston tietotekniikan osastoa.

Kolmas tärkeä asia oli SA:n rahoituksen saaminen tutkimushankkeeseen. Myös tutkimusyhteistyö Valmetin Jyväskylän yksikön ja JY:n matematiikan laitoksen kanssa käynnistyi.

Neljäs ja hyvin tärkeä asia oli, että minua esitettiin LTKK:n puolesta Suomen Akatemian teknistieteelliseen toimikuntaan. Tulin valituksi ja olin toimikunnan jäsen vuodet 1986–1990.

Viides kehitysaskel oli OKM:n aloittama tietojenkäsittelyalan tutkijakoulutuksen kehittäminen ja pääsy mukaan LTKK:n edustajana OKM:n tilaisuuksiin. Jyväskylän yliopistoa edusti professori Aarni Perko.

2.8 Takaisin Jyväskylään. IT-alalla käynnistyy tutkijakoulutus

Kun JY:n matematiikan laitoksella tuli haettavaksi sovelletun matematiikan apulaisprofessori, lähetin hakemuksen. Loppuvaiheessa olimme TuY:n Juhani Karhumäen kanssa ehdokkaina. Tasatilanteessa tulin vuonna 1986 valituksi tutkimusalani paremman soveltuvuuden perusteella. Teen Juhanan kanssa yhteistyötä. Hänen Valto-isänsä oli yksi len-

täjinä tunnetuksi tulleista Karhumäen veljeksistä. Juhani toimi Turun yliopistossa matematiikan professorina, tutkimusalana erityisesti äärellisten automaattien teoria ja sanojen kombinatoriikka.

LTKK:ssa saamani kokemus auttoi myös matematiikan laitoksen koulutuksen uudistamisessa. Päädyimme matemaattisen tietojenkäsittelyn suuntautumisvaihtoehdon perustamiseen. Se ei vaatinut OKM:n lupaa. Mikäli suuntautumisvaihtoehtoa ei olisi ollut, emme olisi päässeet mukaan IT-alalla 1980-luvun puolivälissä aloitettuun kansalliseen tohtorikoulutusohjelmaan kolmella eri alalla:

- tietojenkäsittelyoppi
- tietojenkäsittelytekniikka
- tietojärjestelmät.

Matematiikan laitos pääsi professori Reino Kurki-Suonion vetämään tietojenkäsittelytekniikan ohjelmaan. Tietojenkäsittelyopin laitos oli mukana tietojärjestelmien ohjelmassa.

Työni jatkui myös Suomen Akatemian (SA) teknistieteellisen toimikunnan jäsenenä. Hakemuksia lukiessani opin paljon asioista. Samalla vahvistui käsitys mihin matematiikan laitoksen kehitystä tulisi suunnata.

■ ■ ■

3 TUTKIJAKOULUTUKSEN LUOVA YMPÄRISTÖ

Tutkijakoulutusta vauhditti aluksi soveltavien luonnontieteiden kehittämisohjelma ja kansainvälinen kesäkoulu. Seuraavassa vaiheessa aloitettiin Comas-tutkijakoulu ja myöhemmin perustettiin Agora Center. Näillä toimenpiteillä rakennettiin luova tutkimus- ja tutkijakoulutusympäristö.

3.1 *Soveltavien luonnontieteiden kehittämisohjelma vauhdittaa tutkijakoulutusta*

Vuosina 1982–1986 tutkimusryhmissäni JY:n matematiikan laitoksella työskennelleistä ja dosenttiluennoillani olleista opiskelijoista merkittävä osa väitteli: Keijo Ruotsalainen ja Timo Tiihonen 1987, Veikko Hara 1988, Erkki Laitinen ja Raino Mäkinen 1988. Heistä laitos sai osaavaa työvoimaa soveltavien luonnontieteiden ohjelman toteuttamiseen. Tämä työ loi pohjaa tekniikan alan koulutuksen kehittämiseksi Keski-Suomessa, jota alettiin suunnittelemaan 1980-luvun puolivälissä. Osallistuin LTKK:ssa saamani kokemuksen pohjalta suunnittelutyöhön vuodesta 1985 alkaen. Ideana oli kehittää matemaattisen tietojenkäsittelyn sekä fysiikan ja kemian koulutusta soveltavaan suuntaan.

Koska DI-koulutus ei ollut mahdollista, aloitettiin yhteistyö TKK:n kanssa. JY:n MLTK:n opiskelijat saivat siirtyä TKK:n opiskelijoiksi perusopinnojen jälkeen. Tavoitteena oli, että DI-työ tehtäisiin keskisuomalaisiin yrityksiin. Aloina olivat energia- ja puunjalostustekniikka. Vastasin JY:n osalta hankkeen suunnittelusta. TKK:n vastuuhenkilö oli professori Risto Nieminen, joka oli toiminut MLTK:ssa fysiikan apulaisprofessorina.

Saimme nykyrahassa n. 10 miljoonaa euroa hankkeen toteuttamiseen vuosina 1989–1994. Rahoittajina olivat OPM:n lisäksi Jyväskylän yliopistoyhdistys, yritykset, sekä Keski-Suomen kunnat. Tehtävänäni oli Keski-Suomen Kauppakamarin toimitusjohtajan Heikki Toikan kanssa kerätä yritysrahoitus. Rahoituksella saatiin palkattua lisää henkilökuntaa.

3.2 COMAS-tutkijakoulu

IT-alalta 1980-luvun puolivälissä alkaneita alan tutkijakouluja laajennettiin 1990-luvun alkupuolella koskemaan kaikkia koulutusaloja. Tilanne oli samantyyppinen kuin v. 2023 loppupuolella toteutettu tutkijakoulutushaku haettavaksi toukokuussa v. 1993. Olin JY:n tutkijakoulutustyöryhmän puheenjohtaja ja teimme suunnitelman tutkijakoulutuksen kehittämiseksi JY:ssä Tein tältä pohjalta esityksen IT-alan COMAS (*computing and mathematical sciences*) tutkijakoulutushankkeesta. Professori Kalle Lyytinen auttoi suunnitelman tekemisessä. Hakemus oli lähes 200 sivua liitteinen.

Kesä meni, mutta rahat tulivat. Saimme 14 koulutuspaikkaa ja sen lisäksi Jyväskylän yliopistolta 6 koulutuspaikkaa. Tästä oli ratkaiseva apu aina vuoteen 2016 asti jolloin ohjelma lopetettiin jostain syystä.



Kuva 5. Tutkijakoulutuksen kehittämissohjelman kansi vasemmalla ja Suomen Akatemian kirje tutkijakoulutusohjelmia koskevista esityksistä.

COMAS- tutkijakoulun alat olivat tietotekniikka, tietojärjestelmätieteet ja tilastotiede. Ohjelmaa laajennettiin myöhemmin vuosia kattamaan myös kognitiotiede.

Tutkijakoulutuksen etenemisestä raportoitiin Suomen Akatemiaan vuosittain. *Kuvassa 5* on vuoden 2002 toimintaraportin etusivu. Liitteinen yli 70 sivua olevassa raportissa todetaan että COMAS-tutkijakoulun lähtökohdat ovat:

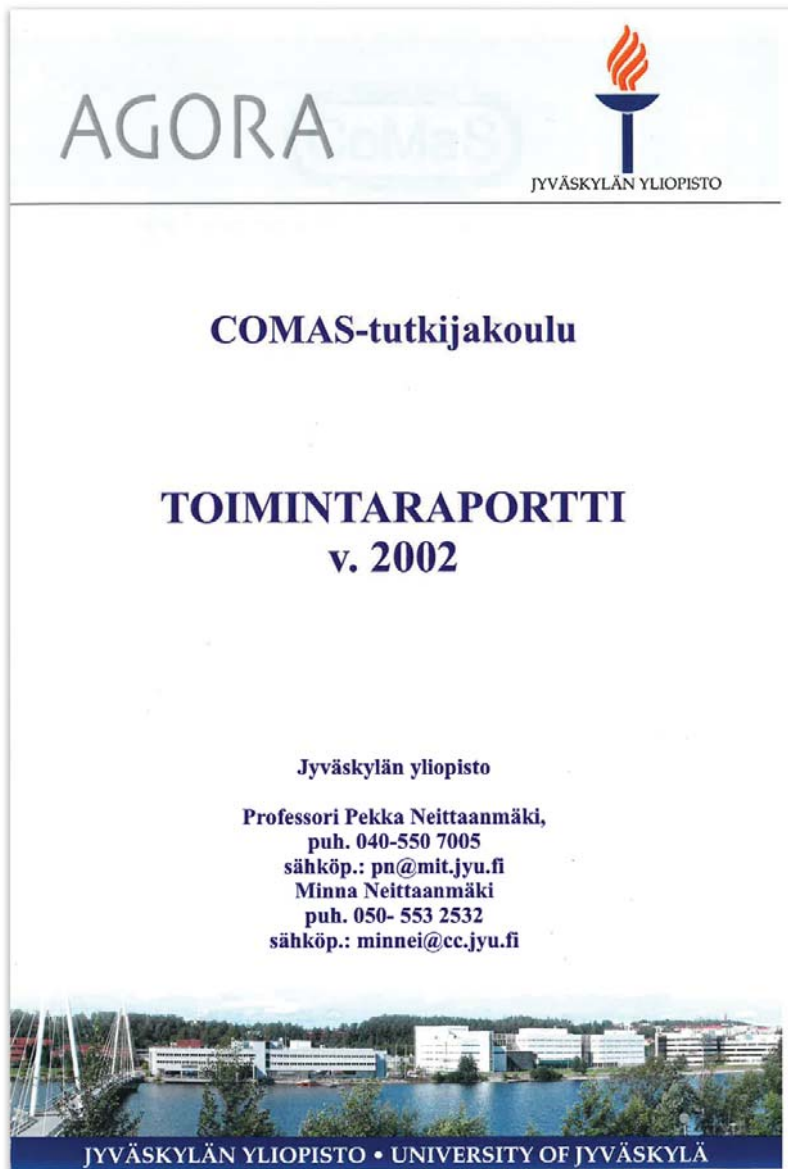
1. monitieteinen tiedepohja, riittävät ja monipuoliset perusresurssit
2. paikallisen tietotaidon monipuolinen hyödyntäminen (*synergiaetu*)
3. kansainvälistä tasoa oleva tutkimus ja näytöt tieteellisestä jatkokoulutuksesta
4. monipuoliset kansainväliset yhteistyötahot
5. IT-alojen kasvavat koulutus- ja tutkimustarpeet julkisella ja yksityisellä sektorilla sekä kansallisesti ja alueellisesti
6. reagointi muuttuviin koulutustarpeisiin
7. ihmislähtöinen informaatioteknologia
8. poikkitieteellinen osaaminen.

Vuonna 2002 tutkijakoulutuslinjat olivat

- ohjelmisto ja informaatiotekniikka
- tietojärjestelmätiede
- tilastollinen analyysi ja laskennallinen tilastotiede
- tieteellinen laskenta ja optimointi
- kognitiotiede ja ihmislähtöinen informaatioteknologia.

Kaikilla osa-alueilla oli kansainvälinen supervisor, jonka tehtävänä oli arvioida linjan toimintaa, toimia neuvonantajana sitä kehitettäessä sekä vahvistaa tutkijakoulun kansainvälisiä yhteyksiä. Supervisorit vierailivat Agorassa 1–2 kertaa vuodessa. Vierailujen aikana he myös luennoivat ja ohjasivat väitöskirjan tekijöitä.

Yhteistyö IT-tiedekunnan, matematiikan ja tilastotieteen laitoksen sekä Agoran Human Tech Centerin kanssa oli hyvin monipuolista. Toimintamalli oli sama kuin useissa huippuyliopistoissa USAssa, Euroopassa ja Kauko-Idässä.



Kuva 6. COMAS-tutkijakoulun toimintaraportti vuodelta 2002.

3.3 Luova työympäristö on tärkeä perusedellytys tutkijakoulutukselle

COMAS-tutkijakoulu mahdollisti pitkäjänteisen toiminnan. Kun oli monipuolista osaamista, oli mahdollista osallistua kansallisiin ja kansainvälisiin hankkeisiin. Olimme mukana hyvin vaativissa hankkeissa, joita tehtiin paperikoneita valmistavan Valmetin sekä TKK:n kanssa yhteydessä metallialan yritysten kanssa. Valmetin tutkimuskeskus ja tuotanto oli reilun kilometrin päässä yliopistosta. Metallin jatkuvavalu-yritykset olivat kauempana. Teimme yhteistyötä fyysikkojen sekä paperikone- ja metallurgian insinöörien kanssa.

Erikoisalueemme oli osittaisdifferentiaaliyhtälöiden numeerinen analyysi, optimointi, optimisäätö, parametri-identifiointi. Yrityksissä käytettiin valmisohjelmistoja, jotka eivät soveltuneet yritysten ongelmien ratkaisemiseen. Kuin sattumoisin meillä oli osaamista ja kansainvälinen tutkijaverkosto juuri kyseisten ongelmien ratkaisemiseen. Jaoimme ongelmakokonaisuuden väitöskirjan tekijöille. Kutsuimme alan johtavia tutkijoita vieraaksi ja he auttoivat jatko-opiskelijoita. Tulosta tuli ja yritykset olivat tyytyväisiä.

Teollisuuden kanssa huomasimme käytössä olevien ohjelmien rajallisuuden. Mallinnus piti aloittaa alusta alkaen. Tämä johti myös uusiin metodiongelmiin. Näistä mainittakoon metallin valuprosessin mallinnus ja säätö sekä paperikoneen toiminnan mallinnus ja ohjaus. Nämä johtivat uusiin mallinnus- ja optimointiongelmiin, joihin löytyi apu kansainvälisen verkoston avulla.

Yritysten lisäksi energiatutkimukseen keskittynyt VTT oli yhteistyössä mukana. Perustimme CASAT (*centre of applied science and advanced technology*) keskuksen, joka toimi tutkimusverkostona ja tuki tutkijakoulutusta. Kun CASAT oli tehnyt tehtävänsä perustimme monitieteisen laskennallisten tieteiden keskuksen SCAT (*Scientific computing and advanced technology*).

Yksikkö oli monitieteinen ja valittiin JY:n yhdeksi kehittämishankkeeksi. Idea monitieteisissä tutkimusympäristössä on tutkijoiden kohtaaminen ja myös tottuminen keskustelemaan eri alojen henkilöiden kanssa. Se synnyttää uusia ideoita.

Kolmas esimerkki ovat kansainväliset konfrensit ja kansainvälinen kesäkoulu. Tapahtumia on ollut yli 100 ja osallistujia yli 10.000. Tapahtumat ovat tuoneet Jyväskylään alan johtavia tutkijoita. Perus- ja jatko-opiskelijat ovat voineet keskustella heidän kanssaan luentojen tauoilla sekä vapaa-aikana kalastus- ja luontoretkillä. Vuodesta 1991 toiminut kesäkoulu on ollut keskeinen osa tutkijakoulutusta.

3.4 Minustako tohtori?

Olen kannustanut opiskelijoita ensimmäisestä opiskeluvuodesta alkaen ajattelemaan tutkijakoulutusta yhtenä vaihtoehtona. Muistan puheeni Ahtisaari-salissa joka oli lähes täynnä juuri opiskelunsa aloittaneita opiskelijoita.

Sanoin että teidän joukossa on kymmenen tulevaa tohtoria. Muistan myös opiskelijoiden hymyilevät ilmeet. Katsoivat oikealle ja vasemmalle ilmeisesti ajatuksella onko

meidän rivissä tuleva tohtori. Joka toisessa rivissä todennäköisesti oli.

Olen lähettänyt opiskelijoille myös sähköposteja. Esimerkkinä sähköpostini 16.5.2005

Niin, Sinustako tohtori?

Suuntautuminen tohtorikoulutukseen alkaa asteittain – joillekin tavoite on selvä jo ensimmäisenä opintovuonna, toisille graduvaiheessa tai sitten muutaman työelämävuoden jälkeen. Itselleni ei tullut mieleenikään tavoitella tohtoritutkintoa opintojeni alussa. Kun sitten professori pyysi laudatur-kurssin luennon väliajalla juttusille, sain kuulla, että tohtoriopinnot voisivat olla yksi mahdollisuus. Onneksi uskoin professoriani enkä itseäni ja uskaltauduin yrittämään.

Samaa keskustelutilaisuutta tarjoan nyt Sinulle. Ota yhteyttä, jos tunnistat joitakin seuraavista asioista:

- opintosi ovat sujuneet hyvin
- haluat haasteita ja kokeilla rajojasi
- pidät ryhmässä työskentelystä ja kansainvälisestä ilmapiiristä
- olet valmis tekemään systemaattisesti työtä päämäärän saavuttamiseksi
- näet tohtoritutkinnon haastavana vaihtoehtona – olet saavuttanut jotain keskitasoa parempaa opiskelussa, taiteissa tai urheilussa

Lähetä minulle tietoa kiinnostuksestasi sähköpostilla tai tee vain lisäkysymyksiä! Sovitaan keskustelusta. Tavoitteenani on koota eri vuosikursseilta pieni ryhmä, jonka jäsenille laadin henkilökohtaisen ja perinteistä opintoputkea vaativamman opinto-, harjoittelu- ja opinnäytetyösuunnitelman. Tavoitteena on rekrytoida ryhmän jäsenet laitoksen tutkimusprojekteihin kesä- ja tutkimusharjoittelijoiksi.

Tavoitteena on esivalmentaa opiskelijat hakemaan vuonna 2006 avautuvia tutkijankoulutuspaikkoja COMAS (*Jyväskylän Graduate School in Computing and Mathematical Sciences*) -tutkijakoulussa, jonka johtajana toimin.

Vaativat suoritukset taiteissa ja urheilussa edellyttävät paitsi taipumusta alalle myös systemaattista työtä. Sama on tutkimustoiminnassa.

Kaikissa tapauksissa hyöty on elinikäinen. Tutkimustoimintaan kasvetaan asteittain. Yksikään lähes viidestäkymmenestä ryhmässäni väitelleestä ei ole uskonut alkukausina omiin tohtoroitumismahdollisuuksiinsa. Päämäärään on silti lähes jokainen päässyt, useat jopa ennen kuin kurssikaverinsa ovat saaneet perustutkinnon valmiiksi.

Suomalaisten menestyminen perustuu entistä enemmän huippuosaamiseen.

Opetusministeriö on asettanut tavoitteeksi nostaa entisestään koulutustavoitteita ja tohtoriopiskelijoiden määrää. Tavoitteena on yli 1600 tohtorin valmistuminen vuonna 2006 nykyisen noin 1200 sijaan. Samalla mahdollisuuksia kouluttatua tohtoriksi parannetaan suuntaamalla niin valtion, yritysten kuin säätiöidenkin rahoitusta tohtorikoulutukseen.

Tohtorit sijoittuvat niin yritysmaailmassa kuin julkisella sektorillakin tärkeille avainpaikoille sekä kotimaisissa että kansainvälisissä tehtävissä.

Tohtoriterveisin

Pekka Neittaanmäki

3.5 Agora Center – uudenlainen verkostomainen erillislaitos 2002–2017

Aloite monitieteisen uuden yksikön perustamisesta Jyväskylän yliopistoon tehtiin jo 1990-luvun lopussa. Tieteenalojen vahva yhteistyö yhteiskunnallisiin haasteisiin vastaamiseksi, niin kutsuttu Agora-visio, sai laajaa kannatusta ja toimi myös Agora-rakennuksen rakentamisen lähtökohtana. Agorassa yhdistyivät juuri perustettu Suomen ensimmäinen informaatioteknologian tiedekunta sekä ihmistieteiden keskinäistä yhteistyötä rakentava Psykocenter. Psykocenter oli professori Lea Pulkkisen johtama verkosto-organisaatio, joka sai rahoitusta Suomen Akatemian huippututkimusohjelmasta vuosina 2000–2005.

3.5.1 Agora Centerin perustaminen

Agora Center perustettiin, koska nopeasti muuttuvan tietoyhteiskunnan haasteiden koettiin edellyttävän monitieteistä lähestymistapaa. Agora Centeriä perustamassa lisäksi olivat professorit Lea Pulkkinen ja Heikki Lyytinen sekä Psykocenterin koordinaattorina toiminut Päivi Fadjukoff. Monitieteiset ja monipuoliset yhteistyöhankkeet vaativat oman, uudenlaisen hallinnointirakenteen joka kykenisi reagoimaan nopeasti myös ulkoisiin tarpeisiin ja rahoitusmahdollisuuksiin. Agora Centerin toiminta organisoitiin ensin kokeiluunotisesti *"määräaikaiseksi, verkottuneeksi erillislaitokseksi"* vuonna 2002. Yksikön toiminta keskittyi tietoyhteiskunnan ja ihmisläheisen informaatio- ja viestintäteknologian (*Human Technology*) sovellusten tutkimiseen ja kehittämiseen. Toiminta vakinaistettiin arviointien jälkeen vuonna 2008, ja se jatkui vuoden 2016 lopussa tapahtuneisiin yliopiston rakennemuutoksiin saakka.

Agora Center tarjosi luovan verkostomaisen toimintaympäristön, jossa osaaminen liikkui yli tieteenalarajojen. Lähtökohtana oli tutkijoiden oma kiinnostus työskennellä monitieteisesti. Tutkimusta toteutettiin pitkäjänteisessä yhteistyössä eri tahojen, julkisen ja kolmannen sektorin, yritysten, yliopistojen ja muiden organisaatioiden kanssa. Agora Centerillä oli vuosien aikana satoja projektikumppaneita niin kotimaassa kuin eri puolilla maailmaa. Yksikön projektitoimiston kehittämä ketterä hallintotapa mahdollisti innovatiivisen toiminnan ja siitä syntyneiden tulosten nopeamman hyödyntämisen käytännössä. Agora Centerin toiminta oli taloudellisesti kannattavaa ja menestyksestä akateemisilla mittareilla mitaten.

Agora Centerin strategiaan kuului tutkimuksen ohella edistää monitieteistä tutkijakoulutusta, seurata kansainvälistä julkaisuutoimintaa ja koota yhteen merkittäviä tutkimustuloksia tieteen vaikuttavuuden lisäämiseksi. Agora Center tuki yli 70 väitöskirjatutkimusta ja lukuisia pro gradu -tutkielmia sekä jakoi vuosittain palkinnon ansioituneelle ja ajankohtaiselle monitieteiselle väitöskirjalle.

Agora Centerin toiminnalla on ollut merkittävä yhteiskunnallinen vaikutus. Tutkimushankkeiden yhteydessä syntyi runsaasti tuotekehitys- ja liiketoimintaideoita sekä toimintamalleja. Jo vuonna 2007 tehdyssä ulkoisessa arvioinnissa todettiinkin: *"Agora Center*

on onnistunut poikkeuksellisen hyvin edistämään monitieteistä yhteistyötä toteuttamissaan hankkeissa."

3.5.2 Menetelmäasiantuntijoiden tutkijakoulutus

Agora Centerissä Ideana oli rakentaa innovatiivinen tutkijaympäristö, jossa ratkotaan monitieteisiä yhteiskunnallisia ja ihmistieteiden ongelmia, sekä kouluttaa Jyväskylän yliopiston kaikkien tiedekuntien perus- että jatko-opiskelijoita. Selvityksemme mukaan vastaava tutkimuskeskusta ei tuolloin ollut. Maailman huippuyliopistoissa joissa vierailin nimenomaan monitieteisissä tutkimusympäristöissä saavutettiin yhteiskunnan kannalta tärkeitä läpimurtoja jotka johtivat uusiin toimintatapoihin ja tuotteisiin. Mainittakoon esimerkkeinä *MIT, Stanford, Harvard, Tokio Institute of Technology*. Monet meidän päivittäin käyttämät teknologiat, tuotteet ja palvelut on kehitetty kyseisten yliopistojen monitieteisissä tutkimushankkeissa.

Agora Centerissä oli tavoite kouluttaa menetelmäasiantuntijoita työskentelemään monitieteisissä hankkeissa osana opintoja. Valitettavan usein data-aineiston ja tilastollisten menetelmien asiantuntijoiden työtä ei osata arvostaa. Menetelmäkulut on aliarvioitu. Menetelmäasiantuntijat ovat valitettavan usein opiskelijoita joiden perus- tai jatko-opinnot ovat kesken eivätkä etene kovan kiireen takia. Opiskelija tulee toisesta tiedekunnasta eikä olla vastuussa opinnoista. Opinnot jäävät kesken, ei ole julkaisuja tai ne ovat aivan eri alan lehdissä kuin opiskelijan ala on. Urakehitys hankaloituu. Tutkijakoulutuksen kannalta tärkeissä avustajien tehtävissä toimineen opiskelijan asema on huono. Tähän asiaan on kiinnitetty liian vähän huomiota. Myös yrityksissä tilanne on varsin usein vastaavanlainen.

3.5.3 Tieteellä tuloksiin

Agora Center tarjosi kannustavan toimintaympäristön hyvin monenlaisille ja monitieteisille tutkimus- ja kehittämishankkeille. Verkottumista ja tiedonvaihtoa edistettiin lukuisilla tapahtumilla. Kansainvälisesti verkottuneen tutkimustyön tulokset kantoivat hedelmää: syntyi lukuisia uusia keksintöjä ja käytännön sovelluksia, esimerkiksi:

- Tutkimusnäyttöön perustuva lukemaanoppimispeli *Ekapeli* ja sen kansainväliset kieliversiot *Grapho Game*-nimellä, sekä niiden tueksi rakentunut kansainvälinen huippututkimusverkosto *GraphoWorld* ja Unesco-oppituoli
- MUKAVA-hankkeen näytön pohjalta tehty lakimuutos koululaisten aamu- ja iltapäivätoiminnasta
- Nopean vasteen toimintamalli (*NOVA*); sairaalassa käyttöön otettu toimintamalli, joka tehosti päivystyspoliklinikan toimintaa ja potilaan hoitopaikasta 40 prosentilla samalla parantaen asiakkaiden ja hoitajien tyytyväisyyttä
- Tutkimuksesta liiketoiminnaksi (*TUTLI*)-hankkeet ja niiden pohjalta syntyneet yritykset kuten *Synesa Solutions* ja *N-Fleet*

3.5.4 Agora Center maakunnan kehityksen veturina

Perinteisen *savupiipputeollisuuden* taantuessa 2000-luvun alussa perustetun Agora Centerin ihmisläheisen teknologian kehittämistyöhön kohdistui suuria odotuksia. Toteutuivatko ne?

Midinvestin Visa Virtanen vastasi Keski-suomalaisen haastattelussa 7.3.2012: *"Agora on tuonut vahvaa profiloitumista Jyväskylälle. Se on paikkansa täyttänyt täällä ja täyttää varmasti jatkossakin."* Samassa yhteydessä professori Pekka Neittaanmäki kertasi saavutuksia: *"Alueellinen vaikuttavuus on ollut merkittävä. Viimeisen 15 vuoden aikana Jyväskylään on tullut 150:een it-alan tai alaa merkittävästi hyödyntävään yritykseen lähes 4000 uutta työpaikkaa ja alalla on Keski-Suomessa tällä hetkellä yli 5500 työpaikkaa."*

Agora Centerin juhlaseminaarissa 27.1.2006 liikenne- ja viestintäministeri Susanna Huovinen julisti: *"Agora Center on ainutlaatuinen Suomessa ja maailmanlaajuisestikin."*

Seuraavan vuoden vuosijuhlassa 15.6.2007 julkistettiin Agora Centeristä tehty ulkoinen arvio otsikolla *"Agora Center on tulevaisuuden yliopistotoimintaa"*. Arvostettu asiantuntija-arvioija, professori Jussi Huttunen arvioi Agora Centerin toiminnan olevan yhteiskunnallisesti vaikuttavaa ja totesi keskuksen toimintakonseptin eroavan yliopistojen perinteisestä toimintamallista. *"Agora Centerin tapaiset monitieteiset toimintayksiköt nousevat tiedekuntien ja tieteenalalaitosten rinnalle tulevaisuuden yliopistossa. Agora Centerin perustamista ja kehittämistä voidaan hyvin perusteiden pitää merkittävänä innovaationa suomalaisessa yliopistomaailmassa"*, Huttunen totesi.

Agora Centerin toimintaan tutustuivat lukuisat merkkihenkilöt, suurlähettiläät, ministerit, ja kansanedustajat. Agorassa vieraili myös Ruotsin kuningasperhe elokuussa



Kuva 7. Agora Center valmistui ja aloitti toimintansa 15.6.2006. Agora-rakenus on Mattilanniemen kampusalueen maamerkki.

2003. Myös presidentti Tarja Halonen puolisoineen vieraili maakuntamatkallaan 31.1. 2008 yksikköön kuuluneessa Mind Tech -laboratoriossa, jossa tutkittiin ihmismieltä tietotekniikan keinoin. Samassa yhteydessä presidentti tutustui myös professori Heikki Lyytisen johdolla Agora Centerissä kehitettyyn Ekapeliin.

Agora Centerin täyttäessä 10 vuotta Keski-suomalainen uutisoi 7.3. 2012 näyttävästi: *"Tästä nousi Jyväskylän it-kuume. Agora Center: 10-vuotias erillislaitos saa kehuja Jyväskylän tunnettuuden parantamisesta ja ennakkoluulottomuudesta."*

Agora Center laati projektisuunnitelmia yhteistyössä varsin laajan yritysverkoston kanssa. Yksikkö tiedotti 26.1.2016 noin 2 miljoonan euron tutkimus- ja kehittämissyhteistyön hankesalkun käynnistämistä yhteistyökumppaneidensa kanssa. *"Yliopistojen projektijohtaminen on ammattimaistumassa ja tiukassa taloudellisessa tilanteessa sillä on entistä suurempi merkitys"*, totesi hankepäällikkö Mikko Pitkänen.

3.5.5 Kansainvälinen Agora Center

Agora Centerin toiminnan yhtenä lähtökohtana oli kansainvälisyys. Se tarkoitti laajaa verkottumista ja yhteistyöhankkeita kautta maailman. Yksikön henkilöstöstä merkittävä osa, yhtäaikaista jopa yli neljännes, oli lähtöisin Suomen ulkopuolelta. Agora Center toimii kaksikielisenä, suomeksi ja englanniksi.

Agora Centerin urauurtava toiminta herätti kiinnostusta maailmanlaajuisesti, ja tutkimusyksikköön tehtiin paljon tutustumiskäyntejä eri puolilta maailmaa. Lisäksi Agora Center järjesti kansainvälisiä konferensseja ja tutkijatapaamisia. Tutkimusyksikön toimintaa ja sen edustajia on myös huomioitu useilla kansainvälisillä palkinnoilla ja kunniamerkeillä.



Kuva 8. Agora Center toimi Agora-rakennuksessa, jossa sijaitsee myös Martti Ahtisaari -sali.

Agora Center perusti ja ylläpiti kansainvälistä tiedejulkaisua *Human Technology*, joka on verkossa kaikkien saatavilla. Lehdellä on tuhansia lukijoita kautta maailman.

Esimerkkejä kansainvälisestä vaikuttavuudesta ovat:

- Kansainvälisesti johtava dysleksiatutkimus, ja sen pohjalta lukuisina kieliversioina kehitetty Ekapeli/GraphoGame
- Kehitysyhteistyöhankkeet erityisesti Sambiassa ja Eritreassa
- Unesco-professuuri

3.5.6 *Agora Center – avoin ja kannustava*

Agora Centerin toimintakulttuurissa korostui työyhteisön avoimuus ja keskinäisen kannustamisen ilmapiiri. Henkilökohtaisiakin saavutuksia juhlistettiin koko yhteisön voimin. Yhteiset toimitilat mahdollistivat jatkuvan vuorovaikutuksen ja ideoiden vaihdon tieteenalarajoihin katsomatta.

Yhteishenkeä rakennettiin ja ylläpidettiin virallisempien kuukausi- ja viikkopalaverien lisäksi aktiivisesti erilaisilla sosiaalisilla tapahtumilla. Tällaisia olivat esimerkiksi ystävänäpäivän nyyttikestit, naistenpäiväkahvit, pikkujoulut ja vuosijuhlat, joissa tuloksia ja saavutuksia nostettiin esiin.

Työhyvinvointia edistettiin myös yhteisen liikunnan avulla. Ohjatun työpaikkaliikunnan lisäksi lähdettiin yhdessä retkille ja tapahtumiin. Agora Center osallistui omalla joukkueellaan vuosittaiseen Jyväsjärven kirkkovenesoututapahtumaan koko toimintansa ajan. Vuonna 2014 tutkimusyksikkö sai tapahtumassa erikoispalkinnon vuosien ajan toteutuneesta iloisesta yhteishengestä, teemapukeutumisen kekseliäisyydestä ja joukkueen monikulttuurisuudesta.

Yhteisessä tekemisessä oli ensisijaista hyvä mieli ja matala kynnyks kenen tahansa osallistua. Tapahtumajärjestelyissä haluttiin myös erityisesti huomioida työyhteisön jäsenten erilaisia kulttuuritaustoja.

3.5.7 *Spin Off*

Jyväskylän yliopiston hallitus päätti 13.4.2016 lakkauttaa Agora Centerin erillislaitokseksi ja asetti tavoitteeksi kehittää Agora Centerin toiminnassa tunnistettuja vahvuuksia läpileikkaavasti kaikessa yliopiston toiminnassa.

Päätös käynnisti monitahoisen neuvotteluprosessin, jossa Agora Center etsi ylläpitämilleen verkostoille, projekteille ja henkilöstölle uusia toimintaympäristöjä yliopiston tiedekunnista, erillislaitoksista ja yliopistopalveluista. Koska työ oli ollut monitieteistä, lähes kaikilla toiminnoilla ja henkilöillä oli siirtymiseen eri vaihtoehtoja. Siirtymien tukemiseksi rehtori osoitti rahoitusta vastaanottaville yksiköille ja ne toteutettiin syksyn 2016 aikana huomioiden projektien aikataulut. Samalla Agora Center hoiti päättyvät projektit loppuun ja pyrki etsimään uusille hankeideoille ja yhteistyötarjojoksille muita yksiköitä

niitä koordinoimaan.

Vaikka Agora Centerin määräaikaisellekin projektihenkilöstölle taattiin työn jatkuminen siirtymäkauden aikana, moni päätti siirtyä uusiin tehtäviin yliopiston ulkopuolelle. Toimivat yhteistyöverkostot avasivat tähän mahdollisuuksia. Tavoitteena oli, että Agora Centerin monitieteisen ja monikulttuurisen yhteistyön malli ja verkostot jatkavat kehittymistään entistä laajemmissa ja moninaisemmissa ympäristöissä. Tämä tavoite ei ole toteutunut odotusten mukaisesti. Pidän Agora Centerin lopettamista virheenä.

Agora Center järjesti 3.11.2016 viimeisen tapahtumansa: *Agora Center Spin Off*. Tapahtumalla haluttiin juhlistaa 15 vuoden ajan jatkunutta menestyksestä toimintaa. Juhlimaan kutsuttiin ystäviä, yhteistyökumppaneita ja alumneja. Tapahtumassa esiteltiin, mitä kaikkea hyvää Agora Centeristä intohimoisen yhteistyön kautta on maailmalle lähtenyt: ideoita, osajia, yrityksiä, toimintamalleja ja ratkaisuja.

Vieraille esitettiin myös professori Lea Pulkkinen käsikirjoittama näytelmä *Agora Centerin* alusta ja tavoitteista.

3.6 Tutkijakoulutus muun työn ohella

Toimin MLTKn varadekaanina ja dekaanina 1992–1993 sekä IT tiedekunnan dekaanina 2010–2017. Vararehtorikaudella 1993–2000 vastuullani olivat tutkimus, tutkijakoulutus ja kehittämishankkeet. Comas-tutkijakoulun johtajana toimin aloitusvaiheessa 1995–1999 sekä vuosina 2003–2016 (*OKMn rahoitus lopetettiin v. 2016*). Agora Centerin johtajana olin vuodet 2000–2009. Kaikki tehtävät olivat osa-aikaisia professorin tehtävien lisäksi. Tuona aikana vain yliopiston rehtori oli päätoiminen.

Tapanani oli pitää kokoukset lyhyinä, korkeintaan tunnin mittaisina. Ei ollut aikaa 2–3 tunnin kokouksiin. Murinaa kuului kokouksissa pitkien esitelmien pitämiseen tottuneilta. Tärkeämpi palaute oli enemmistön toteaminen että informaation määrä lisääntyi ja päätökset olivat selkeitä.

Ilman sihteereitä en olisi pärjännyt. Käytin nauhuria ja sanelin ohjeet, kirjeet ja muistiot aamulla kotona ja jätin nauhurin sihteerin pöydälle. Alkuaikoina ei ollut henkilökohtaisia tietokoneita joten kirjoitin kirjeitä ja kehittämismuistioita kynällä paperille. Mielestäni nykykäytäntö, että professorit joutuvat tekemään rutiinitehtäviä on huono. Professori on kallis sihteeri.

3.7 Kansainvälinen kesäkoulu

Pohdimme 1980-luvun loppupuolella miten lisättäisiin opiskelijoiden kansainvälisiä kontakteja. Aloitteestani perustettiin työryhmä, joka analysoi tilanteen ja teki toimenpide-ehdotuksia. Yksi työryhmän esityksistä oli että järjestetään Jyväskylässä kansainvälinen kesäkoulu. Työryhmän puheenjohtajana sain tehtäväkseni viedä asiaa eteenpäin. Rahoitusta ei juuri ollut ja dekaani Olli Martio sekä rehtori Antti Tanskanen suhtautuivat penseästi asiaan. Muistiinpanoihini kirjasin saamani kommentit "*vaikea asia*" ja "*oletteko*

ihan tosissanne". Pelättiin myös, miten ulkomaalaiset nuoret käyttäytyvät JY:n kampuksella.

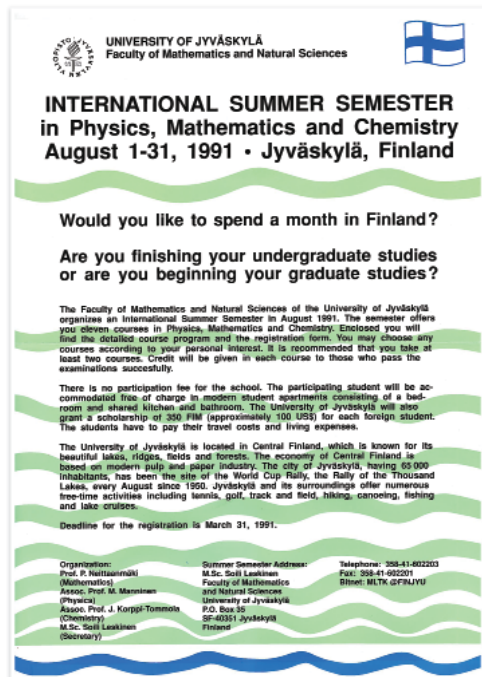
Sain tehtäväkseni ensimmäisen kansainvälisen kesäkoulun järjestämisen.

Jyväskylän Summer School (JSS), Jyväskylän kansainvälinen kesäkoulu, on ollut elokuusta 1991 alkaen sekä kansallisesti että kansainvälisesti merkittävä STEM- ja IT-alan tieteellisen koulutuksen tarjoaja ja olennainen osa Jyväskylän yliopiston omaa kesälukukautta. Toimintavuosiensa aikana kesäkoulu on vakiinnuttanut asemansa korkeatasoisena jatkokoulutusyksikkönä joka tarjoaa erikoiskursseja maisteriopintojensa loppuvaiheessa oleville opiskelijoille, jatko-opiskelijoille ja nuorille tohtoreille. Osa kursseista käsittelee fysiikan, kemian, matematiikan ja informaatioteknologian perustutkimuksen kannalta tärkeitä aiheita. Osa kursseista puolestaan on hyvin poikkitieteellisiä ja yhteiskunnallisesti merkittäviin aiheisiin paneutuvia.

Vuosittain *Jyväskylän Summer School* -kesäkouluun osallistuu satoja opiskelijoita kymmenistä eri maista. Opettajina kesäkoulussa toimii sekä ulkomaisia että kotimaisia huipuasiantuntijoita.

Vuosien 1991–2024 aikana Jyväskylä Summer School on järjestänyt yhteensä 636 kurssia, joita on opettanut yhteensä noin 1190 opettajaa ja joihin on osallistunut yhteensä noin 9200 opiskelijaa.

Koko olemassaolonsa ajan *Jyväskylän Summer School* on kehittänyt tohtorikoulutuksen opetus suunnitelmien mukaisesti jatko-opiskelijoiden tieteellisiä valmiuksia sekä auttanut opiskelijoita integroitumaan kansainväliseen tiedeyhteisöön ja luomaan omia verkostojaan. Tieteenalojen rajat ylittävä vuoropuhelu ja verkostoituminen tapahtuu monialaisessa ja poikkitieteellisessä kesäkoulussa luontevasti. Opiskelijat ovat vuosien kuluessa solmineet lukuisia kansainvälisiä kontakteja sekä oman alansa tutkijoiden kanssa että tieteenalojen rajapintojen yli. Kesäkoulussa toisiinsa tutustuneet jatko-opiskelijat ja tutkijatohtorit ovat myöhemmin tehneet yhteistyötä kansainvälisissä tutkimushankkeissa.



Kuva 9. Kesäkoulun juliste vuodelta 1991.

4 LASKENNALLISET TIETEET STRATEGINEN TUTKIMUSALA

Perustelen seuraavassa miksi valitsin tutkimus- ja tutkijakoulutusosalaksi juuri laskennalliset tieteet. Tavoitteenani oli ja on edelleen kannustaa jatko-opiskelijaa alalle, joka on varhaisessa kehitysvaiheessa ja joka tulee olemaan merkittävä myös lähivuosisikymmeninä.

Opetusministeriön työryhmän [1] mukaan

"laskennallisen tieteen kehittäminen on strategisesti tärkeää Suomen kilpailukyvyille. Laskennallisella lähestymistavalla voidaan lisätä ymmärrystä yhteiskunnallisesti merkittävillä alueilla. Laskennallinen lähestymistapa vahvistaa moni- ja poikkitieteellistä tutkimusta sekä nopeuttaa ja tehostaa tuotekehitystä. Samalla vähennetään raja-aitoja tutkimusalojen välillä sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. Tämä lisää innovatiivisuutta ja tuottaa uusia läpimurtoja tutkimuksessa ja tuotekehityksessä."

Tieto- ja viestintäteknologiat ovat muuttaneet ratkaisevasti tapaa, jolla tiedettä maailmassa tehdään. Soveltava matematiikka ja laskennallinen tiede ovat nousseet kolmanneksi tukipilariksi kokeellisen ja teoreettisen tieteen rinnalle. Matematiikkaan pohjautuvien laskennallisten menetelmien ja välineiden kehitys on ollut voimakasta ja tukee toimintaa kaikilla tieteenaloilla. Laskennallisella lähestymistavalla voidaan saavuttaa konkreettisesti merkittäviä säästöjä, kun erilaisia kompleksisia järjestelmiä (*tekniset, ihmislähtöiset*) voidaan mallintaa ja optimoida entistä tarkemmin. Yhä monimutkaisempien ilmiöiden tutkimuksessa soveltavan matematiikan ja laskennallisen tieteen käyttäminen mahdollistaa aikaisempaa hankalampien ongelmien ratkaisemisen, esimerkkinä ihmisen genomien selvittäminen, sään ennustaminen tai yhteiskunnan monimutkaisten ongelmien ratkaiseminen. Laskennallisen tieteen avulla ratkotaan haastavia tutkimusongelmia hyvin monilla tieteenaloilla sekä poikkitieteellisesti.

Laskennalliset tieteet luokitellaan johtavissa teollisuusmaissa strategiseksi tieteksi, joilla on merkittävä vaikutus maan kilpailukykyyn. Laskennallinen ajattelu (*computational thinking*) on viime vuosina nostettu yhdeksi olennaiseksi kaikkien kansalaisten osaamisalueeksi. Monet asiantuntijajärjestöt ja visiointifoorumit eri puolilla maailmaa, mutta etenkin Yhdysvalloissa, Englannissa ja Alankomaissa ovat tuoneet vahvasti esille laskennallisen tieteen nostamisen osaksi eri koulutusvaiheiden opetussuunnitelmaa.

Laskennallisen ajattelun nähdään olevan sellainen taito, jonka oppimiseen jokaisella tulisi olla mahdollisuus. Se on yhteydessä moniin 2000-luvun osaamisalueisiin, kuten ongelmanratkaisuun, kriittiseen ajatteluun, tuottamiseen ja luovuuteen. Laskennallinen ajattelu liittyy myös olennaisesti tieto- ja viestintäteknikan (*ICT*) nopeaan kehitykseen. ICT:n ydinominaisuuksia ovat yhä tiivistyvät yhteydet, eksponentiaalinen datantuotanto ja teknisten elementtien yhä suurempi riippuvuus toisistaan – oli kyse sitten ohjelmistoista, palveluista, datasta tai laitteista. Yhteiskunnan nopea digitalisoituminen on tuonut

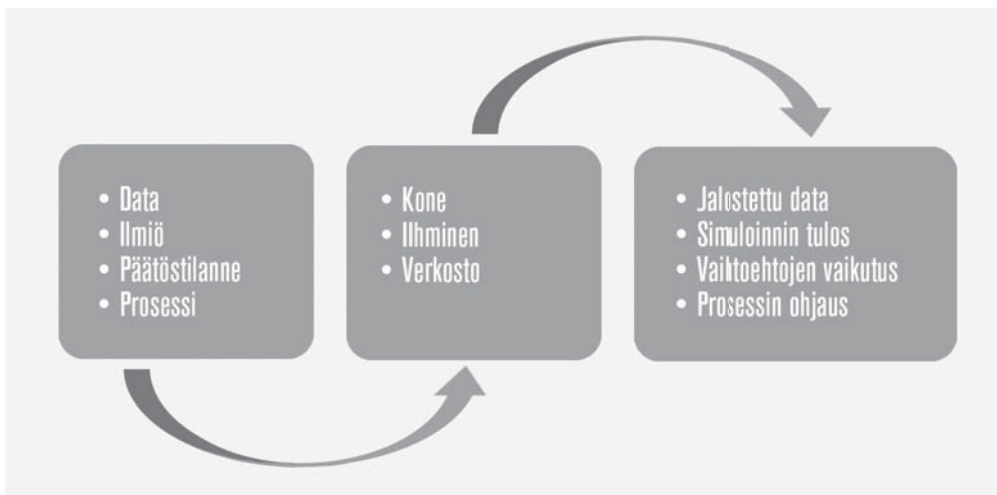
haasteita myös koululaitokselle. ICT-alan voimakas kehittyminen on muuttanut ammatteja niin nopeasti, että valmistuttuaan osa opiskelijoista ei ole riittävän ammattitaitoisia kehittämään yhteiskuntaa ja ICT-alaa vallitsevien trendien vaatimusten mukaisesti.

Laskennallisissa tieteissä keskitytään matemaattisten mallinnusmenetelmien, todellisuutta jäljittelevien simulointimenetelmien, toimintaa parantavien optimointimenetelmien sekä laajojen tietoaisteiden hallinnan mahdollistavien tiedonlouhintamenetelmien teoriaan ja käytännön hyödyntämiseen, erityisesti tietokoneanimaatioissa.

Laskennalliset tieteet koostuvat neljästä osa-alueesta:

- mallintamisesta, simuloinnista, optimoinnista ja säätöteoriasta
- datan käsittelystä, analyysistä ja päätöksenteosta
- visualisoinnista
- laskentaympäristöstä

Laskennallisten menetelmien eli analyysin, mallinnuksen, simuloinnin, optimoinnin, data-analyysin ja tiedonhallinnan avulla voidaan hankkia syvempää tietoa eri asioiden riippuvuussuhteista ja hallita tehokkaammin kokonaisuuksia, riskejä ja epävarmuutta.



Kuva 10. Laskennallinen prosessi.

Laskennallinen ajattelu nivoutuu moniin 21. vuosisadan taitoihin. Se on joukko ongelmanratkaisun tekniikoita, jotka ovat peräisin laskennallisuuden yleisestä luonteesta, eli kuvaavat ajatteluprosessia yleensä. Siihen liittyvät sosiaaliset taidot kuten tiimityö ja alakohtaiset ongelmanratkaisun taidot kuten algoritmiajattelu ja rekursiivisuuden ymmärtäminen. Laskennalliseen ajatteluun voidaan liittää seuraavia ajattelutapoja:

- Tieteellinen ajattelu (*Scientific Thinking*)
- Looginen ajattelu (*Logical Thinking*)

- Algoritminen ajattelu (*Algorithmic Thinking*)
- Rinnakkaisajattelu (*Parallel Thinking*)
- Tehokkaat ratkaisut (*Efficient Solutions*)
- Innovatiivinen ajattelu (*Innovative Thinking*)

Laskennallisen tieteen osaaminen lisää yritysten kilpailukykyä nopeuttamalla tuotekehitystä (*virtuaalimallinnus, simulointi ja optimointi*) ja mahdollistamalla kerättyjen tietoinaisten paremman hyödyntämisen (*tiedon louhinta*). Lisäksi laskennallisen tieteen alueelta syntyy uutta osaamiseen ja ohjelmistoihin perustuvaa palveluliiketoimintaa, jolla on maailmanlaajuiset markkinat. *Luvussa 10* käsitellään tieteen uusia paradigmoja sekä uusia tutkimusalueita joiden ansiosta tutkijakoulutus on laajentunut.

[1] Laskennallisen tieteen kehittäminen Suomessa, Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä, 2007:23

4.1 Kansainvälinen yhteistyöverkosto

Maailmanlaajuiseen tiimiin kuuluu noin 30 tutkimusalojensa johtavaa asiantuntijaa Euroopasta, Yhdysvalloista, Kaukoidästä ja Aasiasta. (*Kuva 11, s.36*)

Verkoston tutkimus koostuu kahdestatoista tutkimusalasta: numeerinen analyysi, luotettava laskenta, optimointi, optimaalinen ohjaus ja logistiikka, nanoteknologian laskennallinen metodologia, laskennallinen mekaniikka, dynaamiset järjestelmät ja houkuttimet, signaalien ja tietojen käsittely, massadata analytiikka, kriittisen infrastruktuurin suojaaminen, digitaaliset palvelualustat, tietojen analysointi, optimointi ja simulointi julkisessa terveydenhuollossa ja digitaaliset oppimisympäristöt.

1 Numeerinen analyysi

Ryhmä: Pekka Neittaanmäki, Michael Krížek, Tuomo Rossi, Yuri Kuznetsov³, Valeri Rivkind¹

Osittaisdifferentiaaliyhtälöiden numeeriset menetelmät, laskennan virhearviot, superkonvergenssi, mallittaminen ja simulointi.

2 Luotettava laskenta

Ryhmä: Pekka Neittaanmäki, Sergei Repin

Reliable Computing -ryhmä kehittää täysin luotettavia tietokonesimulaatiomenetelmiä erilaisiin luonnontieteiden ja teknologisen suunnittelun matemaattisiin ongelmiin.



Kuva 11. Kansainvälinen yhteistyöverkosto.

Päättutkimusalueet ovat:

- Suorien ja käänteisten ongelmien tietokonesimulaatiolla saatujen tulosten tarkkuusvarmennusmenetelmät;
- Fysiikan ja biologian jaksollisten ja kvasiperiodisten rakenteiden kvantitatiivinen analyysi,

3 Optimointi, optimaalinen ohjaus ja logistiikka

Ryhmä: Pekka Neittaanmäki, Nikolai Banichuk, Dan Tiba, Jacques Periaux, Sergei Repin, Timo Tiihonen, Raino Mäkinen, Tommi Kärkkäinen, Marko Mäkelä

Optimoinnilla on keskeinen rooli nyky-yhteiskunnassa, joka etsii tehokkaampia ratkaisuja kaikilla elämän osa-alueilla. Tärkeitä tutkimusaiheita optimoinnissa ovat PDE-rajoitettu optimointi ja optimaalinen ohjaus. Optimaalinen ohjaus on rakettien laukausn takana tai jopa monilääkehoidon hallinnan taustalla. Muodon optimointi puolestaan liittyy minkä tahansa teollisuustuotteen edistykselliseen suunnitteluun lentokoneista, UAV-järjestelmistä, silloista ja patojen, maa- ja vesirakennussovelluksista ja (uusiutuvasta) energiasta ympäristöalaan, matkapuhelimiin ja tomografiaan,

4 Nanoteknologian laskennallinen metodologia

Ryhmä: Pekka Neittaanmäki, Boris Plamenevskii ja Oleg Sarafanov

¹ Menehtyi 1996

² Menehtyi 2018

³ Menehtyi 2024

Tutkimus liittyy matemaattiseen sirontateoriaan, aaltoputkien teoriaan ja niiden sovelluksiin nanoelektroniikassa. Tutkimuksessa keskitytään asymptoottisten ja numeeristen menetelmien kehittämiseen kvantti-, sähkömagneettisten ja elastisten aaltojohtojen teoriassa.

Aiheita ovat:

- Aaltoputken sirontamatriisien laskentamenetelmä
- Resonanssitunnetilojen asymptoottinen ja numeerinen tutkimus vaihtelevan poikkileikkauksen omaavissa kvanttiaaltoputkissa
- Kuvaus aaltoputkien mahdollisista sovelluksista elektronisten laitteiden elementteinä.

5 Laskennallinen mekaniikka

Ryhmä: *Pekka Neittaanmäki, Nikolai Banichuk, Tero Tuovinen, Juha Jeronen, Matti Kurki*

Tutkimus keskittyy liikkuvien paperirainojen dynamiikan ja epävakausilmiöiden matemaattiseen mallintamiseen. Tavoitteena oli kehittää ja testata analyttisiä ja puolianalyttisiä ratkaisuja kahden telan välillä liikkuvan paperirainan käyttäytymiseen.

Pyrimme myös kehittämään monitieteistä analyysiä liikkuville materiaaleille ja bifurkaatioanalyysiä eri kenttien monimutkaisen vuorovaikutuksen tapauksessa sekä arvioimaan epästabiilisuusprosessien kriittisiä parametreja. Tavoitteena on vähentää paperinvalmistusprosessien ajankulutusta ja tehostaa luotettavan suunnittelun ajankäyttöä.

6 Dynaamiset järjestelmät ja houkuttimet (*attraktorit*)

Ryhmä: *Pekka Neittaanmäki, Nikolay Kuznetsov, Gennady Leonov*²

Tutkimusryhmä keskittyy kehittämään tehokkaita analyttisiä ja numeerisia menetelmiä dynaamisten mallien tutkimiseen. Sovelluksia ovat mm. tietoliikenne, automaattinen ohjaus ja sähkömekaniikka. Viime aikoina yksi keskeisistä tutkimussuunnista on ollut tehokkaiden analyttisten ja numeeristen menetelmien kehittäminen piilotettujen attraktoreiden lokalisoinniksi ja niiden käyttö sovellettavien järjestelmien teoreettisten ongelmien ja dynamiikan tutkimiseen.

7 Signaalin ja kuvan käsittely

Ryhmä: *Amir Averbuch, Pekka Neittaanmäki, Ilkka Pölönen ja Valery Zheludev*

Ryhmän tutkimusintressit kattavat sovelletun ja laskennallisen harmonisen analyysin, big datan käsittelyn ja analyysin, aallot, signaalin/kuvan käsittelyn, tieteellisen laskennan, hyperspektrikuvantamisen, mekaanisten järjestelmien vikojen havaitsemisen, kohteen havaitsemisen ja biolääketieteelliset sovellukset.

Tutkimusaiheita ovat:

1. Automaattinen alkavien laakerivikojen havaitseminen hitaasti pyörivissä koneissa analysoimalla värähtelysignaaleja.
2. Pahanlaatuisten ihokasvaimien erottaminen hyvänlaatuisista

Tutkimusryhmä tekee yhteistyötä apulaisprofessori Ilkka Pölösen spektrikuvauslaboratorion kanssa, jossa on useita tutkimusteemoja. Spektrikuvankäsittely yhdistää signaalinkäsittelyn ja konenäön tutkimusongelmat. Laboratoriossa työskentelee useita yhteisiä tohtoriopiskelijoita.

8 Massadata-analytiikka

Ryhmä: *Pekka Neittaanmäki, Amir Averbuch, Martti Lehto, Yariv Aizenbud*

Monen tieteen ja teollisuuden alan perustehtävän, tietosiilojen analysoinnin, tavoitteena on saada merkittävää tietoa kertyneestä tai suoratoistetusta tiedosta. Tämä tieto valaisee taustalla olevaa ilmiötä, joka tuottaa havaitut tiedot. Se auttaa tehtävissä, kuten luokittelussa, klusteroinnissa, ennustamisessa, ennustavassa analytiikassa ja poikkeamien havaitsemisessa.

9 Kyberturvallisuus. Kriittisen infrastruktuurin suojaus (CIP)

Ryhmä: *Pekka Neittaanmäki, Martti Lehto, Amir Averbuch, Nezer Zaidenberg*

Lähes kaikki palvelut ja useimmat perinteiset palvelut ovat täysin riippuvaisia digitaalisesta ympäristöstä. Tietojärjestelmät ja viestintäverkot hallitsevat suurinta osaa yhteiskunnan kriittisestä infrastruktuurista. Häiriöistä ja hyökkäyksistä tulee todellinen uhka. Digitaalisissa julkisissa palveluissa kyberhäiriöt uhkaavat asiakkaiden arkaluonteisten tietojen yksityisyyttä. Ne voivat aiheuttaa mahdollisesti kohtalokkaita seurauksia, jos tietoja muutetaan tai poistetaan esimerkiksi terveydenhuollossa. Energijärjestelmissä ohjaus- tai valvontajärjestelmän vika voi aiheuttaa enemmän kustannuksia tai jopa estää muiden riippuvaisten tilojen toiminnan.

Tutkimusalue keskittyy kriittisen infrastruktuurin suojaamiseen erilaisia kyberhyökkäyksiä vastaan. Nykyinen tutkimus keskittyy muun muassa energiasektoriin, digitaalisiin verkkoihin, terveydenhuoltoon ja siviili-ilmailuun.

10 Digitaaliset palvelualustat

Ryhmä: *Pekka Neittaanmäki, Chihiro Watanabe*

Platform Value Now (PVN) hankkeessa tutkitaan digitaalisten palvelualustojen aiheuttamia muutoksia yritysten, yhteiskunnan sekä palveluja käyttävien kansalaisten toiminnassa. Yhteiskuntaan on tullut uusia yritystoiminnan palveluiden muotoja (*Uber, Volt*) ja e-kauppa on lisääntynyt räjähdysmäisesti (*esim Amazon*). Myös viestintätavat ovat muut-

tuneet. Hankkeessa tutkitaan kehitystä eri näkökulmista.

Tutkimustyö on keskittynyt lisäksi seuraaviin teemoihin: digitalisaatio, yhteiskuntata-
louden muuttuminen digitaalisilla innovaatioilla, uusavoimet innovaatiot, pehmeät inno-
vaatiot, Amazonin innovaatiot, STEM-oppiminen, esineiden internet ja älykkäät koulut
sekä tekoälyn tukemat digitaaliset koulutusalueet.

11 Tietojen analysointi, optimointi ja simulointi julkisessa terveydenhuollossa

Ryhmä: *Pekka Neittaanmäki, Karoliina Kaasalainen, Toni Ruohonen, Jukka-Pekka Kauppi,
Sami Äyrämö, Maarit Palo*

Tutkimusryhmä yhdistää ja soveltaa prosessilouhintaa, diskreettien tapahtumien simu-
lointia ja koneoppimista kehittääkseen uusia ratkaisuja sosiaali- ja terveydenhuollon
aloille henkilökohtaisesta ja yksilöllisestä hoidosta järjestelmätason ratkaisuihin. Proses-
sien louhintaa ja simulointia käytetään 1) ymmärtämään paremmin asiakkaiden tarpeita,
palvelun käyttöä ja palvelupolkuja, 2) kehittämään uusia toiminta- ja prosessimalleja
sekä 3) arvioimaan, validoimaan ja valitsemaan parhaita käytäntöjä käyttöönottaviksi.
Tutkimushankkeissa ja toiminnassa päätavoitteena on saada yksityiskohtainen käsitys
yksilöiden kokonaisvaltaisesta terveydentilasta, riskeistä, palvelutarpeista ja palvelukäyt-
täytymisestä. Toiminnallisesta näkökulmasta painopiste on palvelupoluissa, prosesseissa
ja järjestelmärakenteissa. Yhteistyöhankkeet IBM:n kanssa ovat auttaneet sekä tutkimuk-
sessa että tutkijakoulutuksessa. IBM:n Maarit Palo on verkostojen luomisessa ollut hyvin
tärkeä.

12 Digitaaliset oppimisympäristöt

Tutkimusryhmä: *Pekka Neittaanmäki, Tommi Kärkkäinen, Markku Häkkinen, Kristof Fenyvesi,
Harat Kulkabi, Martti Lehto, Vesa Lappalainen*

Digitalisaatio ja tekoäly muuttavat oppimisympäristöjä. Oppimisympäristöt muuttuvat
kaikilla koulutusasteilla peruskoulutuksesta yliopistokoulutukseen. Myös työelämässä
jatkuva oppiminen uudistuu. Tutkimusryhmä kehittää uusia tekoälytuettuja oppisym-
päristöjä. Tavoitteena on globaalit oppimisympäristöt. Tutkimusalueita 7–11 ja niiden
tärkeyttä käsitellään tarkemmin *Luvussa 10*.

4.2 Miten verkosto syntyi?

Tutkijaverkosto syntyi aktiivisen konferensseihin osallistumisen sekä eri yliopistoissa ta-
pahtuneiden vierailujen ja tutkijoiden tapaamisten ansioista. Verkostossa on tutkijoita
Euroopan, USA:n, Kauko-Idän ja Israelin eri yliopistoista. Pyysin heitä vierailulle Jyvä-
skylään pitämään luentoja ja osallistumaan konferensseihin.

Tärkeimmän ulkomaiset yhteistyökumppanit ovat olleet numeriiikan alalta Michal
Křížek, Yuri Kuznetsov ja Valeri Rivkind. Optimoinnin ja optimisäädön alalta Nikolay

Banichuk, Dan Tiba, Jacques Periaux ja Sergei Repin. Dynaamisten systeemien alalla tärkeimmät yhteistyökumppanit ovat olleet Nikolay Kuznetsov, Gennady Leonov, signaalinkäsittelyssä Amir Averbuch ja Valery Zheludev sekä digitaalisten alustojen osalta Chihiro Watanabe.

Pitkäjänteisestä yhteistyön tuloksista kertovat valmistuneet väitöskirjat, yhteisjulkaisut sekä kirjat ja toimitetut kirjat. Vuosina 1988–2021 on julkaistu 18 kirjaa. Esimerkkinä toimitetuista kirjoista on vuosina 2018–2022 julkaistut kirjat:

Monografiat

1. **J. Haslinger and P. Neittaanmäki.** Finite element approximation for optimal shape design: Theory and applications. J. Wiley & Sons, Chichester, 1988.
2. **M. Křížek and P. Neittaanmäki.** Finite element approximation of variational problems and applications, volume 50 of Pitman Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics. Longman Scientific & Technical, Harlow; Copubl. J. Wiley & Sons, New York, 1990.
3. **M. Mäkelä and P. Neittaanmäki.** Nonsmooth optimization: Analysis and algorithms with applications to optimal control. World Scientific Publishing Co., River Edge, NJ, 1992.
4. **P. Neittaanmäki and D. Tiba.** Optimal control of nonlinear parabolic systems: Theory, algorithms and applications. Marcel Dekker, New York, 1994.
5. **J. Haslinger and P. Neittaanmäki.** Finite element approximation for optimal shape, material and topology design. J. Wiley & Sons, Chichester, 2nd edition, 1996.
6. **M. Křížek and P. Neittaanmäki.** Mathematical and numerical modelling in electrical engineering: Theory and applications. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996. With a foreword by I. Babuška.
7. **P. Neittaanmäki and S. Repin.** Reliable methods for computer simulation: Error control and a posteriori estimates, volume 33 of Studies in Mathematics and Its Applications. Elsevier Science, Amsterdam, 2004.
8. **P. Neittaanmäki, J. Sprekels, and D. Tiba.** Optimization of elliptic systems: Theory and applications. Springer, Berlin, 2006.
9. **N. V. Banichuk and P. J. Neittaanmäki.** Structural optimization with uncertainties, volume 162 of Solid Mechanics and Its Applications. Springer, Berlin, 2010.
10. **O. Mali, P. Neittaanmäki, and S. Repin.** Accuracy verification methods: Theory and algorithms, volume 32 of Computational Methods in Applied Sciences. Springer, Berlin, 2014.
11. **N. Banichuk, J. Jeronen, P. Neittaanmäki, T. Saksa, and T. Tuovinen.** Mechanics of moving materials, volume 207 of Solid Mechanics and Its Applications. Springer, Berlin, 2014.
12. **A. Averbuch, P. Neittaanmäki, and V. Zheludev.** Spline and spline wavelet methods with applications to signal and image processing. Vol. I. Periodic splines. Springer, Berlin, 2014.
13. **L. Baskin, P. Neittaanmäki, B. A. Plamenevskii, and O. Sarafanov.** Resonant tunneling: Quantum waveguides of variable cross-section, asymptotics, numerics, and applications. Springer, Cham, 2015.

14. A. Averbuch, P. Neittaanmäki, and V. Zheludev. Spline and spline wavelet methods with applications to signal and image processing. Vol. II. Non-periodic splines. Springer, Cham, 2016.
15. A. Averbuch, P. Neittaanmäki, and V. Zheludev. Spline and spline wavelet methods with
16. T. Siukonen P. Neittaanmäki. Mitä meidän pitäisi tietää tekoälystä . Docendo 2019.
17. N. Banichuk, A. Barsuk, J. Jeronen, T. Tuovinen, and P. Neittaanmäki. Stability of axially moving materials, volume 259 of Solid Mechanics and Its Applications. Springer, Cham, 2020.
18. L. Baskin, P. Neittaanmäki, B. A. Plamenevskii, and O. Sarafanov. Resonant tunneling: Quantum waveguides of variable cross-section, asymptotics, numerics, and applications. Springer, Cham, 2nd edition, 2021.
19. C. Watanabe, Y. Tou, and P. Neittaanmäki. Transforming the socio economy with digital innovation. Elsevier, Amsterdam, 2021.
20. Neittaanmäki P., Lehto M., Savonen M. Yhteiskunnan digimurros. Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunta, 2021.

Toimitetut kirjat vuosilta 2018–2022

1. P. Diez, P. Neittaanmäki, J. Periaux, T. Tuovinen, and O. Bräysy (eds.). Computational methods and models for transport: New challenges for the greening of transport. Computational Methods in Applied Sciences, 45. Springer, 2018.
2. B. N. Chetverushkin, W. Fitzgibbon, Yu. A. Kuznetsov, P. Neittaanmäki, J. Periaux, and O. Pironneau (eds.). Contributions to partial differential equations and applications. Computational Methods in Applied Sciences, 47. Springer, Cham, 2019.
3. P. Diez, P. Neittaanmäki, J. Periaux, T. Tuovinen, and J. Pons-Prats (eds.). Computation and Big Data for transport: Digital innovations in surface and air transport systems. Computational Methods in Applied Sciences, 54. Springer, Cham, 2020.
4. T. Tuovinen, J. Periaux, and P. Neittaanmäki (eds.). Computational sciences and artificial intelligence in industry: New digital technologies for solving future societal and economical challenges. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering, 76. Springer, Cham, 2022.
5. Lehto M. & Neittaanmäki P. (eds.). Cyber Security: Cyber power and technology, Springer, Berlin, 2018.
6. Lehto M. & Neittaanmäki P. (eds.). Cyber Security - Critical Infrastructure Protection, Springer, Barcelona, 2022.
7. P Neittaanmäki, ML Rantalainen. (eds.). Impact of Scientific Computing on Science and Society, Springer 2023



5 OKM:N TOHTORIKOULUTUSRAHOITUS 2024–2027

Opetus- ja kulttuuriministeriö on helmikuun 2024 alussa myöntänyt yliopistoille yhteensä 255 miljoonaa euroa uusien tohtorikoulutuksen käytänteiden pilotointiin vuosina 2024–2027. Lisärahoitus suunnataan 1 000 väitöskirjatutkijalle, jotka otetaan yliopistoihin määräaikaisiin, kolmen vuoden työsuhteisiin suorittamaan tohtorintutkintoa. Tiede- ja kulttuuriministeri Sari Multala toteaa OKM:n tiedotteessa:

Suomi tarvitsee yhä enemmän huipputaiteilijoita, tutkijan koulutuksen saanutta työvoimaa.

Uuden tohtoripilotin avulla parannamme kansainvälistä kilpailukykyämme ja luomme edellytyksiä tutkittuun tietoon pohjautuville innovaatioille /1/.

Määrärahalta toteutetaan 15 tutkimusaloista tohtorikoulutuksen pilottia. Niistä yhdeksän on lippulaiva-alojen ja kuusi vapaasti valittujen alojen pilotteja. Väitöskirjatutkijapaikoista 800 kohdistuu lippulaiva-aloille ja 200 muille aloille. Alakohtaisten pilottien toteutuksesta vastaavat yliopistojen suunnittelemat konsortiot. Laajassa yhteistyössä on mukana myös tutkimuslaitoksia ja yrityksiä.

Lippulaiva-alojen pilotit, vastuuyliopisto ja saatu rahoitus (M€, luvut pyöristettyjä) vuosille 2024–2027 ovat

1. Circular Materials Bioeconomy Network: From bio-based resources to advanced materials (*Materiaalien biotalouden lippulaiva, Aalto*), 17,0 M€
 2. Digital Waters Doctoral Education Pilot (*Digitaaliset vedet -lippulaiva, OY*), 15,3 M€
 3. Doctoral Education Pilot for Mathematics of Sensing, Imaging and Modelling (*Matemaattisen mallinnuksen, havainnoinnin ja kuvantamisen lippulaiva, ISY*), 25,5 M€
 4. Doctoral Education Pilot in Precision Cancer Medicine (*Digitaalisen yksilöllistetyn syöpälääketieteen lippulaiva, HY*), 38,7 M€
 5. EDUCA (*Koulutuksen tulevaisuus -lippulaiva, JY*), 19,9 M€
 6. Finnish Doctoral Program Network in Artificial Intelligence (*Suomen Tekoälykeskus -lippulaiva, Aalto*), 25,5 M€
 7. National Doctoral Education Pilot based on Immune system (*Immuunijärjestelmän innovaatiokeskus lääketieteen ja talouskasvun moottorina lippulaiva, TuY*), 20,7 M€
 8. PREIN Doctoral education pilot (*Fotoniikan tutkimuksen ja innovaatioiden lippulaiva, TäY*), 18,3 M€
 9. Quantum (*Suomen kvanttilippulaiva, Aalto*), 23,0 M€
- Yhteensä näistä tulee 204 M€.

Vapaasti valittujen alojen pilotit ja niiden määrärahat (M€, luvut pyöristettyjä) vuosille 2024–2027 ovat

10. Doctoral pilot in software engineering (*ÅA*), 12,5 M€
11. Graduate school in particle and nuclear physics (*JY*), 4,1 M€
12. Intelligent Work Machines (*TaY*), 8,0 M€
13. Interdisciplinary Doctoral School of Social Services (*LaY*), 8,7 M€
14. Kestävyysmurros (*Sustainability Transformations*) (*ISY*), 10,0 M€
15. MicroElectronics doctoral school pilot (*TaY*), 7,7 M€

Yhteensä nämä tekevät 51 M€.

Aalto-yliopisto ja Tampereen yliopisto vetävät kolmea ohjelmaa. Itä-Suomen ja Jyväskylän yliopistot kahta ohjelmaa ja Helsingin, Lapin, Oulun, Turun yliopistot sekä Åbo Akademi yhtä ohjelmaa. Hankkeiden painopiste on suunnattu kansallisen strategian mukaisesti tekniikan, lääketieteen, koulutuksen, sosiaalitieteiden sekä luonnon ja ympäristötieteiden tärkeille aloille. Lippulaivahankkeista löytyy lisätietoa osoitteesta akatemia lippulaivaohjelma.

Eri yliopistojen vuosien 2020–2022 keskimääräistä liikevaihtoa, valtionrahoitusta ja tohtorintutkintoja suhteessa saatuihin pilottihankeen tohtorikoulutuspaikkoihin (*pilotti-paikat*) on vertailtu taulukoissa 1–3 (*lähde Vipunen*).

Taulukko 1. Yliopistojen rahoitus, tohtorintutkinnot ja lisäkoulutuspaikkojen määrä

Yliopisto	Liikevaihto 2020-2022	Valtionrahoitus 2020-2022	Tohtorintutkinnot 2020-2022 ka	Pilotti-paikat
Aalto-yliopisto	1 068 964 909	663 253 616	196	178
Helsingin yliopisto	2 096 747 971	1 218 436 155	479	236
Itä-Suomen yliopisto	746 832 559	457 845 457	156	70
Jyväskylän yliopisto	640 330 082	431 413 756	142	85
Lapin yliopisto	178 842 778	116 406 000	26	11
LUT-yliopisto	301 415 855	160 465 123	57	44
Oulun yliopisto	780 012 114	465 613 424	158	98
Svenska handelshögskolan	73 773 694	57 451 000	12	3
Taideyliopisto	227 789 511	212 849 573	13	
Tampereen yliopisto	996 319 641	585 797 339	191	106
Turun yliopisto	836 647 428	515 280 999	182	136
Vaasan yliopisto	144 476 199	103 930 000	22	7
Åbo Akademi	302 774 079	173 115 840	56	26
Yhteensä	8 394 926 820	5 161 858 282	1690	1000

Taulukko 2. Yliopistojen rahoituksen, tohtorintutkintojen ja lisäkoulutuspaikkojen osuudet

Yliopisto	Liikevaihto 2020–2022	Valtionrahoitus 2020–2022	Tohtorintutkinnot 2020–2022	Pilottipaikat
Aalto-yliopisto	12,7%	12,8%	11,6%	17,8%
Helsingin yliopisto	25,0%	23,6%	28,3%	23,6%
Itä-Suomen yliopisto	8,9%	8,9%	9,2%	7,0%
Jyväskylän yliopisto	7,6%	8,4%	8,4%	8,5%
Lapin yliopisto	2,1%	2,3%	1,5%	1,1%
LUT-yliopisto	3,6%	3,1%	3,4%	4,4%
Oulun yliopisto	9,3%	9,0%	9,3%	9,8%
Svenska handelshögskolan	0,9%	1,1%	0,7%	0,3%
Taideyliopisto	2,7%	4,1%	0,8%	0,0%
Tampereen yliopisto	11,9%	11,3%	11,3%	10,6%
Turun yliopisto	10,0%	10,0%	10,8%	13,6%
Vaasan yliopisto	1,7%	2,0%	1,3%	0,7%
Åbo Akademi	3,6%	3,4%	3,3%	2,6%

Taulukosta 3 havaitaan että Aalto yliopisto, LUT-yliopisto ja Turun yliopisto ovat saaneet eniten tohtorikoulutuksen paikkoja suhteessa vuosien 2020–2022 keskimääräiseen liikevaihtoon, valtionrahoitukseen ja tohtorintutkintoihin. LUT-yliopisto on mukana seitsemässä eri ohjelmassa (*ohjelmat 1, 36, 10, 11, 12 ja 14*).

Jyväskylän ja Oulun yliopistot ovat saaneet paikkoja seuraavaksi eniten. Itä-Suomen, Lapin ja Vaasan yliopiston sekä Svenska Handelshögskolanin ja Åbo Akademin vastaavat luvut ovat reilusti alle 100% eli tohtorikoulutuksen paikkoja on saatu vähemmän suhteessa vuosien 2020–2022 keskimääräiseen liikevaihtoon, valtionrahoitukseen ja tohtorintutkintoihin. Myös Helsingin yliopiston osuus on liikevaihtoon ja tohtorikoulutukseen nähden alle nykyisen volyymin.

Yliopistoissa on vuonna 2024 kirjoilla 9125 jatko-opiskelijaa (*Vipunen*). Eniten tohtoriopiskelijoita on kirjoilla Helsingin yliopistossa 2341 (25,6%), Tampereen yliopistossa 1251 (13,8%), Aalto-yliopistossa 1221 (13,4%), Turun yliopistossa 984 (10,8%), Itä-Suomen yliopistossa 702 (9,4%) ja Jyväskylän yliopistossa 702 (7,7%). Alle 500 tohtoriopiskelijan ryhmän muodostavat Åbo Akademi 348 (3,8%), LUT-yliopisto 255 (2,8%), Lapin yliopisto 225 (2,4%), Taideyliopisto 102 (1,1%) ja Svenska Handelshögskolan 51 (0,6%). Jatko-opiskelijoita tulee olemaan yli 10 000 vuoden 2024 aikana. Lisäksi osa jatko-opiskelijoista ei ole kirjautunut, koska opinnot ovat passiivivaiheessa.

Pilottihankkeessa yliopistojen tavoitteena on tehdä yhteistyötä tohtorikoulutuksen kehittämiseksi ja käytäntöjen uudistamiseksi. Pilotilla tavoitellaan myös tohtorikoulutettujen liikkuvuuden lisäämistä yliopistojen, yritysten, tutkimuslaitosten ja muiden organisaatioiden välillä. Tavoitteena on myös ohjauksen kehittäminen ja tohtoreiden työllisty-

Taulukko 3. Yliopistojen lisäkoulutuspaikkojen määrän suhde toiminnan volyymiin

Yliopisto	Liikevaihto 2020–2022	Valtionrahoitus 2020–2022	Tohtorintutkinnot 2020–2022
Aalto-yliopisto	139,8%	138,5%	153,5%
Helsingin yliopisto	94,5%	100,0%	83,3%
Itä-Suomen yliopisto	78,7%	78,9%	75,8%
Jyväskylän yliopisto	111,4%	101,7%	101,2%
Lapin yliopisto	51,6%	48,8%	71,5%
LUT-yliopisto	122,5%	141,5%	130,5%
Oulun yliopisto	105,5%	108,6%	104,8%
Svenska Handelshögskolan	34,1%	27,0%	42,3%
Taideyliopisto	0,0%	0,0%	0,0%
Tampereen yliopisto	89,3%	93,4%	93,8%
Turun yliopisto	136,5%	136,2%	126,3%
Vaasan yliopisto	40,7%	34,8%	53,8%
Åbo Akademi	72,1%	77,5%	78,5%

misen edistäminen yhteiskunnan eri sektoreille.

Tohtorikoulutuspilotti on osa tutkimus- ja kehittämisrahoituksen lisäystä, jolla tavoitellaan T&K-toiminnan rahoituksen nostamista neljään prosenttiin bruttokansantuotteesta vuoteen 2030 mennessä.

Pilotti lisää tohtorikoulutettavien määrää yliopistoissa tämänhetkisen tohtorikoulutuksen päälle. *Pilottihanke* siis täydentää nykyistä tohtorikoulutuksen rahoitusta. Se koostuu tohtoritutkinnoista saadusta tuloksellisuusrahoituksesta (*noin 100 000 €/tutkinto kun lasketaan mukaan väitöskirjoihin sisältyvien julkaisujen tuoma tuloksellisuusraha*) sekä eri tutkimushankkeiden rahoituksesta sekä säätiöiden rahoituksesta, joka on hyvin merkittävä. Jos lähivuosina valmistuu vuosittain 2 000–2 500 tohtoria, OKM:n tuloksellisuusraha yliopistoille on 200–250 M€/vuosi.

Tohtoripilotin työryhmän loppuraportti löytyy sivulta:

<https://unifi.fi/tutkijakoulutus-suositukset/> ja siellä olevat raportit (*suomi, english*).

Ministeri Sari Multala toteaa OKM:n tiedotteessa:

Emme kouluta tohtoreita vain yliopistojen palvelukseen. Tavoitteena on, että yhä useampi tohtori työskentelee jatkossa myös yksityisellä sektorilla, yrityksissä. Muualla Euroopassa tohtoreiden osaaamista hyödynnetään Suomea laajemmin. Olemme takamatkalla ja hukkaamme potentiaalia. (1/)

1. Yliopistoille lisärahoitus tuhannen uuden tohtorin kouluttamiseen. Opetus- ja kulttuuriministeriön tiedote, 2024. <https://okm.fi/-/yliopistoille-lisarahoitus-tuhannen-uuden-tohtorin-kouluttamiseen>

6 TUTKIJAKOULUTUKSEN KEHITTÄMINEN

Käsittelen tässä luvussa seuraavia aiheita: kansalliset linjaukset rahoituksesta ja koulutustarpeista, tohtoreiden työllistyminen, tutkimustiedon hyödyntämisen nopeuttaminen, tutkijakoulutuksen kehittäminen, kolmen vuoden aikatavoitteen ongelmat, maakunnalliset tutkijakoulutustarpeet ja kansainvälinen yhteistyö tutkijakoulutuksessa. Tämä luku pohjautuu lähteeseen /1/.

Tiedekunnan tutkimuksessa korostuu perinteisen teknisen tietoturvan lisäksi laaja näkökulma yhteiskunnan kyberturvallisuuteen, kyberuhkien torjuntaan ja kyberpuolustukseen. Informaatioteknologiasta on tullut yhteiskunnan kaikkiin toimintoihin ja rakenteisiin ulottuva erottamaton osa, jonka vuoksi kyberturvallisuuden tutkimuksella on vahva yhteiskunnallinen tehtävä, jossa korostuvat institutionaalinen ja strateginen näkökulma.

Kyberturvallisuuden alalla Jyväskylän yliopisto on noussut Suomen kärkiyliopistoksi sekä tutkimuksen että koulutuksen osalta. Jyväskylän yliopiston monitieteisyys ja Suomen monipuolisin IT-tiedekunta ovat antaneet erinomaiset mahdollisuudet ratkaista keskeisiä digitalisoituneen yhteiskunnan ongelmia. IT-tiedekunnan osaaminen ja uudet koulutus- ja tutkimusavaukset ovat olleet keskeinen tekijä, kun tiedekunta on valittu useiden kansallisten tutkimusohjelmien johtovastuuseen.

Kyberturvallisuuden tutkimuksella tavoitellaan merkittävien yhteiskunnallisten ongelmien (esim. *digitalisoituvaa koulua, kyberturvalliset julkiset palvelut ja SOTE-palvelut, globaalien e-kaupan vaikutus yhteiskuntaan, yksityisyyden suojaaminen ja vahvistaminen*) ratkaisemista monitieteisissä ryhmissä, joissa sovelletaan monitieteisiä metodeja systemaattisesti.

Kyberturvallisuuden tutkimus tukee yliopiston tavoitteita kehittää yliopiston kansainvälistä vetovoimaa ja strategisia kumppanuuksia luomalla kyberturvallisuuden ekosysteemi alan huippuyliopistojen ja -yritysten kanssa sekä avaamalla uusia vilkkaita ja kestäviä kumppanuuksia Euroopan, Aasian ja Pohjois-Amerikan laadukkaimpien yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa.

6.1 Kansallisia linjauksia rahoituksesta ja koulutustarpeista

TKI-rahoituslain mukainen rahoitustason nousu edellyttää T&K-työtä tekevän henkilöstön merkittävää lisäystä. Nykyiseen kulurakenteeseen perustuvan arvion mukaan vuosittainen lisätarve olisi lähes 9 000 henkilöä (/13/).

Korkeimmin koulutettuja ammattilaisia ei ole tarpeisiin nähden riittävästi. Tästä syystä valtionrahoitusta yliopistoille lisätään ja T&K-toiminnan tukemiseksi korvamerkitään rahoitusta osaajien määrän nostamiseen mukaan lukien tutkijakoulutus. Suunnitelmassa /13/ korostetaan soveltavan tutkimuksen merkitystä. Soveltava tutkimus tukee laadukkaasti perustutkimuksen tuottaman uuden osaamisen hyödyntämistä laaja-alaisesti yrityksissä. Tavoitteena on kohdentaa rahoitusta yhteiskunnallisten haasteiden ratkaisemiseen (esim. *vihreä siirtymä, digitalisaatio*) sekä murrosteknologioiden kehittämiseen.

Kansallisen strategian mukaisesti valtionrahoitusta yliopistoille lisätään ja osa rahoituksesta kohdennetaan työelämän tarpeen mukaisesti tutkijakoulutettujen osaajien määrän nostamiseen samalla ylläpitäen tutkijakoulutuksen korkeaa laatua. Rahoitusta ammattikorkeakouluille lisätään ja korvamerkitään jatkuvan oppimisen hankkeisiin ja T&K-toiminnan kehittämiseen. Myös rahoitusta Suomen Akatemialle ja Business Finlandille lisätään.

Valtioneuvoston suunnitelmassa /13/ on esitetty TK-henkilöstön määrällisten tavoitteiden lisäksi myös sisällöllisiä tavoitteita:

- Tutkijoiksi kouluttautuvilla täytyy olla selkeä näkökulma urapolusta.
- Tutkijakoulutukseen on kehitettävä joustavia ratkaisuja, jotka mahdollistavat tohtorin tutkinnon suorittamisen keskimäärin nykyistä selvästi lyhyemmässä ajassa.
- Tutkijakoulutuksen sisältöjä on muokattava huomioimaan akateemista ympäristöä laajemmat työelämän tarjoamat tutkijatarvelähtöistä tutkijakoulutusta ja tutkimusta

Julkisen ja yksityisen sektorin kulurakenteen erilaisuuden takia T&K-rahoitustason nousun edellyttämästä vuosittaisesta 9 000 T&K-työtä tekevän lisäyksestä laskennallisesti lähes 5 000 sijoittuisi yksityiselle sektorille (*T&K-menotavoite 2/3*) ja runsaat 4 000 sijoittuisi julkiselle sektorille (*T&K-menotavoite 1/3*). Tohtoreiden osuutta T&K-henkilöstöstä on nostettava. Tavoite on lisätä tohtoreiden osuutta T&K-henkilöstöstä nykyisestä 20 prosentista 22 prosenttiin.

6.2 Tohtoreiden määrät ja työllistyminen

Vuosittain valmistuneiden tohtoreiden määrä kasvoi tasaisesti vuoteen 2016 saakka, jonka jälkeen suunta on ollut laskeva (*taulukko 4, Tilastokeskus 2023 (112/)*). Vuosi valmistumisen jälkeen noin 5% valmistuneista tohtoreista on työttömänä. Osa valmistuneista on muuttanut ulkomaille (*114/*). Väitteleiden työttömyystilanne aloittain vuonna 2021 on esitetty *taulukossa 5. (s. 48)*.

Vuosina 2022 ja 2023 työttömien tohtoreiden määrä on pysynyt samassa tasolla eli tohtoreiden työttömyysaste on alle 2%:n tasolla (*114/*). Työttömyys tosin vaihtelee eri koulutustasoilla, kuten *taulukosta 5 (s. 49)* ilmenee. Osa tutkijakoulutuksen saaneista ei ole koulutustaan vastaavissa tehtävissä. Osaamispotentiaali ei ole 100-prosenttisesti yhteiskunnan käytössä. Eniten yksityiselle sektorille työllistytään tekniikan alan tohtorikoulutuksella ja vähiten kasvatusalan tohtorikoulutuksella (*114/*).

Eri innovaatiostrategioissa on puhuttu tutkimustiedon ja tutkijakoulutuksen saaneiden siirtymisestä yritysmaailmaan. Työelämään siirtymiseen on kuitenkin kiinnitetty vähän huomiota ja osaamispotentiaalista vain osa hyödynnetään. Yhteiskunnassa ei ole ymmärretty tutkijakoulutuksen merkitystä. Tohtorintutkinnon suorittaneita pidetään valitettavan usein liian teoreettisina ja korkeamman koulutuksen arvoa vähätellään (*19/*).

Vaikka vuosittain investoimme huomattavia summia tohtorikoulutukseen, Suomessa

Taulukko 4. Opiskelijamäärät ja tutkinnot 2001–2022 (/12/)

Vuosi	Yliopisto-opiskelijoita	Tutkintoja yhteensä	Tohtorin tutkintoja	%-osuus tutkinnoista
2001	162 939	16 822	1206	7,2%
2002	164 312	17 708	1223	6,9%
2003	169 846	18 197	1257	6,9%
2004	173 974	18 293	1399	7,6%
2005	176 061	19 176	1422	7,4%
2006	176 555	19 410	1409	7,3%
2007	176 304	22 310	1526	6,8%
2008	164 068	38 211	1526	4,0%
2009	168 475	23 831	1642	6,9%
2010	169 404	29 118	1520	5,2%
2011	168 983	28 482	1653	5,8%
2012	169 041	29 357	1655	5,6%
2013	167 179	30 322	1730	5,7%
2014	163 759	31 164	1869	6,0%
2015	157 436	32 773	1884	5,7%
2016	154 736	31 881	1890	5,9%
2017	153 262	31 014	1753	5,7%
2018	153 429	30 773	1794	5,8%
2019	153 767	31 707	1720	5,4%
2020	156 577	35 818	1843	5,1%
2021	159 545	31 320	1613	5,2%
2022	163 681	30 801	1625	5,3%

tohtorit ovat vain pienessä roolissa yksityissektorin tutkimus- ja kehityshankkeissa. Tohtorien osuus yksityissektorien T&K-hankkeissa on viime vuosina kasvanut, mutta siitä huolimatta vain noin 7% yksityissektorin perustutkimuksen ja 17% soveltavan tutkimuksen henkilöstöstä on tohtoreita. Tohtoreita on siis yritysten tutkimus- ja kehitystöissä Suomessa lopulta hyvin vähän. Naapurimaissamme tilanne on sen sijaan toinen. Esimerkiksi Ruotsissa lähes 20% tohtorikoulutettavista on yksityissektorilla töissä ja saa rahoituksen tohtoriopintoihinsa yrityksestä. Tällaisissa tapauksissa tohtorikoulutettavat ovat yrityksessä töissä ja tekevät samaan aikaan tohtoriopintoja yliopistossa. Tämän takia Ruotsissa lähes 90% tekniikan ja teknologian alan väitelleistä tohtoreista on työmarkkinoilla.

Yrityksissä työskentelevistä tohtoreista merkittävä osa on lääkärikoulutuksen saaneita henkilöitä, jotka työskentelevät yksityisillä lääkäriasemilla. Tämä alentaa entisestään varsinaisessa tutkimus- ja kehitystehtävissä työskentelevien tohtoreiden osuutta. Yrityksissä, joissa ei palkata tutkimuksen ammattilaisia, ei ymmärretä, että tutkimusosaaminen luo

Taulukko 5. Väitelleiden työttömyystilanne aloittain vuonna 2021 (I/27I)

Koulutusala	Työttömiä
Biologia ja biotieteet	101
Fysikaaliset tieteet, kemia ja geotieteet	97
Humanistiset alat (paitsi kielet)	142
Kasvatusalat	17
Kauppa	65
Kielet	21
Luonnontieteet	52
Maa- ja metsätalous	36
Matematiikka ja tilastotiede	26
Oikeustieteet	5
Taidealat	17
Tekniikka	135
Terveys- ja sosiaaliset alat	73
Tietojenkäsittely ja tietoliikenne (ICT)	17
Yhteiskuntatieteet	99
Muut koulutusalat	38
Yhteensä	941

perustan kyvylle ottaa vastaan uutta tietoa ja vastata yrityksen tarpeista nouseviin tutkimuskysymyksiin.

Yrityksiin sijoittavien olisi hyvä tietää, millaista osaamispääomaa ja uuden tiedon tuottamis- ja analysointipotentialia on yrityksissä ja niiden johdossa. Ulkomailla tähän kiinnitetään paljon suurempaa huomiota.

Business Finland on merkittävä yritysten tutkimus- ja kehitystoiminnan rahoittaja. Sillä voisi olla nykyistä aktiivisempi rooli tutkimustiedon siirtämisessä yrityksiin. Menetely voisi olla seuraava: yritysten Business Finlandilta saaman tuen kriteereihin lisätään kannustimeksi, että palkattavat henkilöt ovat saaneet tutkijakoulutuksen. Erityisesti kannustetaan ulkomaalaisten Suomessa koulutettujen rekrytoimista hankkeisiin, jotta osaaminen säilyy Suomessa. Lisäksi uusissa tutkijakoulutusohjelmissä pitäisi ottaa tavoitteeksi rotaatio yritysten ja yliopistojen välillä esimerkiksi 3–6 kuukauden jaksoina.

Työttömyyden lisäksi osa tutkijakoulutettavista on työtehtävissä, jotka eivät vastaa korkeaa koulutustasoa. Meillä tutkijakouluttajilla pitäisi olla myös vastuu siitä, että tutkijakoulutus on yhteiskunnan osaamistarpeet huomioivaa ja että autamme valmistuneita oppilaitamme työuralla. Yliopistoilla ja Opetus- ja kulttuuriministeriöllä tutkijakoulutuksen rahoittajina on myös vastuu suunnata panostukset osaamistarpeiden mukaan. Aihetta on käsitelty lähteissä /2–7/.

6.3 Tutkimustiedon hyödyntämistä nopeutettava

Tieteessä tuttu sanonta on "*julkaise tai kuole*". Maailmassa julkaistaan tiedon uutuusarvoon nähden liikaa. Tiedeyhteisön kannustimet tukevat tätä niin Suomessa kuin kaikkialla tiedemaailmassa. Maailmassa on noin 300 000 yliopistoa. Intiassa on yli 5 300 yliopistoa, Indonesiassa yli 3 200, USA:ssa yli 3 100, Kiinassa n. 2 500, Brasiliassa n. 1 200, Meksikossa n. 1 100, Venäjällä n. 1 000 ja Japanissa n. 990

(<https://www.statista.com/statistics/918403/number-of-universities-worldwide-by-country/>). Ilman tekoälypohjaisia tiedonhakupohjaisia järjestelmiä on mahdotonta löytää, mitä uutta tietoa on julkaistu.

Tieteellisiä lehtiä on Tieteellisten seurain valtuuskunnan (*TSV*) arvion mukaan jopa 70 000. Suomen kansallisessa julkaisufoorumissa (*JuFo*) on tasoilla 1–3 yhteensä yli 24 000 julkaisusarjaa, joista valtaosa on lehtiä. Kirjakustantajia on tasoilla 1–3 vajaa 1 400. Vaikka OKM:n rahallinen korvaus julkaisusta on pieni osa julkaisun tekemisen kuluista, *JuFo*-pisteet ohjaavat tutkijoiden toimintaa. Samalla tavalla tieteellisten lehtien viittausindeksit ohjaavat tutkijoiden toimintaa. Meritoitumisen mittareina keskeisiä ovat *JuFo*-pisteet ja artikkeleiden saamat viittaukset (*sitaatti-indeksit*). Yliopistojen arvioinnissa mm. Hollannissa on siirrytty käyttämään kriteerinä tutkimuksen vaikuttavuutta.

Julkaisujen merkittävyttä määritettäessä tulisi välillä arvioida, kuinka tuloksia voidaan hyödyntää käytännön tasolla julkisella ja yksityisellä sektorilla. Yliopistot ovat kehittäneet avoimen tiedon julkaisujärjestelmiä, joissa tutkimusartikkeli julkaistaan jo siinä vaiheessa, kun sitä tarjotaan tieteelliseen lehteen. Nykyään liian usein tutkimustuloksista kerrotaan vasta, kun ne on julkaistu tieteellisissä lehdissä 1–3 vuoden viiveellä. Kansallisella tasolla tapahtuvalle tutkimustuloksista tiedottamiselle ja niiden hyödyntämiselle tulisi olla omat kannustimensa.

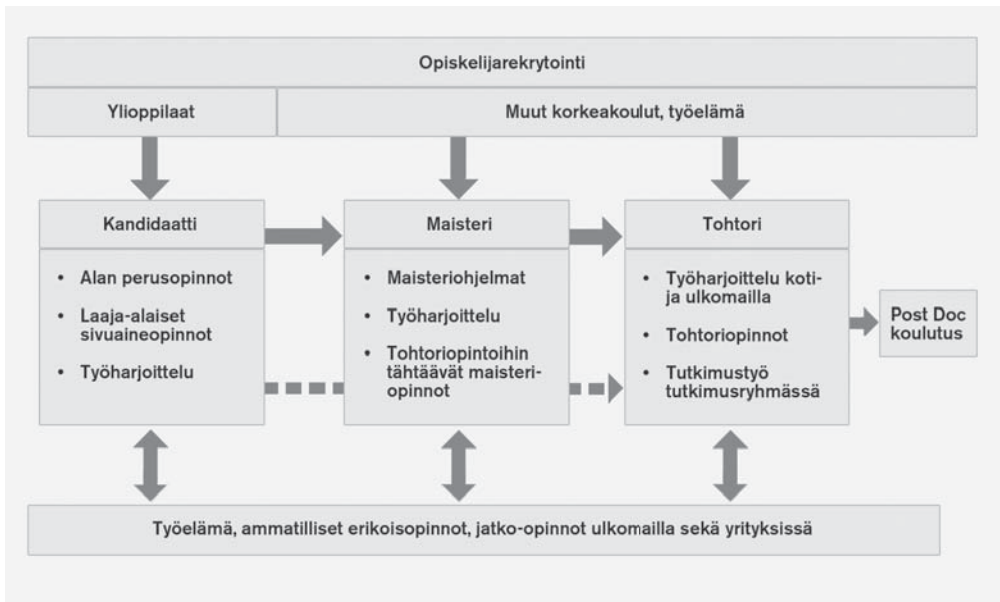
Idean keksimisestä sen julkaisemiseen kuluu aikaa tyypillisesti 1–5 vuotta. Nopeasti uudistuvilla aloilla tutkimustulokset saattavat olla vanhentuneita jo ennen kuin ne julkaistaan. Osa tutkijoista julkaisee tuloksensa omilla *www*-sivuillaan tai yksikkönsä *archive*-sivulla välittömästi, kun tulokset on saatu kirjoitettua artikkelimuotoon.

Suurten kielialueiden maissa (*mm. Iso-Britannia, USA, Venäjä, Kiina, Espanja, Saksa, Ranska*) tutkimustiedon välittäminen on helpompaa kuin pienten kielialueiden tiedemaissa. Suomessa ei ole kansalliseen kieleen pohjautuvaa tiedekanavaa. Yksi mahdollisuus voisi olla tekoälypohjainen tekstianalytiikkaan pohjautuva järjestelmä. Se auttaisi yliopistoja sekä yliopistojen ulkopuolisia tahoja paremmin löytämään uusia tutkimustuloksia. Aihetta on käsitelty lähteessä /4/.

6.4 Tutkijakoulutuksen kehittäminen

Seuraavassa on muutamia ehdotuksia, kuinka tutkijakoulutusta tulisi kehittää. Omien kokemusteni pohjalta näistä toimenpiteistä on ollut hyötyä:

1. Tohtorikoulutukseen suuntaudutaan jo perusopintojen aikana. Mahdollisuus jatko-opintoihin tuodaan esille jo ensimmäisenä opintovuonna. Tieteellisissä kilpailuissa (*koululaisten olympialaiset, kansalliset kilpailut*) ja luonnontieteisiin painottuneissa lukioissa menestyneille sekä muita erityismeriittejä saavuttaneille opiskelijoille tarjotaan mahdollisuutta väitöskirjaan tähtävään opintosuunnitelmaan jo ensimmäisenä opiskeluvuotena. Tiedelukioita tai tiedelinjoja lukioihin tulisi lisätä merkittävästi.
2. Eri vuosikurssien hyvin menestyneitä opiskelijoita otetaan kesäharjoittelijoiksi ja osa-aikaisiksi apulaisiksi tutkimusryhmiin. Tavoitteena on kirjoittaa ensimmäiset tieteelliset raportit jo kandidaattiopintojen yhteydessä.
3. Lahjakkaille opiskelijoille laaditaan henkilökohtainen opintosuunnitelma, joka tähtää alempaan tutkintoon kahdessa ja ylempään tutkintoon yhdessä vuodessa. Tavoitteeksi asetetaan niin laadukas kandi- ja maisterityö, että siitä voidaan tehdä julkaisu tieteellisiin julkaisusarjoihin.
4. Kannustetaan opiskelijoita suorittamaan osa opinnoistaan kansallisesta ja kansainvälisestä opintotarjonnasta.
5. Kampuksella vierailevat ulkomaalaiset tutkijat pitävät esitelmiä ja keskustelevat opiskelijoiden kanssa. Ulkomaalaisten huippuyliopistojen tapaan parhaiten tutkimustyössään edenneet professorit pitävät kursseja myös kandivaiheen opiskelijoille.
6. Kampuksella järjestetään kansainvälisiä kesä- ja talvikouluja sekä konferensseja.
7. Opiskelija voi valita opintopolun kuvan 12 eri vaihtoehdoista. Esivalinta tohtoriohjelmaan on jo kandivaiheessa tai maisteriopintojen yhteydessä.
8. Ohjaajia on kolme, joista yksi on toisesta yliopistosta tai yrityksestä.
9. Urasuunnittelu ja perehdyttäminen työelämään otetaan osaksi tutkijakoulutusta.
10. Post doc -jakso on keskeinen osa tutkijakoulutusta.



Kuva 12. Tutkijakoulutuksen eri kanavat.

Ennen nykyistä tutkintoasetusta oli mahdollisuus hakeutua jatko-opiskelijaksi jo kandidaiheessa. Uusissa tohtoriohjelmissa *kuvan 12* malli voidaan ottaa käyttöön antamalla opiskelijoille ehdollinen jatko-opinto-oikeus. Se sisältäisi yksilölliset maisteri- ja jatko-opinnot. Gradu olisi vaativa ja tähtäisi tieteellisiin julkaisuihin. Opiskelija työskentelisi osa-aikaisesti tutkimusprojekteissa sekä talvi- että kesäaikaan. Opiskelua olisi 11 kk/vuosi. Teoreettisilla aloilla perustutkinto suoritettaisiin 2–3 vuodessa, väitöskirja 2–3 vuodessa.

Jatko-opiskelijalle tehdään taustaosaamisen ja tavoitteiden mukainen suunnitelma. Jatko-opiskelijat jakaantuvat kahteen ryhmään: päätoimiset yliopistolla työskentelevät ja työelämässä osa-aikaisesti väitöskirjaa tekevät jatko-opiskelijat.

Tohtorikoulutettujen liikkuvuutta yliopistojen, yritysten, tutkimuslaitosten ja muiden organisaatioiden välillä tulisi lisätä ja kannustaa vastavalmistuneita tohtoreita monipuoliselle tutkijauralle.

Opintoihin sisällytettäisiin jo perusopinnot aikana vierailuja ja opiskelua toisessa yliopistossa kotimaassa ja ulkomailla, samoin harjoittelu yrityksessä. Vastaavasti yrityksessä töissä olevat potentiaaliset jatko-opiskelijat työskentelisivät yliopistoissa osa-aikaisesti.

6.5 Jatko-opintojen haaste

Luvussa 5 esitellyssä OPMn pilottihankkeessa asetetaan tavoitteeksi tohtoritutkinnon suorittamiselle kolme vuotta. Kokemukseni perusteella tohtoritutkinnon suorittaminen kolmessa vuodessa ei onnistu ilman merkittävää vaatimustason laskua. Vain alle 20% ohjaamistani väitelleistä on pystynyt tähän. Aikatavoitteeseen päästään, jos merkittävä osa jatko-opinnoista tehdään jo perusopinnot aikana ja väitöskirjojen aiheet ovat nykyistä rajoitetumpia ja vaatimustasoa lasketaan. Kolme vuotta on ongelma erityisesti ns. nippuväitöskirjojen osalta koska artikkeleiden arviointi korkeatasoisissa tieteellisissä lehdissä ja kirjoissa sekä julkaisuprosessi vievät useita kuukausia jopa vuosia. Kokeellisilla aloilla kolmen vuoden aikatavoite on erityisen ongelmallinen.

Väitöskirjan rakenteet ovat: nippuväitöskirja, monografia tai ns. hybridiväitöskirja. Aiheetta on käsitelty lähteessä /1/. Urani alkuaikoina kaikki väitöskirjat olivat monografioita. Viime vuosina suurin osa väitöskirjoista on ollut nippuväitöskirjoja tai hybridityyppisiä, joissa on julkaisuja mutta osa uusista tuloksista on sisällytetty nippuväitöskirjan alkuosaan ja tuloksista tehdään soveltuvin osin jälkikäteen artikkeli. Tämä on usein välttämätöntä koska kolmessa vuodessa ei ehdi saamaan kaikki tuloksia julkaistua tieteellisissä lehdissä.

Nippuväitöskirjassa viivästystekijä on julkaisuprosessien (*artikkelien arviointi, julkaiseminen*) hitaus ainakin korkeatasoisissa lehdissä. Kokeellisissa tieteissä kolmen vuoden väitöskirjan valmistumistavoite on hyvin hankala saavuttaa. Käytännössä kolme vuotta on liian lyhyt aika. Joudutaan joko kokonaan tai ainakin osittain käyttämään vanhaa dataa. Tämä laskee väitöskirjan uutuusarvoa merkittävästi.

Kolme vuotta voi olla liian lyhyt aika myös ulkomaalaisille jatko-opiskelijoille mikäli jatko-opinnot ja väitöskirja ovat uudelta alalta. Kaksoistohtoritutkinto harjoitteluineen Suomessa voisi olla hyvä vaihtoehto.

Yhtenä keskeisenä tekijänä tutkijakoulutuksessa ovat monipuoliset metodiopinnot (/15–

18/). Kolmen vuoden aikarajoite on ongelmallinen niiden osalta, ellei näitä opintoja ole suoritettu jo peruskoulutusvaiheessa.

6.6 OKM:n tavoitteet tutkijakoulutuksessa

Seuraavassa on yhteenveto siitä, miten OKM:n asettamat tavoitteet saavutetaan. (/1/)

Tavoite 1.

Tuottaa tietoa tohtorikoulutuksen prosesseista sekä kerätä tietoa kolmannen syklin tutkintoaikojen mahdollisesta sääntelytarpeesta.

Tutkijakoulussa on useita eri väyliä:

1. Vaativimmat perusopinnot ns. tutkijalinjalla.
2. Työelämässä oleville mahdollisuus jatko-opintoihin.
3. Urasuunnittelu ja työelämään perehdyttäminen osa tutkijakoulutusta.
4. Hakeutuminen jatko-opiskelijaksi on joustava: kandi tai maisteritutkinnon jälkeen, osana työuraa, täydentävien opintojen jälkeen ammattikorkeakoulusta sekä ulkomaalaisista yliopistoista.

Kerätään esimerkiksi 10 vuoden ajalta tietoa tohtorinkoulutusprosesseista ja hyödynnetään parhaita käytäntöjä jo pilottivaiheessa. Myös joustavuus on ollut tärkeää. Jatko-opiskelijaksi pitäisi voida siirtyä milloin tahansa (*ei vain kaksi kertaa vuodessa*).

Tavoite 2.

Kehittää ohjauksen käytänteitä sekä tieteellisen ja taiteellisen jatkotutkinnon suorittamisen integroitumista aiempiin opintoihin (*mm. mahdollisuus suorittaa maisterintutkinto väitöskirjatutkimuksen aikana*).

Seuraavat käytännöt olisivat kokemukseni pohjalta toimivia

1. Vanha hyvin toiminut *kuvan 12 (alaluku 6.4)* joustava toimintamalli uudelleen käyttöön.
2. Tutkijakoulutukseen valmistavat maisteriopinnot ja opinnäytetyötyö sisältävät osan jatko-opinnoista ja väitöskirjan sisällöstä.
3. Opiskelijoilla on joustava mahdollisuus valita väitöskirjansa profiili osana urasuunnitelmaa.
4. Opiskelijoille järjestetään mahdollisuus työskennellä yritysten ja julkisten organisaatioiden kehittämis- ja tutkimusprojekteissa sekä ulkomaisissa yliopistoissa.
5. Osa tutkinnoista on kaksoistohtoritutkintoja yhteistyössä ulkomaisen yliopiston kanssa.
6. Erityinen huomio kiinnitetään väitelleiden työllistymiseen.
7. Tehdään yritysten ja julkisten organisaatioiden kanssa sopimuksia yhteistyöstä.

Tavoite 3.

Lisätä tohtoreiden työllistymistä laajasti yhteiskunnan eri sektoreille.

Toimenpiteet ovat:

- Huomioidaan tohtoreiden tarpeet ja vaadittavat osaamisprofiilit julkisella ja yksityisellä sektorilla ja suunnataan väitöskirjojen aiheet koulutustarpeiden mukaisesti.
- Pyritään työllistämään valmistuneet koulutustaan vastaavaan tehtävään kahden vuoden sisällä, mikä on yksi tuloksellisuuskriteeri.

Muita toimenpiteitä ovat:

- Julkisiin korkeatasoisiin valtion virkoihin tulisi palauttaa vaatimus tohtoritutkinnosta.
- Myös kunnallisella tasolla tohtoritutkinnon tulisi olla meriitti eikä haitta. Yrity maailmassa Suomessa ei tohtorin tutkintoa arvosteta samalla tavalla kuin maailman johtavissa teollisuusmaissa. Yliopistoilla on oma analysoinnin paikka tutkijakoulutuksen sisällöllisessä suuntaamisessa vastaamaan työelämän tulevia tarpeita.
- Eri innovaatiostrategioissa on puhuttu tutkimustiedon ja tutkijakoulutuksen saaneiden siirtymisestä yrity maailmaan. Työelämään siirtymiseen pitäisi kiinnittää huomiota Nykyisin tutkijakoulutettujen osaamispotentiaalista vain osa hyödynnetään.
- Julkisella rahoituksella tehtävissä tutkimushankkeissa tulisi palkata tutkijakoulutuksen saaneita henkilöitä. Rahoituksen saamisessa tämä olisi yksi kriteereistä.
- Sekä yksityinen että julkinen sektori ostaa sadoilla miljoonilla konsultointipalveluita. Konsulteilta tulisi edellyttää kunnan koulutusta ja erityisesti tutkimuksellisissa tehtävissä tohtorin tutkintoa.

Säätiöt ovat hyvin merkittäviä tutkimuksen tukijoita. Säätiöt, yritykset, yliopistot sekä Business-Finland voisivat rakentaa yhteisiä tutkija- ja post doc -koulutushankkeita, joissa vastattaisiin yhteen keskeisimmistä tavoitteista ottaa huomioon työelämän asettamat akateemista ympäristöä laajemmat tutkijakoulutuksen ja tutkimuksen tarpeet. Useissa maissa, mm. Saksassa ja Ruotsissa, työelämän tarpeet huomioidaan Suomen käytäntöjä systemaattisemmin ja tehokkaammin.

Tutkijakoulutuksen kehittämistä on käsitelty useilla foorumeilla (/8/), (/19–31/).

6.7 Tutkijakoulutuksen tarpeet maakunnittain ja aloittain

Arvioitaessa koulutustarpeita eri maakunnissa yksi kriteeri on maakunnan T&K-panostuksen suhteessa bruttokansantuotteeseen (*taulukko 6. /6,11/*). Taulukosta havaitaan, että Pohjos-Pohjanmaalla kansallinen 4%:n tavoite on ylitetty, sillä maakunnan T&K-panostukset ovat vaihdelleet välillä 5.0–5.2%. Pirkanmaan T&K-kasvu on ollut tasaista ja kansallinen 4%:n tavoite saavutettiin vuonna 2021. T&K-panostuksissa hyvää vauhtia kansallista 4%:n tavoitetta lähestyy myös Uusimaa: 3.7% vuonna 2020 ja 3.8% vuonna 2021. Pohjanmaan T&K-luvut ovat vaihdelleet 3.0 ja 3.6 välillä. Seuraavan 2–3%:n ryhmän muodostavat Keski-Suomi, Etelä-Karjala, Varsinais-Suomi, Pohjois-Savo ja Pohjois-Karjala. Muissa maakunnissa T&K-panostukset jäivät selvästi alle kahden prosentin tasolle.

Taulukko 6. T&K-panostukset suhteessa BKT:een maakunnittain vuosina 2017–2021 (16,11)

TK panostukset suhteessa BKT:n prosentteina					
	2017	2018	2019	2020	2021
KOKO MAA	2,73%	2,76%	2,80%	2,91%	2,97%
Uusimaa	3,47%	3,47%	3,50%	3,66%	3,76%
Varsinais-Suomi	2,44%	2,47%	2,45%	2,49%	2,56%
Satakunta	0,94%	1,08%	1,16%	1,03%	0,91%
Kanta-Häme	1,05%	1,12%	1,10%	1,20%	1,18%
Pirkanmaa	3,44%	3,50%	3,55%	3,66%	3,99%
Päijät-Häme	1,18%	1,15%	1,25%	1,35%	1,37%
Kymenlaakso	0,44%	0,42%	0,60%	0,42%	0,50%
Etelä-Karjala	2,21%	2,26%	2,48%	3,01%	2,56%
Etelä-Savo	0,88%	0,92%	0,84%	0,93%	0,89%
Pohjois-Savo	1,81%	2,08%	2,14%	2,21%	2,29%
Pohjois-Karjala	1,87%	1,78%	1,97%	2,07%	2,03%
Keski-Suomi	2,42%	2,49%	2,55%	2,98%	2,70%
Etelä-Pohjanmaa	0,74%	0,73%	0,63%	0,62%	0,70%
Pohjanmaa	3,21%	3,31%	3,58%	3,39%	2,98%
Keski-Pohjanmaa	0,86%	0,87%	0,87%	0,84%	1,06%
Pohjois-Pohjanmaa	5,18%	5,10%	4,93%	5,12%	5,19%
Kainuu	0,91%	1,24%	1,13%	1,11%	0,97%
Lappi	1,02%	0,97%	0,90%	0,91%	0,96%

Toinen tutkijakoulutuksen arviointikriteeri on yritysten T&K-henkilöstön osaamistarpeet. Tutkimus- ja tuotekehitystehtävissä työskenteli vuonna 2021 kaikkiaan 87 000 henkilöä, joista yrityksissä 52,8% (46 000) ja korkeakouluissa tai muulla julkisella sektorilla 47,2% (41 000). Vuonna 2022 yrityksissä toimivien määrä on hieman laskenut 44 000 henkilöön ja julkisella sektorilla noussut 43 000 henkilöön (1/13).

T&K-henkilöstöstä tohtorin tutkinto oli 17 400 henkilöllä (20%). Yritysten T&K-henkilöstöstä vain 7%:lla (3 100) oli tohtorin tutkinto, muu yliopistotutkinto oli lähes puolella T&K-henkilöistä ja ammattikorkeakoulututkinnon suorittaneita oli 31%.

Yritysten T&K-menoista 78% oli luonteeltaan kehittämistoimintaa. Soveltavan tutkimuksen osuus menoista oli 17% ja perustutkimuksen 5%. Soveltavan ja perustutkimuksen tehtävissä on noin 10 000 henkilöä. Noin 3 100 tohtorin määrä yrityksissä on tähän nähden vähäinen.

Kolme toimialaa (elektroniikka, tietokoneet ja sähkölaitteet, informaatio ja viestintä sekä muut koneet ja laitteet) kattavat 60% yritysten T&K-menoista. Kemian teollisuus ja lääkkeet, tukkukauppa ja agentuuritoiminta, rakentaminen, arkkitehtuuri yms. palvelut sekä kulkuneuvot kattavat noin 40% (1/9,10/).

Tämä pitää huomioida koulutuksen suuntaamisessa. Yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa opiskeli tekniikan aloilla (*ICT ja muut tekniikan alat*) vuonna 2021 yhteensä 95 373 opiskelijaa (yliopistoissa 41 703 ja ammattikorkeakouluissa 52 671). Tutkintoja suoritettiin vuonna 2021 yhteensä 14 358 (yliopistoissa 6891 ja ammattikorkeakouluissa 7 487) (9,10/).

Ongelmana on se, että nykyinen 1 600–1 800 tohtoritutkintojen volyymi ei riitä arvioituun 2 000 tohtoritutkinnon suorittaneen T&K-henkilön lisäykseen. Tekniikan aloilta väittelee 23% eli noin 400 väittelijää vuosittain. Määrä on suunnilleen sama kuin hyvinvointi- ja terveystieteillä. Väittelijöistä on luonnontieteellisiltä aloilta noin 16% sekä kauppa, hallinto ja oikeustieteistä noin 6%.

Iso osa väitöskirjan tekneistä on jo työelämässä. Vain osa valmistuneista tohtoreista on suuntautunut yritysten tarpeiden mukaisille aloille. Tutkijakoulutusta ja rekrytointiongelmia on käsitelty artikkeleissa (12–71).

Yritysten T&K-toimintojen osalta tekniikan alan osaajista on suurin pula. Tämä tulisi huomioida sekä tutkijakoulutusta suunniteltaessa että rahoitusta kohdennettaessa.

Tekniikan ala on erityisen vaativa tutkijakoulutuksen kannalta. Tarvitaan sekä tekniikan alan tuntemusta että metodiosaamista. *Luvussa 7.3* kuvaamani toimintamallit (*Kuva 17 ja Kuva 18*) pitäisi toteuttaa kansallisesti. Mukana olisi erityisesti tutkimusmetodeja painottavia yliopistoja sekä yliopistoja, jotka keskittyvät sovelluksiin. Samassa hankkeessa olisi toistensa osaamista täydentäviä tutkijoita eri yliopistoissa.

Yritykset ovat avainasemassa. Niiden tulisi kannustaa omaa henkilöstöään tutkijakoulutuksessa Ruotsin mallin mukaan. Yritysten tulisi myös lisätä yhteistyötä yliopistojen tutkijakoulutuksessa. Alueellisesti on myös paljon kehitettävää. Yliopistot voisivat tehdä tutkijakoulutuksessa yhteistyötä alueen yritysten kanssa.

Tekniikan alan T&K-tehtävissä laskennallisten menetelmien tarve kasvaa. Sama trendi on myös muilla aloilla. Tämän takia laskennallisten tieteiden osuuden tutkijakoulutuksessa tulisi olla merkittävä.

Digitalisaatio tulee muuttamaan työelämää (12,32/). Tämä tulisi huomioida myös tutkijakoulutuksessa.

6.8 Kansainvälinen yhteistyö tutkijakoulutuksessa

Ulkomaalaisten väitöskirjan tekijöiden määrä on viime vuosina lisääntynyt. Kansainvälinen yhteistyö on asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi välttämätöntä. Tähän tarjoutuu EU:n sisällä monia mahdollisuuksia ja myös rahoitusta.

Yhteistyö EU:n ulkopuolisten maiden kanssa on ongelmallisempaa. Koulutustaso eri maiden yliopistoissa vaihtelee ja sen myötä myös opiskelijoiden taso vaihtelee. Viime aikoina on keskusteltu paljon kaksoistohtoritutkinnoista. Opiskelija tekee väitöskirjan omassa yliopistossaan ja samaa aihetta jatkaen väitöskirjan myös Suomessa. Väitöskirjan molemmissa vaiheissa on ohjaajat kummastakin maasta.

Suomessa tapahtuvaan työskentelyyn sisällytetään harjoittelu yrityksissä tai julkisella sek-

torilla. Aiheen valinnassa huomioidaan ennakoitavissa oleva työvoimatarve. Tavoite on, että väittelijä työllistyy Suomessa.

EU:lla on mittava vuoteen 2030 jatkuva Afrikan kehittämisohjelma. Koulutuksella on ohjelmassa merkittävä rooli. LUT-yliopistolla on kehityshankkeita Afrikassa. Tavoitteena on kapasiteetin ja valmiuksien kehittäminen, fokuksena matematiikan ja datatieteen käytännön sovellukset erityisesti elinkeinojen ja yhteiskunnallisten haasteiden ratkaisemisessa. Ensimmäinen Itäisen Afrikan alueen *Study Group työpaja* järjestettiin 2022. Parhailaan keskusteltavana on kv-yhteistyönä rakentuva PhD (*Filosofian tohtori*) koulutuksen hanke Afrikassa, jossa johtoajatuksena olisi elinkeinoelämän ja yhteiskunnan kehitystarpeista johdettavien PhD-aiheiden tunnistaminen ja tohtorikoulutuksen organisointi näiden tueksi. Tässä PhD-koulutus on osa globaalia vastuutamme kolmannen maailman ja kestäväen kehityksen hyväksi. Samalla avautuu mahdollisuuksia mm. kaksois-tohtoritutkintojen tuottamiseen.

6.9 Raportteja tohtorikoulutuksesta ja työelämäyhteistyöstä

Alla on kooste www-sivuista, joista löytyy tietoa tohtorikoulutuksesta sekä selvityksistä työelämäyhteisistä ja sijoittumisesta työelämään.

Tohtorikoulutuksen uudistaminen ja rahoitus

- <https://okm.fi/tohtorikoulutuspilotti>
- <https://unifi.fi/tutkijakoulutus-suositukset/>
- <https://www.aka.fi/tutkimusrahoitus/hae-rahoitusta/haut/haut/tohvapaasti-haettavat--tutkimusalat-tohtorikoulutuspilotti-20242027>

Tohtorit ja työelämä sekä tohtoreiden työllistyminen

- <https://www.etk.fi/blogit/tohtorikoulutus-kannattaa-edelleen-seka-tyollisyyden-etta-palkan-nakokulmasta/>
- <https://www.aalto.fi/fi/yhteistyoy/aalto-yliopistosta-valmistuneet-tohtorit-tyoelamassa>
- <https://sites.utu.fi/hiiskuttua/tohtorit-tyoelamassa-mita-vaittelyn-jalkeen/>
- https://ucpori.fi/tohtori_tyoelamassa
- <https://www.loimu.fi/verkkolehden-artikkeli/miten-tohtorit-tyollistyvat/>
- <https://www.uwasa.fi/fi/ uutishuone/uutiset/tohtorikoulutus-vie-yha-useammin-myos-yritysmailmaan>
- <https://thl.fi/-/thl-ja-ita-suomen-yliopisto-aloittavat-ainutlaatuisen-yhteistyon-tohtorikoulutuksessa-1>
- <https://www.ttl.fi/ajankohtaista/uutinen/vaitoskirjatutkijoita-tyoelaman-teemoihin-tyoterveyslaitos-ja-ita-suomen-yliopisto-aloittavat>
- <https://www.aalto.fi/fi/yritysyhteistyoy/kansainvaliset-tohtorit-tyoelamassa-valmiina-tulevaisuuden-haasteisiin>
- <https://www.laakarilehti.fi/terveydenhuolto/tohtorikoulutuksen-uudistus-herattaa-huolta-helsingin-laaketieteellisen-professoreissa/>
- <https://www.jyu.fi/fi/opiskelijalle/tohtoriopiskelijan-ohjeet/tohtoriopinnot/tutkijakoulusta-tyoelamaan-urasuunnittelu-tohtoriopinnoissa>

Väitelleiden tarinoita

- <https://jenniraikkonen.fi/vaitoskirja-tyon-ohessa-onko-siina-jarkea/>
- <https://tyotanakyvissa.fi/miten-minusta-tuli-tohtori-opiskelu-harrastuksena/>

LÄHTEET

1. Neittaanmäki P. Omia kokemuksia tutkijakoulutuksesta ja ehdotuksia koulutuksen kehittämiseen. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja 101, Jyväskylän yliopisto, 2024.
<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/93294>
2. Neittaanmäki. P. Tohtoreita enemmän yrityksiin ja johtopaikoille. Tiedepolitiikka, 45(2):56–57, 2020.
3. Neittaanmäki. P. Tutkimusrahoitusta ja tutkijankoulutusta uudistettava. Tiedepolitiikka, 45(3):7–18, 2020.
4. Neittaanmäki P. Tutkijankoulutuksen ja tutkimustoiminnan tulosten tehokkaampi hyödyntäminen: Yhteenvedo käydystä tiede- ja koulutuspoliittisesta keskustelusta. Tiedepolitiikka, 46(3):40–45, 2021.
5. Neittaanmäki P. Koulutuksen ja tutkimuksen merkitys maakuntien kehityksessä. Tiedepolitiikka, 46(1):50–53, 2021.
6. Neittaanmäki P. Tutkimus- ja kehittämismenot sekä bruttokansantuote maakunnittain vuosina 2017–2021. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja 97, Jyväskylän yliopisto, 2023.
<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/85293>
7. Neittaanmäki P. Yliopistokoulutuksen ja -tutkimuksen vaikuttavuus Suomessa. Tiedepolitiikka, 48(1):33–38, 2023
8. Korkeakoulutus ja tutkimus 2030-luvulle: Vision tiekartta. OKM, 2019.
https://okm.fi/documents/1410845/12021888/Korkeakoulutus+ja+tutkimus+2030luvulle+VISION+TIEKARTTA_V2.pdf
9. Parlamentaarisen TKI-työryhmän loppuraportti. Valtioneuvoston julkaisuja, 2021:95.
<http://urn.fi>
10. Tutkimus- ja kehittämistoiminnan menot, henkilöstö ja työvuodet alueittain, 2011–2022. Tilastokeskus. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__tkke/statfin__tkke_pxt_13tn.px/
11. Tulot ja tuotanto alueittain, vuosittain, 2000–2022. Tilastokeskus.
https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__altp/statfin__altp_pxt_bd.px/
12. Suomen tilastollinen vuosikirja 2022. Tilastokeskus, 2022.
13. Tutkimus- ja kehittämistoiminnan rahoituksen käyttöä koskeva monivuotinen suunnitelma. Valtioneuvosto, 2023. <https://vnk.fi/documents/10616/146554548/T&K-rahoituksen+monivuotinen+suunnitelmaluonnos+110123.pdf>
14. Holopainen, H. Tohtorit työelämässä: Tilastokatsaus 2023. Sivistystyönantajat, 2023.
<https://www.sivist.fi/wp-content/uploads/2023/09/Tilastokatsaus-tohtoreihin-2023-2.pdf>
15. Järvinen P, Järvinen A. Tutkimustyön metodeista. Opinpajan kirja, Tampere, 2011.
16. Järvinen, P. On research methods. Opinpajan kirja, Tampere, 2012.
17. Järvinen P. A new paradigm for design science and action research. Report, Tampere University, 2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3258-7>

18. Järvinen P. How to choose an adequate research method? Report, Tampere University, 2023.
19. Välimaa J, Kuutti H, Virmasalo I, Ylönen I. (*toim.*). Tohtori tuli taloon? Tutkimus tohtoreista ja pk-yrityksistä. Koulutuksen tutkimuslaitos, Jyväskylän yliopisto, 1998.
20. Välimaa J. Opintiaikalla oppineita: Suomalainen korkeakoulutus keskiajalta 2000-luvulle. University Press of Eastern Finland, 2018.
21. Perko T. (*toim.*). Tiede muutosten maailmassa. Atena, 1990.
22. Näätänen R. Yliopistot ja Suomen tulevaisuus. WSOY, 1999.
23. Tieteen ja teknologian henkilövoimavarat. Vipunen. Tieteen ja teknologian henkilövoimavarat <https://vipunen.fi/fi-fi/kkyhteiset/Sivut/TK-henkil%C3%B6voimavarat.aspx>
24. Bhattacharya J., Packalen M. Stagnation and scientific incentives. Working Paper 26752, National Bureau of Economic Research, 2020.
25. Holopainen H. Tohtoreiden monet urat. Sivistystyönantajat 12/2017. https://tieteentekijat.fi/assets/uploads/2020/01/Sivista_Tohtoreiden_monet_urat_-julkaisu.pdf
26. Miten tohtorit työllistyvät. Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisu 2016:3 <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/64972/MitenTohtoritTyollistyvat.pdf>
27. Yhä useampi tohtori työskentelee yksityisellä sektorilla. Vipunen, 17.9.2021 <https://tilastoneuvos.vipunen.fi/2021/09/17/yha-useampi-tohtori-tyosentelee-yksityisella-sektorilla/>
28. Tohtoreiden työllistyminen, sijoittuminen ja tarve. Suomen Akatemian julkaisu 4/03, 2003. https://www.aka.fi/globalassets/awanhat/documents/tiedostot/julkaisut/4_03-tohtoritarve.pdf
29. Haikari J. Tulevaisuus tehdään nyt: Professori Pekka Neittaanmäki. Jyväskylän yliopistopaino, 2019. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/63392>
30. Neittaanmäki P. (*toim.*). Muutos tieteen maailmassa: Tutkimus, tiede ja yliopistot 2010. Atena, 1996.
31. Kohti tuloksellista tutkijankoulutusta. Jyväskylän yliopiston jatkokoulutustyöryhmän loppuraportti, 1994.
32. Neittaanmäki P., Lehto M., Savonen M. Yhteiskunnan digimurros. Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunta, 2021. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/75328>

7 VÄITÖSKIRJAN TEKEMISEN ERI VAIHEET JA URASUUNNITTELU

Luvussa käsiteltiin OKM:n rahoittamaa 1 000 jatko-opiskelijan palkkaamista väitöskirjan tekemiseen kolmeksi vuodeksi. Vuosien 1995–2016 tutkijakoulutusrahoitus oli pitkäjänteinen ennakoitavissa oleva rahoitus. Jokaisesta vuosikurssista on hakeutunut noin 1–2% jatko-opiskelijoiksi. Lääketieteessä ja biotieteissä prosenttiluku on ollut korkeampi.

7.1 Miten jatko-opintoihin päädytään

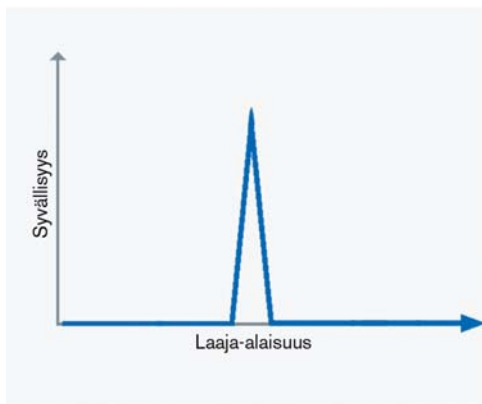
Oma kokemuksenion että jatko-opiskelijaksi suuntaudutaan varsin usein jo perusopiskelun aikana. Ryhmästäni tällaiset jatko-opiskelijat etenevät vauhdikkaasti ja he varsin usein hakeutuvat tiedeympäristöön töihin. Suurin osa professoriksi edenneistä tunnustetaan jo opiskelun aikana.

Toinen ryhmä on perusopiskelun aikana tai jälkeen alaa vaihtavat. Tyypillinen siirtyjä on matemaatikko, fyysikko tai tekniikan alalla opiskellut.

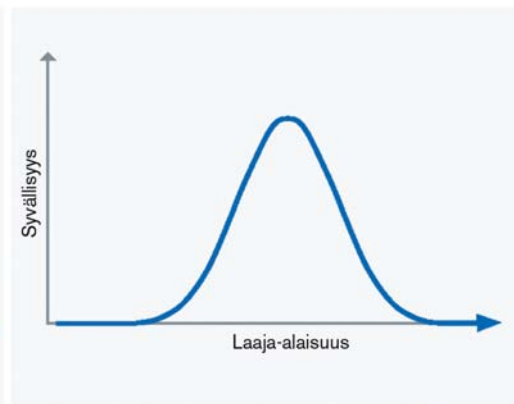
Kolmas ryhmä on työelämässä työskennelleet jotka hakeutuvat jatko-opiskelijaksi. Ohjauksessani väitelleistä reilu puolet on tehnyt perusopintonsa Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksella tai IT-tiedekunnassa. Muista yliopistoista on tullut noin neljäsosa ja alan vaihtajia ja työelämästä tulleita noin neljäsosa

7.2 Väitöskirjan perustyyppit

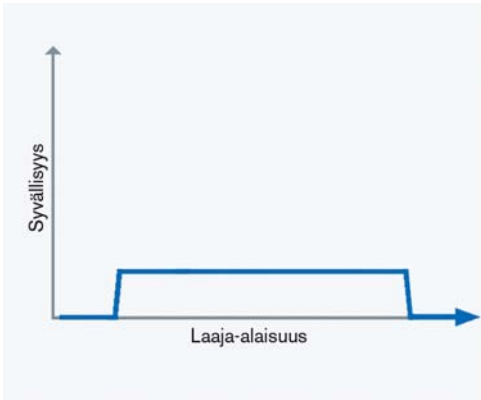
Väitöskirjoja on neljä perustyyppiä, joita kuvataan syvyys/laaja-alaisuus-mittareilla. *Kuvassa 13* on hahmoteltu tyyppin 1 väitöskirja. Siinä on tavoitteena ratkaista jokin avoin ongelma tai tähdätä uuteen menetelmään. *Tyyppin 2 väitöskirja* on *Gaussin käyrän* tyyppinen laaja-alaisempi mutta se ei sisällä terävää kärkeä (*kuva 14*).



Kuva 13. Tyyppin 1 väitöskirja (1/1).



Kuva 14. Tyyppin 2 väitöskirja (1/1).



Kuva 15. Tyypin 3 väitöskirja (I1).



Kuva 16. Tyypin 4 väitöskirja (I1).

Tyypin 3 väitöskirja on hyvin laaja-alainen ja sisältää hyödyllistä, uutta tietoa (kuva 15). Tyypin 4 väitöskirja on edellisen kombinaatio, arabialaista kirkkoa muistuttava kokonaisuus (kuva 16). Työ on laaja-alainen ja sisältää myös uusia mielenkiintoisia parannuksia olemassa oleviin tuloksiin tai metodeihin.

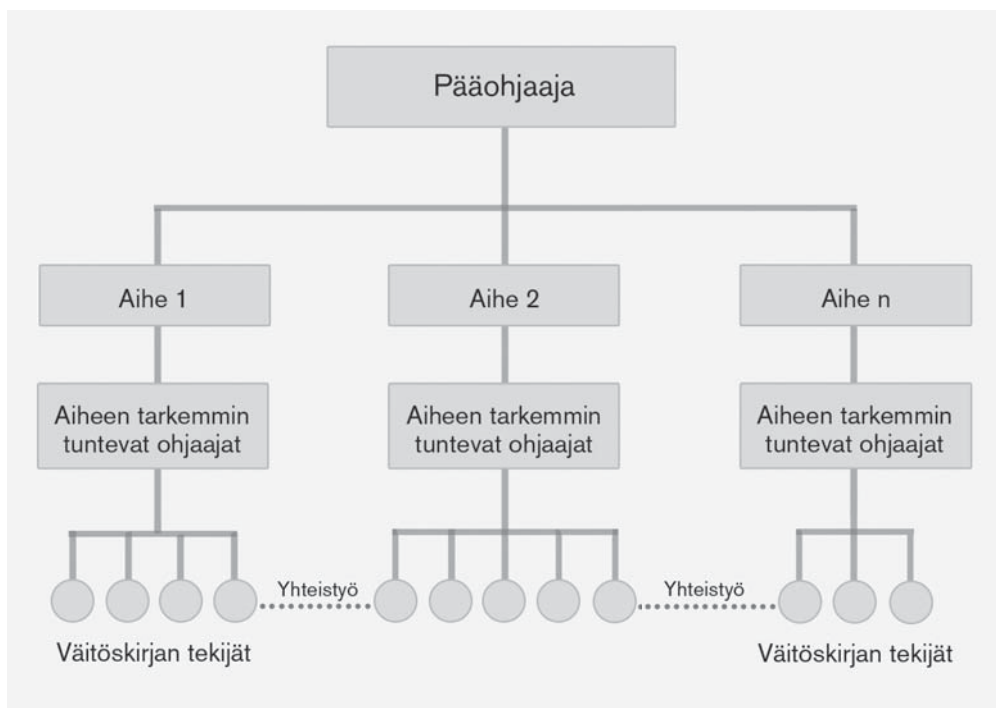
Helpoiten hallittavissa ovat väitöskirjat, jotka koostuvat julkaisuista. Ne tehdään yleensä yhteistyössä yliopistoissa työskentelevien tutkijoiden kanssa. Tällaiset väitöskirjat ovat yleensä *tyyppiä 1* tai *2*. Työelämässä olevien väitöskirjat ovat yleensä *tyyppiä 3* tai *4*. Elämäntyöväitöskirjat ovat yleensä *tyyppiä 3* tai *4*. Tyypin 4 väitöskirja on yleensä nippuväitöskirja, joka on suuntautunut yhteiskunnan tai yritysten kehittämistarpeiden mukaisille aloille.

Liitteessä 2 (s.209) on lueteltu ohjaamani väitöskirjat. Arvioni mukaan väitöskirjoista on noin $1/4$ *tyyppiä 1*, $1/3$ *tyyppiä 2*, $1/4$ *tyyppiä 3* ja $1/6$ *tyyppiä 4*. Suurin osa ohjaamistani väitöskirjoista käsittelee matemaattista mallintamista, numeerista analyysiä, optimointia, optimisäätöä, signaalinkäsittelyä, tekoälyä sekä näitä menetelmiä hyödyntäviä yritysten ja julkisten organisaatioiden sovelluksia. Kymmenen viime vuoden aikana väitöskirjojen aihepiirit ovat laajentuneet koulutusteknologiaan, palveluprosesseihin, kyber turvallisuuteen sekä lääketieteellisiin sovelluksiin. Urallaan professoriksi edenneet ovat tehneet yleensä *tyypin 1* väitöskirjan ja osallistuneet tutkijakoulutukseen.

Toimin Jyväskylän yliopiston tutkijakoulutuksen kehittämistyöryhmän puheenjohtajana. Suomen Akatemian rahoitusta saaneessa COMAS (Graduate School in Computing and Mathematical Sciences -tutkijakoulussa sovellettiin kehittämistyöryhmän toimintamallia (I6)).

7.3 Jatkokoulutuksen rahoitus ja väitöskirjojen ohjausmalli

Rahoituksen saaminen jatko-opiskeluun ja väitöskirjan tekemiseen on haastavaa. Vain pieni osa jatko-opiskelijoista saa rahoituksen neljäksi vuodeksi. Suurin osa saa osarahoituksen stipendeinä, toimii opetustehtävissä tai on töissä tutkimushankkeissa, yrityksissä



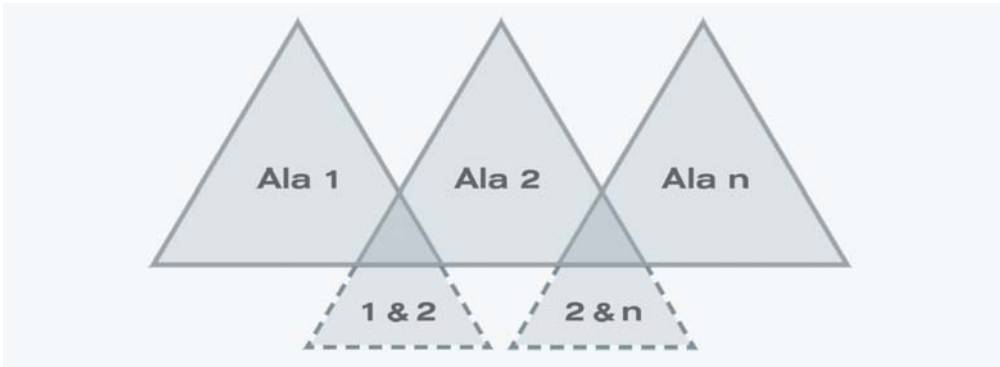
Kuva 17. Väitöskirjan ohjausmalli (1/1).

tai julkisella sektorilla. Kun väitöskirjaa ei ole mahdollisuutta tehdä päätoimisesti, neljän vuoden tavoiteaika ei toteudu. Toisaalta neljän vuoden rahoituskin on ongelmallinen. Kun aikaa tuntuu olevan alkuvuosina lähdetään liikkeelle lähdetään liian laaja-alaisesti eikä tuloksia saada parin ensimmäisen vuoden aikana juuri aikaiseksi. Edistymisen mukaan etenevä rahoitusmalli 1+3, 2+2 tai 3 vuoden rahoituksessa 1+2 olisi kokemukseni pohjalta parempi kuin neljän tai kolmen vuoden rahoitus ilman etenemisen väliarviointia.

Ryhmässäni käytössä oleva väitöskirjan ohjausmalli on esitetty *kuvassa 17*. Kokemukseni pohjalta tällainen ohjausmalli on osoittautunut toimivaksi ja soveltuu myös eri yliopistojen muodostamaan verkostoon ja lippulaivahankkeisiin.

Väitöskirjan tekijällä on kokenut pääohjaaja ja jonkin alan tunteva kakkosohjaaja tai -ohjaajat. Heidän ohjauksessansa on yleensä 3–5 väitöskirjan tekijää. Aiheet ovat samalta alueelta ja ryhmä muodostaa isomman kokonaisuuden. Yhteistyö ryhmän sisällä on oleellinen asia. Väitöskirjan tekijä saa päivittäistä tukea ryhmän sisällä ja alan kakkosohjaajilta. Myös alojen välillä on yhteistyötä mm. metodien osalta. Pääohjaaja huolehtii kokonaisuudesta.

Pääohjaajan rinnalla toimivat kakkosohjaajat ovat tyypillisesti post doc -tutkijoita tai määräaikaisia apulaisprofessoreita, jotka eivät vielä voi toimia pääohjaajina ja jotka edelleen toimivat pääohjaajan tutkimusryhmässä. Kakkosohjaajina toimii myös dosentteja tai tohtoreita tutkimuslaitoksista tai yrityksistä. Kansainvälistä yhteistyötä edistää malli, jossa ohjaajana toimii partneriyliopiston professori.



Kuva 18. Uuden tiedon luomisen malli (11).

Post doc -koulutus on ollut osa tutkijakoulutusta. Jo jatkokoulutusvaiheessa osallistutaan ryhmässä nuorempien ohjaamiseen. Väitelyään saa omia jatko-opiskelijoita ohjattavaksi. Akateemisen urakehityksen kannalta osallistuminen tutkijakoulutukseen on hyvin tärkeää. *Liitteestä 2 (s.209)* ilmenee myös oppilaitteni aktiivisuus väitöskirjojen ohjauksessa.

Tutkimusaiheiden valinta on hahmoteltu *kuvassa 18*. Tutkimusalat valitaan usein niin, että ne ovat esim. kahden alueen leikkauskohdassa. Yhdistämällä kahden alueen osaamista (*ohjaajien tukemana*) saadaan synnytettyä uutta tietoa (*1&2, 2&n, jne.*).

Seuraavassa on esimerkkejä 1980- ja 1990-luvuilla toteutetuista pitkäkestoisista keskittämishankkeista yritysten ja julkisten organisaatioiden kanssa:

- TEKES-hanke: Teräksen jatkuvavalu. Mallinnus ja prosessin optimisäätö TKK, JY metallialan yritykset
- Valmetin hanke: Paperikoneen toimintojen mallinnus, rakenteiden optimointi ja toiminnan optimisäätö

2000-luvun alun hankkeista mainittakoon erityisesti hankkeet

- Keski-Suomen keskussairaalan päivystyspoliklinikan toimintojen simulointi ja optimointi
- Vanhusten kotipalveluiden logistiikan kehittäminen
- Tekoälyn hyödyntäminen SOTE- palveluissa

Hankkeet toteutettiin *Kuvien 16 ja 17* mallin mukaan. Kaksi ryhmää oli erikoistunut laskentametodien (*numeerinen lineaarialgebra, optimointi, optimisäätö, inversio-ongelmat*) kehitykseen ja muut ryhmät sovellusalueisiin yhteistyössä yritysten ja julkisten organisaatioiden kanssa. Yhteistyötä tehtiin myös sekä suomalaisten että ulkomaalaisten yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa.

Hankkeet olivat erittäin hyödyllisiä jatko-opiskelijoille. Jatko-opiskelijoita oli kymmeniä. Jatkuva-valuaiheesta teki väitöskirjan Erkki Laitinen, Valmetin hankkeesta Jari Hämäläinen ja päivystyspoliklinikan toiminnan tehostamisesta Toni Ruohonen, palve-

lulogistiikasta Pentti Nakari ja tekoäly/sote-aiheesta Ilkka Pölönen. Käytännön hankkeet johtivat myös uusien metodien kehittämiseen. Näistä mainittakoon Kaisa Miettisen *monitavoiteoptimoinnin*, Marko Mäkelän *ei-sileän optimoinnin*, sekä Tuomo Rossi ja Pasi Tarvaisen *hankalien lineaaristen yhtälöiden iteratiivisen ratkaisemisen* väitöskirjat.

Projekteihin osallistuneet ovat edenneet työurillaan. Professoreina toimivat Jari Hämäläinen LUT-yliopistossa, Kaisa Miettinen, Tuomo Rossi ja Ilkka Pölönen Jyväskylän yliopistossa sekä Marko Mäkelä Turun yliopistossa. Dosentti Erkki Laitinen toimii lehtorina Oulun yliopistossa ja Toni Ruohonen Keski-Suomen hyvinvointialueen tutkimusjohtajana. Dosentti Pasi Tarvainen työskentelee kansainvälisessä yrityksessä ja Pentti Nakari yrityksessä, molemmat Jyväskylässä. Dosenttuurit ovat Jyväskylän yliopistosta.

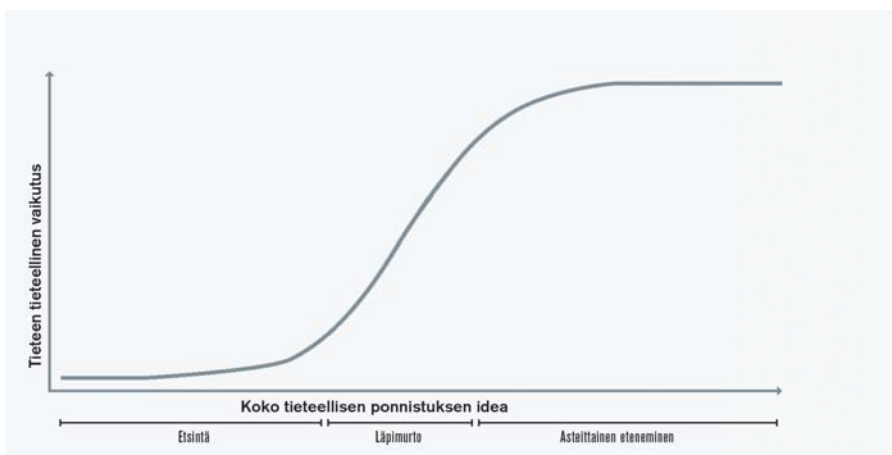
7.4 Tutkimustoiminnan eri vaiheet ja väitöskirjan aiheen valinnan vaikeus

Tässä luvussa käsittelen väitöskirjan aiheen valinnan vaikeutta. Aihetta on käsitelty artikkelissani (/1/) tutkimusrahoituksen asiayhteydessä.

Artikkelissa (/1/) havainnollistetaan S-käyrää käyttäen tieteellisen tutkimuksen kehityskaaren kolme vaihetta (*kuva 19*):

1. etsintä
2. läpimurto
3. asteittainen eteneminen

Koska työ idean parissa vaiheissa 2 ja 3 perustuu vaiheessa 1 tehtyyn työhön, vaihetta 1 voidaan nimittää perustutkimukseksi. Vaihetta 2 puolestaan voi kutsua soveltavaksi tutkimukseksi ja vaihetta 3 sovellus- ja kaupallistamisvaiheeksi.

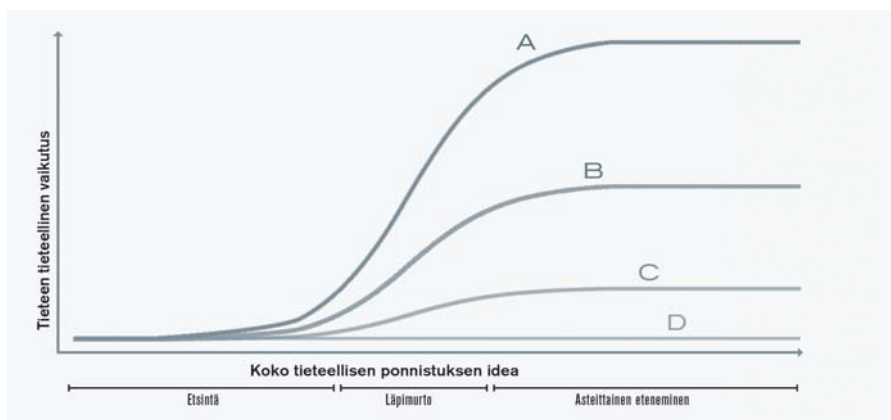


Kuva 19. Vaaka-akseli kuvaa mallin kolme vaihetta: etsintä, läpimurto ja asteittainen eteneminen. Pysty-akseli kuvaa idean vaikutusta yhteisöön (/1/, /5/).

Vaiheessa 1 tehdyllä perustutkimuksella on yleensä vain vähän havaittuja vaikutuksia, mutta se luo tarvittavat perusteet myöhemmille läpimurroille. Ongelmana *vaiheen 1* tutkijalle on vakuuttaa arvioitsijat tukemaan tutkimusta. Varsin usein rahoitus *vaiheessa 1* on vähäistä, kun tutkijan tai tutkijaryhmän tieteellinen tunnettavuus on vähäistä.

Vaiheessa 2 perustuloksen merkitys huomataan ja tuloksia markkinoidaan eri foorumeilla amerikkalaiseen tapaan. Perustutkimusta hyödyntävillä tutkijoille tuen saaminen on helpompaa. *Vaiheen 2* jälkeen usein käynnistyy pienin askelin etenevä soveltava *vaihe 3*. Sovellus- ja kaupallistamismahdollisuuksien pohjalta aina syntyy suuri tarve ja innostus jatkaa tutkimusta.

Kuvassa 20 havainnollistetaan tieteellisen työn vaikuttavuutta käyrillä A, B, C ja D. Tutkimus A johtaa merkittäviin tieteellisiin läpimurtoihin. Idea B johtaa tulokseen, jonka merkitys on vähäisempi kuin idean A. Vaikka ideoiden C ja D kehittämiseen panostetaan, ne eivät johda tuloksiin. Panostus ei kannata. Kaikkien ideoiden A, B, C ja D varhainen tutkiminen on kuitenkin tärkeää.



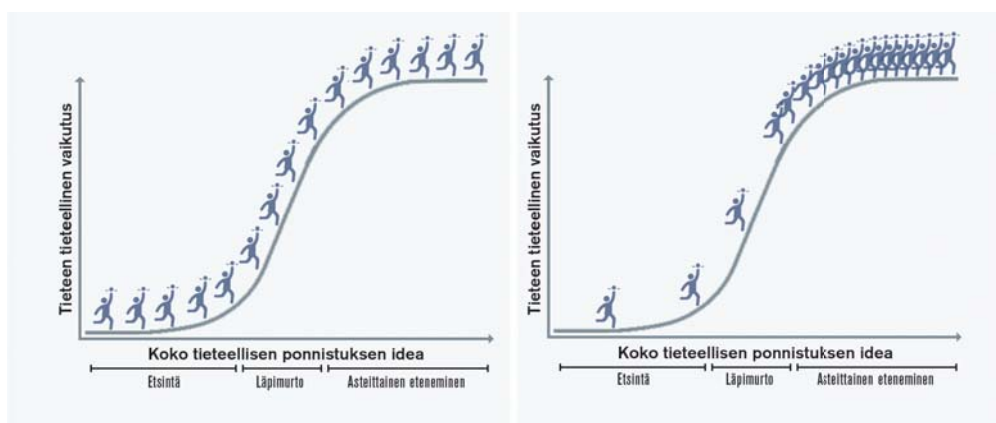
Kuva 20. Ideoiden A, B, C ja D vaikuttavuus suhteessa panostuksiin (1/1, 1/5).

Tutkimuksen tulosten ja tutkijoiden arvioinnin painopisteen siirryttyä JUFO-piste- ja H-indeksipainotteiseksi tutkijoita on ohjattu tekemään pienten askelten tutkimusta, joka hyödyntää aikaisempaa syvällistä tutkimusta. Aikana, jolloin viittauksia ei korostettu osa tutkijoista oli halukas osallistumaan perustutkimukseen. Nykyään on siirrytty viittausedeksi-aikakauteen. Tämä muutos on siirtänyt tutkijoita pitkäjänteisestä perustutkimuksesta pienin askelin tapahtuvaan tutkimukseen. *Kuva 21* havainnollistaa tutkijoiden painopisteen siirtymistä.

Sanotaan että 90% oleellisista asioista saa vastauksen jo *vaiheissa 1* ja *2*. Buumin myötä rahoituksen määrä ja samalla myös tutkijoiden määrä monikertaistuu mutta lisäarvo tieteen kannalta vähenee. *Vaiheessa 3* toimivat tutkijat muodostavat yhteisön, joka saa lisää rahoitusta. Esimerkkinä *vaiheen 1* työstä on Linus Torvaldsin pro gradu –työ, jonka merkitystä ei aluksi ymmärretty. Toinen esimerkki on professori Teuvo Kohosen 1960-luvulta alkanut tekoälyn kehittämissä Teknillisessä korkeakoulussa Espoossa. Suomessa

on useita esimerkkejä matematiikan, biologian, kemia, fysiikan ja tekniikan eri alojen perustutkimuksesta, jotka myöhemmin ovat johtaneet läpimurtoteknologioihin Suomessa tai ulkomailla, esim. Nokia, Vaisala, ABB, Wärtsilä, Fortum, Neste, Valmet, UPM, Metsä Group, Stora Enso, Orion, Outokumpu, Kemira, Valio sekä sadat startup-yritykset.

Väitöskirjan aiheen valinta ja vaatimustaso on vaikea asia. Kokemattomuuttaan lahjakas opiskelija saattaa valita liian kunnianhimoisen ja laaja-alaisen aiheen. Tutkimusryhmässä jo maisterivaiheessa toimiminen helpottaa aiheen valintaa. Usein myös tutkijavierailulla olevat ulkomaalaiset professorit ovat auttaneet asiassa. Opiskelija on esitellyt aiheensa ja saanut palautteen. Parhaassa tapauksessa palautteen antanut alan asiantuntija on osallistunut myös ohjaukseen.



Kuva 21. Tutkijoiden siirtyminen riskialttiista alkuvaiheen tutkimuksesta lyhyen tähtäimen tutkimuskäytäntöihin (11, 151).

7.5 Yritysyhteistyön kehittäminen

Yliopistojen ja yritysten yhteistyössä on paljon kehitettävää ja olemme useista Euroopan maista esimerkiksi Ruotsista, Norjasta ja Saksasta jäljessä. Suomessa vain pieni osa yrityksistä näkee yliopistoyhteistyön ja tohtorikoulutuksen osana yrityksen strategiaa. Julkista rahoitusta (*Business Finland, TEM, EU EAKR ja ESR*) yrityksille myönnettäessä tulisi edellyttää, että yrityksillä olisi tutkijakoulutuksen saanutta henkilöstöä tai sitä hankkeen toteuttamiseen palkattaisiin.

Yleensä henkilöstönsä tutkijakoulutuksesta kiinnostuneiden yritysten kanssa tehdään yhteistyösopimus. Suomessa tällaisia yrityksiä on liian vähän.

Yritykset, joissa on tohtoritutkinnon suorittaneita, jakaantuvat kahteen ryhmään:

1. Suuret vientiyritykset, joilla panostukset T&K-toimintoihin ovat merkittävät;
2. Innovatiiviset startup-yritykset.

Työelämässä olevien tutkijakoulutuksessa on seuraavat pääryhmät:

1. Väitöskirjan tekijä siirtyy tiedeyhteisön ulkopuolelle työelämään väitöskirjan ollessa kesken
2. Idea väitöskirjan tekemisestä syntyy työelämässä kehittämishankkeen yhteydessä
3. Haave väitöskirjan tekemisestä toteutuu työuran loppupuolella
4. Yritys kannustaa työntekijöitä kehittämään itseään ja tukee väitöskirjan tekemistä.

Yritykset, joissa on useampi tohtori, yleensä motivoivat henkilöstöä tekemään väitöskirjoja. Yritykselle on siitä etua, sillä tällainen yritys koetaan kiinnostavaksi työyhteisöksi (1/2-4/). Ideaalitulanteessa yrityksessä on dosentti tai työelämäprofessori. Ohjaus tapahtuu yleensä osana yhteishanketta. Ohjattava voi työskennellä osan ajastaan yliopistolla (*päivä viikossa, 1–2 viikon tai kuukauden jaksoja*).

Useilla yliopistopaikkakunnilla on yhteistyösopimuksia alueen yritysten kanssa. Yhteistyön muodot ovat: opiskelijaharjoittelu, opinnäytetyöt, henkilöstökoulutus ja yhteiset Business Finlandin ja EU:n rahoittamat hankkeet. Maakunnissa, joiden BKT-ylittää maan keskiarvon, yritysyritys yhteistyö on aktiivista (*taulukko 6 s. 56*).

7.6 Kansainväliset konferenssit, kesäkoulu ja tutkimusyhteistyö osana tutkijakoulutusta

Verkottuminen on tärkeä osa tieteellistä tutkimustyötä. Jyväskylän yliopiston rehtorilla professori Ilppo-Simo Louhivaaralla oli ratkaisevan tärkeä vaikutus uralleni. Hän kannusti väitöskirjan tekemiseen ja auttoi sekä jatko-opinnoissa että sen jälkeisessä kouluttautumisessa. Jatkokoulutukseen kuului kolmen kuukauden työskentely Bonnin *yliopistossa*, osallistuminen konferenssiin ja niiden järjestelyihin (*Jyväskylässä ja matemaatikkokonferenssi Helsingissä 1978*) ja väitöksen jälkeinen vuoden työskentely Bonnissa (*SFB 72 Sonderforschungsbereiche*). Louhivaaran verkoston avulla sain kyseisen tutkijanpaikan. Bonn oli tuolloin Saksan pääkaupunki ja tieteen rahoitus Bonnin yliopistossa oli sen mukaista.

Bonnin yliopistossa oli useita kymmeniä matematiikan professoreita, ja tutkimusalueet kattoivat laajasti matematiikan eri osa-alueet. Bonnissa oli eri alan tutkijoita ympäri maailmaa. Paikka tarjosi mahdollisuuden nähdä laskennallisten tieteiden kehitys. Laskennallisten tieteiden uusien läpimurtojen ja nopeasti kehittyneen IT-teknologian avulla voitiin päästä aivan uudelle tasolle. Bonnissa oli mahdollista tavata laskennallisten tieteiden alan johtavia kehittäjiä.

Olin jo opiskeluaikana kiinnostunut sovelletusta matematiikasta enemmän kuin yleisestä abstraktista matematiikasta. Maalaispoikana oli ratkaistava arkipäivän ongelmia käytännössä. Sama tavoite minulla oli myös tutkimustyössä.

Saksa, Englanti ja Ranska, Italia, Ruotsi, Israel ja USA olivat laskennallisten tieteiden kärkimaita. Myös Venäjä, Puola, Tanska, Tšekki ja Italia sekä Japani olivat hyvin kehityksessä mukana. Vierailin kaikissa näissä maissa. Yhteyshenkilöt löytyivät konferenssitapaamisten ja kirjeiden välityksellä.

Tärkeä osa verkottumista oli kutsua ulkomaalaisia tutkijoita vierailulle Suomeen lu-

ennoimaan, tekemään yhteistyötä ja osallistumaan konferensseihin. Kansainvälisessä toiminnassa aloin noudattamaan professori Louhivaaran mallia. Hän vieraili aktiivisesti tieteellisissä konferensseissa, kutsui ulkomaalaisia tutkijoita Jyväskylään ja järjesti tieteellisiä konferensseja.

Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksella ja IT-tiedekunnassa järjestetyt workshopit ja konferenssit on listattu *taulukossa 7*. Konferenssit ovat olleet kesäkoulun lisäksi keskeinen osa tutkijakoulutusta. Konferenssit ovat tärkeitä opintojen etenemisen kannalta, koska tutkimustulosten täytyy valmistua tiettyssä aikataulussa. Konferensseista saa myös lisämotivaatiota.

Konferenssit aloitettiin pienimuotoisina noin 20 osallistujan tapahtumina. Suurin tapahtuma oli ECCOMAS 2004 jossa oli yli 1 000 osallistujaa. Näissä tapahtumissa on vierailut yli 2 000 tieteentekijää ainakin 30 eri maasta. Vieraileviksi puhujiksi on kutsuttu alan johtavia tutkijoita Euroopan maista (*Ruotsi, Saksa, Ranska, Italia, Tšekki, Romania, Espanja, Englanti, Venäjä*) sekä Israelista, USA:sta, Kiinasta ja Japanista. Kotimaisten kon-

Taulukko 7. Jyväskylässä järjestetyt laskennallisten tieteiden konferenssit

Konferenssi	Vuosi
CM3 – Computational Multi Physics, Multi Scales and Multi Big Data in Transport, Modeling, Simulation and Optimization, Transport	2023
CSAI-Computational sciences and Artificial intelligence 2019 – ECCOMAS	2019
CMAM-7-Computational Methods in Applied Mathematics	2016
CM3 – Computational Multi Physics, Multi Scales and Multi Big Data in Transport, Modeling, Simulation and Optimization	2015
RMMM -Reliable Methods in Mathematical Modelling, 2013	2013
IFAC Workshop on Control Applications of Optimization	2009
EUROGEN 2007 – ECCOMAS	2007
ECCOMAS 2004	2004
Finite Element Methods Three-dimensional Problems	2000
5th French-Russian-Finnish Workshop on Experimentation, Mathematical Modeling and Computation in Engineering Sciences	2000
ENUMATH99 Third European Conference on Numerical Mathematics and Advanced Applications	1999
EUROGEN99	1999
Finite Element Methods: Superconvergence, Post-processing and A Posteriori Estimates	1996
ICIAM 1995	1995
Domain Decomposition Methods and Free Boundary Problems	1992
Computer Aided Mathematics	1991
Symposium on Finite Element Method in Simulation	1990
Numerical Methods for Free Boundary Problems	1990
Minisymposium on Numerical Methods for Magnets and Semiconductors	1988
Numerical Simulation Models	1986
Numerical Analysis, Summer School	1985

ferenssien lisäksi olemme olleet järjestämässä ECMI ja ECCOMAS (<https://www.eccomas.org/>) järjestöjen kanssa konferensseja eri puolella Eurooppaa.

Konferenssit ovat toimineet rekrytointikanavana sekä tutkijakoulutuksen vauhdittajana. Jatko-opiskelijat ovat esitelleet tuloksiaan tutussa ympäristössä ja saaneet arvokasta palautetta. Osallistuminen konferenssin järjestelyihin on ollut osa jatkokoulutusta. Myös maisterivaiheen opiskelijoita on kannustettu kesäkoulun lisäksi osallistumaan konferensseihin. Yleensä konferensseista kootaan ulkomaalaisen kustantajan kanssa yhteistyössä kirja, johon jatko-opiskelijat kirjoittavat ensimmäiset tieteelliset artikkelinsa.

Konferenssien lisäksi aloitimme vuonna 1991 kansainvälisen kesäkoulun (*Jyväskylä Summer School*). Kesäkoulussa opiskelijoille tarjoutuu mahdollisuus kansainväliseen toimintaan kotikentällään. Tällä on ollut suuri vaikutus. Kesäkoulun yhteydessä jatko-opiskelijat ja tulevat jatko-opiskelijat ovat saaneet tuntuman kansainväliseen tiedemaailmaan. Kesäkoulu on myös tuonut uusia jatko-opiskelijoita. Kesäkoulun 30-vuotisjuhlaa juhlittiin vuonna 2021

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/69914512/Jyvaskylan-kansainvalisessa-kesakoulussa-juhlitaan-ja-verkostoidutaan-verkossa?publisherId=69817172>.

Kesäkoulu ja konferenssit ovat tuoneet alan johtavia tutkijoita vieraaksi. Osa on jäänyt pidemmäksi ajaksi Jyväskylään. Yhteistyö on jatkunut kymmeniä vuosia. Jatko-opiskelijat ovat saaneet jatkuvaa opastusta vierailijoilta.

Pitkäaikainen yhteistyö on luonut pohjan myös tieteellisten kirjojen laatimiseen. Olen kannustanut post doc -tutkijoita laatimaan väitöskirjansa pohjalta tieteellisen monografi-an. Ilahduttavan moni on näin tehnytkin:

- **Miettinen K.** Nonlinear multiobjective optimization Springer 1998
- **Mäkelä M. and Neittaanmäki P.** Nonsmooth optimization: Analysis and algorithms with applications to optimal control. World Scientific Publishing Co., River Edge, NJ, 1992.
- **Kuzmin D. and Hämäläinen J.** Finite element methods for computational fluid mechanics. SIAM 2015.

7.7 Väitelleiden urakehitys ja -suunnittelu

Kirjassa *Tulevaisuus tehdään nyt (1/4)* kuvataan miten akateemisessa maailmassa voi saada uusia asioita aikaiseksi. Ensimmäisissä keskusteluissa jatko-opiskelusta kiinnostuneen kanssa tuon esille, että tavoite väitöskirjassa on tehdä sellaista, mitä kukaan ei ole tehnyt aikaisemmin ja, että asioihin ja oman uran kehitykseen voi vaikuttaa. Tavoite tutkijakoulutuksessa on kouluttaa tekemään uusia asioita. (1/1)

Urasuunnittelu on oleellinen osa tutkijakoulutusta. Oma osaamisprofiili täsmennetään väitöskirjan tyyppiä (*Kuvat 13–16*) valittaessa. Käyttämäni ohjausmalli (*kuva 17*) ja aiheen poikkitieteellisyys (*kuva 18*) sekä JY:n konferenssit ovat antaneet väitöskirja- ja postdoc-tutkijoille mahdollisuuden myös päteviytyä eri tehtäviin. *Luvussa 7.3* esiteltiin kolme hanketta ja niihin osallistuneiden urakehitystä.

Opetukseen osallistuminen on ollut yksi tärkeä osa koulutusta, kuten myös ulkomai-

siin konferensseihin ja tutkijavierailuihin osallistuminen. Postdoc-tutkijoita on otettu mukaan opetustehtäviin, väitöskirjojen ohjaajiksi, konferenssien järjestelyihin ja rahoitushakemusten valmisteluun. Tämä on ollut oleellinen osa yliopistollisiin tehtäviin haikutumisessa. Tavoite pätevyitä hakemaan professuuria on realisoitunut vaihe vaiheelta.

Myös tutkijaryhmän tunnettavuus on auttanut väitelleiden urakehitystä. Yhtenä mittarina on eteneminen akateemisella uralla. *Liitteessä 2 (s. 209)* on listattu tähän mennessä ohjauksessani valmistuneet 132 tohtoria. Liitteestä ilmenee myös oppilaitteni aktiivisuus tutkijakouluttajana. Ohjauksessani väitelleistä yli 30 on edennyt urallaan professoriksi (*taulukko 8*). *Taulukkoon 9* on listattu väitelleistä dosentiksi nimetyt (*16*) sekä heidän tutkimusaiheensa ja nykyinen olinpaikkansa. Osa heistä työskentelee professorina.

Urakehityksessä on ollut keskeisenä osallistuminen tutkijoiden kouluttajana kansalisiin tai kansainvälisiin tutkimushankkeisiin sekä yhteistyö ulkomaalaisten tutkijoiden kanssa osana jatkokoulutusta. Kansainväliset konferenssit Jyväskylässä sekä kansainvälinen kesäkoulu ovat olleet urakehitykselle ratkaisevan tärkeitä. Se on antanut mahdollisuuden kuulla omassa opiskelupaikassaan alan johtavien tieteenekijöiden luentoja ja esitellä heille omaa tutkimustaan luentosalissa ja vapaamuotoisissa keskusteluissa. Osa kansainvälisistä vieraista on jäänyt pitemmäksi aikaa Jyväskylään työskentelemään tutkimusryhmässä ja ohjaamaan jatko-opiskelijoita. Tavoitteena on auttaa jatko-opiskelijoita oman kansainvälisen verkoston luomisessa.

Akateemisella uralla väitelleiden urakehityksessä väittelyikä ja saavutukset siihen mennessä ovat keskeisiä. Työpaikat julkisella ja yksityisellä sektorilla ovat avautuneet yhteishankkeissa joihin väitöskirjan tekijä on osallistunut sekä tutkimusryhmän että oman verkostonsa kautta.

Väitelleiden ikä on vaihdellut 24–60 vuoden välillä. Suurin osa on ollut alle 30-vuotiaita. Lähes kaikki professoriksi edenneet on ollut 24–28-vuotiaita väitellessään. Osalla varusmiespalvelus on nostanut väittelyikää lähes vuodella. Nuorimpana professoriksi nimetty on ollut 27-vuotias tuolloin.

Noin puolet väitelleistä työskentelee opetus ja tutkimustehtävissä yliopistoissa tai ammattikorkeakouluissa. Noin 25% (32) on saavuttanut professorin pätevyuden. Heistä 13 työskentelee tai on työskennellyt professorina Suomessa. Suomen lisäksi professorit työskentelevät eri puolilla maailmaa, Ruotsissa, Saksassa, Venäjällä, USA:ssa, Kanadassa, Ecuadorissa, Etelä-Afrikassa ja Hong-Kongissa. Lisäksi muutamia väitelleistä on nimetty dosentiksi Jyväskylän yliopistoon tai muihin yliopistoihin.

Tutkijakoulutuksessa tulisi kiinnittää huomiota koulutustarpeeseen. Valmistuneiden työllisyys vaihtelee koulutusaloittain (*taulukko 5 s. 49*). Lisäksi valitettavan moni tutkijakoulutuksen saaneista on tehtävissä, jotka eivät edellytä tutkijakoulutusta. Osaamispotentiaalia tulisi yhteiskunnassamme hyödyntää tehokkaammin.

Taulukko 8. Ohjauksessani väitelleistä professoriksi edenneet

Nimi (Väitösvuosi)	Yliopisto	Maa
<i>Ruotsalainen Keijo</i> (JYU 1987)	Oulun yliopisto	Suomi
<i>Tiihonen Timo</i> (JYU 1987)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Hara Veikko*</i> (JYU 1988)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Mäkinen Raino</i> (JYU 1989)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Mäkelä Marko</i> (JYU 1990)	Turun yliopisto	Suomi
<i>Salmenjoki Kimmo*</i> (JYU 1991)	Vaasan yliopisto	Suomi
<i>Tai Xue-Cheng</i> (JYU 1991)	Bergenin yliopisto	Norja
<i>Hämäläinen Jari</i> (JYU 1993)	LUT-yliopisto	Suomi
<i>Miettinen Kaisa</i> (JYU 1994)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Kärkkäinen Tommi</i> (JYU 1995)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Murgu Alexandru</i> (JYU 1995)	Etelä-Afrikan yliopisto	Etelä-Afrikka
<i>Rossi Tuomo</i> (JYU 1996)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Korotov Sergey</i> (JYU 1997)	Mälardalen University	Ruotsi
<i>Liu Liping</i> (JYU 1997)	Lakehead University	Kanada
<i>Toivanen Jari*</i> (JYU 1997)	Houstonin yliopisto	USA
<i>Kuzmin Dimitri</i> (JYU 1999)	Dortmundin yliopisto	Saksa
<i>Kovalainen Mikko**</i> (JYU 2002)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Frolov Maxim</i> (JYU 2004)	Pietarin yliopisto	Venäjä
<i>Kalvin Viktor</i> (JYU 2004)	Concordia University	Kanada
<i>Kujala Janne</i> (JYU 2004)	Turun Yliopisto	Suomi
<i>Kuznetsov Nikolay</i> (JYU 2008)	Pietarin yliopisto	Venäjä
<i>Sarafanov Oleg</i> (JYU 2008)	Pietarin yliopisto	Venäjä
<i>Valkonen Tuomo</i> (JYU 2008)	Research Center for Mathematical Modeling (MODEMAT)	Equador
<i>Kudryashova Elena</i> (JYU 2009)	Pietarin yliopisto	Venäjä
<i>Zaidenberg Nezer</i> (JYU 2012)	Ariel University	Israel

*määräaikainen, **vieraileva professori

Nimi (Väitösvuosi)	Yliopisto	Maa
<i>Pölönen Ilkka</i> (JYU 2013)	Jyväskylän yliopisto	Suomi
<i>Wolf Guy</i> (JYU 2013)	Montrealin yliopisto	Kanada
<i>Yuldashev Marat</i> (JYU 2013)	Pietarin yliopisto	Venäjä
<i>Yuldashev Renat</i> (JYU 2013)	Pietarin yliopisto	Venäjä
<i>Mokaev Timur</i> (JYU 2016)	Pietarin yliopisto	Venäjä
<i>Stankevich Nataliya</i> (JYU 2017)	HSE University	Venäjä
<i>Aizenbud Yariv</i> (JYU 2019)	Tel Aviv University	Israel
<i>Mokaev Ruslan</i> (JYU 2019)	Pietarin yliopisto	Venäjä

■ ■ ■

Taulukko 9. Ohjauksessani väitelleistä dosentiksi nimitetyt

Nimi (Väitösvuosi)	Ala	Paikka
<i>Laitinen Erkki</i> (JYU 1989)	Tietotekniikka	Oulu
<i>Mäkelä Marko</i> (JYU 1990)	Applied Mathematics, Optimization/Sovellettu matemat. (op.ala optimointi)	Turun yliopisto
<i>Männikkö Timo</i> (JYU 1990)	Mathematical Information Technology/Tietotekniikka	Jyväskylä
<i>Tarvainen Pasi</i> (JYU 1994)	Mathematical Information Technology, esp. Scientific Computing/ Tietotekniikka, erityisesti tieteellinen laskenta	
<i>Murgu Alexandru</i> (JYU 1995)	Telecommunication/Tietoliikenne	Etelä-Afrikka
<i>Heikkola Erkki</i> (JYU 1997)	Simulation and optimization/Simulointi ja optimointi	Suomi
<i>Korotov Sergey</i> (JYU 1997)	Mathematical Information Technology, esp. Scientific Computing/ Tietotekniikka, erityisesti tieteellinen laskenta	Ruotsi
<i>Kuzmin Dimitri</i> (JYU 1999)	Computational Fluid Dynamics and Scientific Computing	Saksa
<i>Saarinen Kari</i> (JYU 2001)	Industrial Information Technology/Teollisuuden informaatioteknologia	ABB Ruotsi
<i>Dementieva Maria B</i> (JYU 2004)	Optimization Applications in Industrial Organisations and Environmental Economics	Hollanti
<i>Kujala Janne</i> (JYU 2004)	Mathematical Information Technology, esp. Scientific Computing/ Tietotekniikka alana tieteellinen laskenta, erityisesti laskenta	Turun yliopisto
<i>Ruohonen Toni</i> (JYU 2007)	Data Analytics and Methods in Social and Health Care/ Sosiaali- ja terveydenhuollon data-analytiikka ja menetelmät	Keski-Suomen hyvinvointialue
<i>Kuznetsov Nikolay</i> (JYU 2008)	Dynamical Systems	Venäjä
<i>Valkonen Tuomo</i> (JYU 2008)	Mathematical Information Technology, esp. Mathematical and Inverse Problems/Tietotekniikka alana matemaattinen ja käänteisongelmat	Equador
<i>Häkkinen Markku</i> (JYU 2010)	Accessibility and Inclusive Design and Development of ICT	USA
<i>Tuovinen Tero</i> (JYU 2011)	Computational Sciences and Applications/Laskennalliset tieteet ja sovellukset	JAMK
<i>Zaidenberg Nezer-Jacob</i> (JYU 2012)	Virtualization and Protection of Digital Contents	Israel
<i>Kurki Matti</i> (JYU 2014)	Numerical Continuum Mechanics/Laskennallinen mekaniikka	JAMK

■ ■ ■

7.8 Tietokanta väitöskirjan ohjaajista

Vuosien varrella ohjauksessani tai opastuksessani on ollut yli 200 jatko-opiskelijaa tai jatko-opiskelua suunnittelevaa. Heistä yli 150 on aloittanut ryhmässäni väitöskirjan tekemisen. Tähän mennessä (9/2024) heistä 132 on väitellyt (liite 2 s. 209) ja parikymmentä on aktiivivaiheessa. Osa jatko-opiskelusta kiinnostuneista ei ole kuitenkaan aloittanut jatko-opintoja tai on keskeyttänyt ne. Osa aloittaneista opiskelijoista on siirtynyt muihin tutkimusryhmiin jatkaen väitöskirjatyötään. Yleensä jatko-opintojen keskeyttämisen syynä on ollut siirtyminen työtehtäviin, joissa väitöskirjan tekeminen on ollut hankalaa. Myös rahoituksen puute tai muutto ulkomaille on johtanut keskeyttämiseen.

Seuraavassa tarkastellaan North Dakotan State Universityn ja American Mathematical Society (AMS) ylläpitämää tietokantaa matemaattisten tieteiden väitöskirjojen ohjaajista eri maissa 1300-luvulta alkaen, <https://www.mathgenealogy.org/>. Liitteessä 3 (s. 215) on Top 76 ohjaajien lista (*Mathematics Genealogy Project*).

Suurin osa Top 76 ohjaajalistalla olevista on USA:n yliopistoista. Väitöskirjojen vaatimustaso vaihtelee hyvin paljon varsinkin yksityisissä yliopistoissa. Julkiset yliopistot Euroopassa ja USA:ssa ovat vertailukelpoisia, jos väitöskirjaan johtavat jatko-opinnot ja väitöskirjan edellyttämä vaatimustaso on tavoitteiltaan sama.

Top 11 väitöskirjan ohjaajat on koottu taulukkoon 10 (s. 75). Tein väitöskirjani professori Willi Jägerin ja hänen oppilaidensa tutkimuksiin pohjautuen. Väitöskirjan tekemisen jälkeen siirryin saksalaisen osittaisdifferentiaaliyhtälöiden koulukunnan aiheista ranskalaisen koulukunnan tutkimusaiheisiin tutkijakoulutuksessa. Ne olivat lähempänä yritysmaailman sovelluksia olevia aiheita. Roger Temamin kirjat ja julkaisut tulivat jatko-opiskelijoille tutuiksi. Useat jatko-opiskelijat tekivät osan väitöskirjastaan tai olivat post-doc tutkijoina Ranskassa.

Taulukosta 10 (s. 75) ilmenee, että väitöskirjojen ohjaus on hyvin pitkäjänteinen tehtävä. Ohjauksen aikana arvokasta kymmenien vuosien osaamista siirretään uusille sukupolville. Harvardin professori Ronold King ohjasi väitöskirjoja 55 vuoden aikana. Professori Roger Temam on ohjannut väitöskirjoja yli 50 vuoden ajan ja useat professorit (A. Whinston, W. Jäger, A. Mikhalev ja E. Gelende) yli 40 vuoden ajan. University of Southern California on yksityinen yliopisto, jossa vaatimustaso väitöskirjoille on erilainen kuin julkisissa yliopistoissa. Tilastossa toisena oleva Utrechtin yliopiston kemian alan professori Egbert Havinga ohjasi 32 vuoden aikana (1950–1982) 143 väitöskirjaa.

Reilut kolmasosa väitelleistä jatkaa tutkimustyötä yritysmaailmassa osana akateemista työuraa.

Taulukko 10. Top 11 väitöskirjan ohjaajat (1/1)

Nimi ja yliopisto (t)	Aika	Ohjauksia
C.-C. Jay Kuo University of Southern California (private university)	1991-	173
Egbert Havinga Universiteit Utrecht	1950-1982	143
Pekka Neittaanmäki Jyväskylän yliopisto	1987-	132
Roger Temam Paris XI, Indiana University	1972-2022	130
Shlomo Sawilowsky Wayne State University	1992-	111
Andrew Whinston University of Texas at Austin, Purdue University	1970-2016	109
Alexander Mikhalev Moscow State University, Moldavian Academy of Science	1970-2017	101
Ronold King Harvard University	1944-1999	100
Willi Jäger Universität Münster, Universität Heidelberg	1973-2018	100
Erol Gelenbe Imperial College London, University of London, Duke University, Paris V, Paris XI, New Jersey Institute of Technology, University of Central Florida, Alexandria University	1974-2019	96
Leonard Ornstein Universiteit Utrecht	1918-1940	95

LÄHTEET

- Neittaanmäki P.** Omia kokemuksia tutkijakoulutuksesta ja ehdotuksia koulutuksen kehittämiseen. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja 101, Jyväskylän yliopisto, 2024.
<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/93294>
- Neittaanmäki. P.** Tohtoreita enemmän yrityksiin ja johtopaikoille. Tiedepolitiikka, 45(2):56–57, 2020.
- Neittaanmäki. P.** Tutkimusrahoitusta ja tutkijankoulutusta uudistettava. Tiedepolitiikka, 45(3):7–18, 2020.
- Haikari J.** Tulevaisuus tehdään nyt: Professori Pekka Neittaanmäki. Jyväskylän yliopistopaino, 2019.
<https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/63392>
- Bhattacharya J., Packalen M.** Stagnation and scientific incentives. Working Paper 26752, National Bureau of Economic Research, 2020.
- Kohti tuloksellista tutkijankoulutusta. Jyväskylän yliopiston jatkokoulutustyöryhmän loppuraportti, 1994.

8 OPPILAIDEN KERTOMUKSIA OPISKELUSTA, VÄITÖSKIRJAN TEKEMISEN ERI VAIHEISTA SEKÄ TYÖELÄMÄÄN SIIRTYMISESTÄ

Hyvin harva opiskelija ajattelee väitöskirjan tekemistä ensimmäisinä opiskeluvuosina. Opiskelun eri vaiheissa ajatus jatko-opinnoista ja väitöskirjan tekemisestä selkeytyy vähitellen. Myös jokin pieni asia kuten luennoitsijan innostava vaikutus, kesäharjoittelu tutkimusryhmissä, kesäkoulun tai vieraillevien tutkijoiden luennot, vierailu tutkimuslaboratorioissa voi saada kiinnostumaan jatko-opinnoista.

Myös väitöskirjan tekeminen on moniaiheinen prosessi. Uuden tekeminen on aina hankalaa. Tutkimustyhmä ja toimintaympäristö ovat ratkaisevan tärkeitä.



Kuva 22. Jyväskylän yliopiston vanha juhlasali.

Kun väitöskirja valmistuu alkaa seuraava vaihe. Jatketaan akateemisella uralla tai siirrytään muihin tehtäviin.

Oma tarinansa on tulla työelämästä takaisin akateemiselle uralle tai tehdä väitöskirja muun työn ohella.

Tässä luvussa kuusitoista opiskelijaa kertoo tarinansa opiskelustaan ja väitöskirjan teosta sekä väitöskirjan tekemisen jälkeisestä ajasta.



Kuva 23. Pekka Neittaanmäki toimi promoottorina vuoden 2016 promootiossa.



Timo Tiihonen, professori
Syntynyt Kangasniemellä 1960

Matematiikan filosofian kandidaatti, Jyväskylän yliopisto, 1983.
Soveltavan matematiikan filosofian lisensiaatti, Jyväskylän yliopisto, 1985.
Diplôme des études approfondées, numeerinen analyysi,
Nizzan yliopisto, 1986.
Filosofian tohtori, Jyväskylän yliopisto, 1987.
Tietotekniikan dosentti, Jyväskylän yliopisto, 1990.

MITEN KAIKKI ALKOI/TT

Ensimmäinen kohtaamiseni Pekan kanssa ajoittuu vuodenvaihteeseen 1981–1982. Olin kurssikaverini (*Risto Nevanlinna*) kanssa syömässä Fredalla. Ruokailun jälkeen hän halusi käydä tervehtimässä shakkikaveriaan, jolla oli vt. assistentin työpiste samassa rakennuksessa. Menin mukaan ja visiittimme aikana Pekka (*jolla oli työpiste naapurihuoneessa*) saapui paikalle ja kutsui meidät kaikki tulevaan likimääräismentelmien seminaariinsa, jota hän oli käynnistämässä keväälle 1982. Opiskelin tuolloin toista vuotta ja olin joukon nuorin. Sain luettavaksi artikkelin parametrin identifioinnista ja luonnostelin siitä aika nopeasti esityksen (*jälkikäteen arvioiden toki varsin vähän itse asiaa sisäistäen*).

Seminaarin jälkeen Pekka alkoi kysellä kesätöihin tarjoten valtionhallinnon harjoittelupaikkaa. Hän tarvitsi jonkun tekemään numeerisia esimerkkejä ja testejä täydentämään muuten teoreettisia artikkeleitaan. Tämä tarve saneli työni fokuksen. Aihe liittyi muodon optimointiin kontaktitehtäville. Lähestymistapa oli tavallaan moneen kertaan marginaalinen. Itse muodonoptimointia ja sen numeriikkaa oli tehty Ranskassa jo useampi vuosi. Sama päti kontaktitehtäviin, joissa oli myös vahva tšekkiläinen koulukunta, jonka kanssa Pekka oli aloittanut yhteistyön.

Tuossa vaiheessa en toki hahmottanut isompaa kuvaa, koska kaikki oli uutta ja alusta lähtien opeteltavaa: numeriikan rakentaminen muuttuvissa geometrioissa, optimointimentelmien soveltaminen funktioille, jotka eivät olleet ihan oppikirjasta eivätkä edes menetelmien kutsurajapintojen kautta kommunikoitavissa. Työ oli liikkuvaa: matematiikan laitos ja luentosalit olivat Sammonkadulla, työpiste Fredalla ja laskentakeskus päätteineen Cygnaeuksen kadulla. Työvälineetkin olivat osin *'laivat puuta, miehet rautaa'* aikakaudelta. Toisen vuoden opiskelijoille ei laskentakeskuksessa aina ollut näyttöpäätteitä tarjolla, joten ohjelmia tehtiin paperipäätteillä (*ketjulomakkeelle tulostava pääte, käytännössä sähkökirjoituskone, joten koodin editointi oli jokseenkin työlästä*).

Toisaalta kansainvälisyys oli vahvasti läsnä. Pro gradu -työn pääsin (*tai jouduin*) esittämään Hampuriin (*yliopistoyhdistyksen matka-apurahan turvin*) GAMM-Tagungiin, jonka hyve oli, että konferenssipaperit (*noin pari sivua tiiviisti ladottuna*) julkaistiin saksalaisen ZAMM-lehden erikoisvolyyminä. Lehtipapereilla oli siis itseisarvoa jo tuolloin. Pekan

Tiihostesta pioneeri

Ensimmäinen uuden tutkinnon tohtori

Ensimmäinen uuden tutkintojärjestelmän mukaan opiskellut tohtori väitteli Jyväskylän yliopistosta perjäntäin. Kangasniemäläinen Timo Tiihonen käsitteli väitöskirjassaan matemaattisten mallien käyttöä teknisten kappaleiden muodon suunnittelussa.

Sovelletun matematiikan alaan kuuluva väitöskirja Muodon optimointi ja toispuoleiset reuna-arvoteltävät - tarkastettiin perjäntäin. Vastaväittäjäni toimi ranskalainen Jean-Paul Zolésio ja kustoksena apulaisprofessori Pekka Neittaanmäki.

Matemaattisten mallien avulla tapahtuva muodon suunnittelu on tietotekniikan korkeinta sovellusta. Malleja voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi kilpasuksen kehittämisessä, savupiippujen ja laivojen värähtelyn poistamisessa sekä avaruusteknologiassa.

Eräänlainen tekoäly

Tähän asti insinöörit ovat ratkoneet muoto-ongelmia yrityksen ja erehdyksen menetelmällä. Esimerkiksi suksia on valmistettu monia erilaisia pareja, joista on yritelty löytää paras ominaisuuksien yhdistelmä.

Väitöskirjassa muodon optimointia tarkastellaan matemaattisena ongelmana ja tältä pohjalta tehtävälle johdetaan systemaattinen ratkaisumenetelmä. Näin voidaan etsiä esimerkiksi sukselle sopiva jalkavuus, paksuus ja eri materiaalikerrosten vähyys.

-Tulevaisuuden insinööri syöttää tietokoneelle ne vaatimukset, mitkä hän haluaa uuden laitteensa täyttävän. Sen jälkeen hän menee kahville ja palatessaan saa käsiinsä tietokoneen tekemän suunnitelman. Kyseessä on eräänlainen tekoäly. Tiihonen selvitä.

Tiihosen tutkimia matemaattisia malleja voidaan hyödyntää monilla teollisuuden aloilla. Tietokonetta apuna käyttäen

pystytään suunnittelemaan esimerkiksi puolijohditeita tai erilaisia valuprosesseja.

-Optimaalisen muodon suunnitteleminen tietokoneella on Suomessa vasta alkuvaiheessa. Sen sovellettiin teollisuuden valuprosessiin on kuitenkin jo alkanut. Pistimmällä tämän alan tutkisin on Ranskassa.

Tutkinnon uudistus mainettaan parempi

Tutkinnon uudistuksen kanssa yhtä aikaa vuonna 1980 Jyväskylän yliopistossa opiskelunsa aloittanut Tiihonen pitää uutta tutkintojärjestelmää hyvänä. Siirtymävaiheen hapanointi ja ongelmat ovat nyt jo poistuneet.

-Opiskelujeni alussa oli ongelmia yleisopinnojen suorittamisessa. Vuosien mittaan tutkintojärjestelmää on kehitetty, ja matemaatiikan laitos on suhtautunut joustavasti opiskelijoiden yksilöllisiin toiveisiin, Tiihonen kiitteli.

Fil. kandidiksi Tiihonen opiskeli kolmessa vuodessa. Niin



Tiihonen väitteli tohtoriksi Jyväskylän yliopistossa perjäntäin.

nopeaan valmistumiseen ei yliopisto ollut osannut varautua, joten uudet tutkintolomakkeetkin olivat valmistumisvuonna 1983 vielä painamatta. Lisensiaatin paperit Tiihonen sai vuonna 1985.

-Opiskelin myös kesälomilla ja myöhään iltaisin. Matemaatiikka on ala, jossa ei tarvitse niinkään oppia uutta tietoa kuin ymmärtää ja oivaltaa, Tiihonen mainitsi syyski nopeaan opiskelutahtiinsa.

Jyväskylä mukana maailman vauhdissa

Matematiikan ja sovelletun matematiikan tutkimus Jyväskylän yliopistossa on korkealla

tasolla. Kansainväliset huippulaboratoriot ottavat mielellään vastaan Jyväskylästä valmistuneita. Tiihonen itse oli vuoden Nizzaan yliopistossa opiskellessaan ja suunnittelee menevän ensi syksynä Saksaan laajentamaan tutkimuksiaan.

Tulevaisuudessa Tiihonen haluaisi erikoistua metallien muokkaukseen tarvittavien matemaattisten mallien suunnitteluun. Myös kappaleiden värähtelyyn liittyvät ongelmat kiinnostavat.

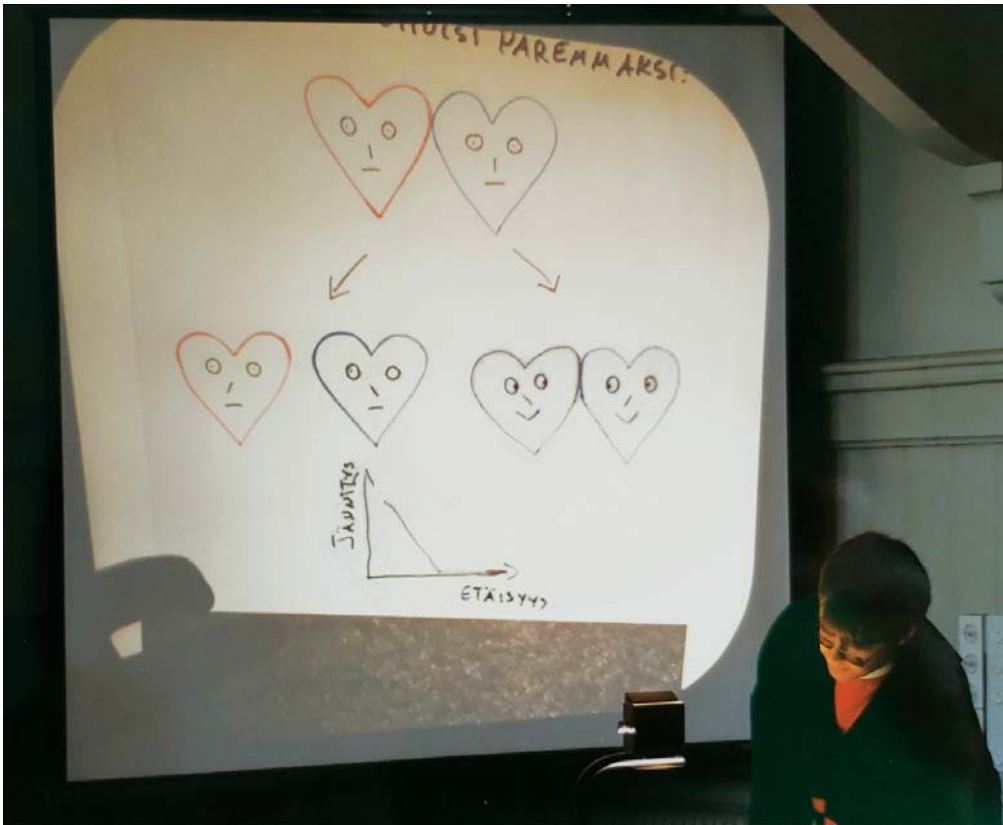
-Tähänastinen tutkimukseni on ollut enemmän tieteellisesti suuntautunutta. Nyt voin jo vapaammin katsella sovelletun suuntaan.

Ennen väitöksiä oli vähemmän ja niiden paikallinen julkisuusarvo oli vastaavasti suurempi (KSML 27.6.1987).

ja Ranskan suurlähetystön aktiivisen yhteyshenkilön aloitteesta päädyin myös vuodeksi opiskelemaan Nizzaan sikäläisessä tohtoriohjelmassa. Luonnollisesti ranskaksi, vaikka olin kielen suhteen täysin ummikko lähtiessäni. En muista, että asiaa olisi juurikaan epäroity. Pakettiin kuului kolmen kuukauden kielikurssi ja sillä mentiin. Opinnoissa pysyin hyvin mukana, mutta toisaalta suoraa tieteellistä tuotosta tuosta vuodesta ei syntynyt - elämäkokemusta kylläkin. Samoin oma ymmärrys tieteenalasta laajeni ja omien tekemisteni kapeus isossa kuvassa alkoi hahmottua.

Ranskasta palattua haaveilinkin ulkomaille jatkamisesta ja aiheen laventamisesta, mutta realiteetit iskivät vastaan. Niin Pekka kuin professori Perkokin asettivat rajat ja kehoittivat puristamaan väitöskirjan kasaan ensin. Näin tein, hammasta purren, ja työ jäi kokonaisuutena itselleni pettymykseksi. Esitarkastusvaiheessa löytyi vielä virheitä, jotka söivät osan vähäisestä sisällöstä mennessään.

Väitöksen jälkeen suuntasin taas ulkomaille, nyt Saksaan, Augsburgiin, mihin herätteen oli antanut käytävä tapaaminen konferenssissa vuosia aiemmin. Ensin tein lyhyen vierailun Akatemian rahoituksella. Sen aikana isäntäni teki tarjouksen sikäläisestä assistentuurista, joka vapautui. Hänellä oli tarve täyttää se vuodeksi tai pariaksi, kunnes omat oppilaat olisivat valmiita tehtävään. Muuten oli riski vakanssin siirtymisestä toiseen oppituliin. Niin minusta tuli Baijerin osavaltion virkamies puoleksitoista vuodeksi. Tieteellisesti kävi kuten Ranskassakin. Paperille ei kertynyt juuri mitään, mutta ymmärrys sentään kasvoi. Oleellisin valaistuminen liittyi siihen, että ne yhtälöt, joita matemaatikkoina ja



Lektiossa havainnollistetaan väitöskirjan käsitteitä, kuten tässä kontaktiongelmaa, yleistajuisesti.

numeerikkoina ratkomme, voidaan johtaa jostakin ja ne voivat kuvata asioita omassa ympäristössämme.

Saksasta paluun jälkeen oma tilanteeni oli kaksijakoinen. Yhtäältä keräämiäni kokemuksia ja oppeja tarvittiin, kun kasvava ryhmä nuoria jatko-opiskelijoita kävi teollisten sovellusten kimppuun. Toisaalta oma väitöskirja ei antanut eväitä jatkaa eikä uutta aihetta tuntunut löytyvän – tai ehkä enemmän niin, että ei löytynyt määrätietoisuutta ja itseluottamusta ottaa otetta uudesta asiasta itsenäisesti. Sopivan aiheen löytyminen edellytti lopulta tietoista päätöstä katsoa kädessä oleva kortti loppuun asti. Sainkin viimein jonkinlaisen otteen tutkimuksesta pariksi vuodeksi, kunnes kaikki muuttui.

Vuonna 1998 sain apulaisprofessorin. Samana keväänä yliopistossa väännettiin IT-tiedekunnan perustamisesta ja tämä jäi lopulta hakaukseen, jonka ytimessä oli matematiikan laitoksen huoli kahden matematiikan laitoksen syntymisestä, jos tietotekniikka ja sovellettu matematiikka irtautuvat eri tiedekuntaan. Tilanne laukesi lopulta herrasmiesopimukseen, että vaikenemme molemmiin puolin sovelletusta matematiikasta nimikkeenä ja käsitteenä. Omalle tontilleni, matemaattisen mallintamisen ja simuloinnin vakanssiin, tämä osui erityisen pahasti. Katsoin, että menetän luonnollisen kontaktin matemaattisesti suuntautuneisiin opiskelijoihin ja sitä kautta edellytyksiin jatkaa sen hetkisten tutki-

musintressien suuntaan. Kun samanaikaisesti tuli aika väistämätön tarve osallistua uuden yksikön hallintotehtäviin, oma kohtaloni tuli sinetöityä. Luovuin tietoisesti omasta tutkimusagendasta ja päätin keskittyä edistämään yhteistä hyvää.

Jälkikäteen olen pohtinut, että tutkimuksesta luopuminen oli tavallaan virhe. En osaa yksin ratkaista, oliko se kokonaisuuden kannalta hyödyllinen taktinen virhe. Mitä asioita olisi tehty toisin, jos olisin yrittänyt sinnitellä tutkimuksen kanssa? Mistä olisi pitänyt luopua sen sijaan?

Oma ymmärrykseni on, että jos olisin oikeasti tuloshakuista tutkijatyyppejä, olisi sen pitänyt näkyä jo vierailujen ja post-doc -kausien aikana ja sitä kautta vahvempana tutkimusagendana, josta ei olisi ollut niin helppo luopua hallintovastuista huolimatta.

Oikeat supervoimani ovat muualla. Kyvyssä tarkkailla kokonaiskuvaa, kuunnella sivusta, keskittyä epäkiitollisiin yhteisiin asioihin ja kiteyttää oleellinen ratkaisu aina tilanteen tullen, ratkaisu, joka pysyy rajoitteiden sisällä ja pyrkii minimoimaan kustannuksen. Pekan kanssa toimiminen on opettanut sen, että ratkaisun ei aina tarvitse olla vanhan mallin mukainen vaan asioita voi tehdä toisinkin.

Kiteyttäisinkin omat oppini retoriseen kysymykseen: *"Jos yliopistossa ei voi ajatella asioita uudella tavalla, missä sitten?"*

■ ■ ■



Erkki Laitinen, FT, dosentti

Syntynyt 11.10.1955 Äänekoskella

Sovellettu matematiikka, tietotekniikka.

Väitellyt tohtoriksi: 05.04.1989, "*On the Simulation and Control of the Continuous Casting Process*".

Synnyin Äänekoskella perheeseen, missä oli jo useampi sukupolvi työskennellyt rautateilla. Muutimme pian syntymäni jälkeen Kainuuseen, Taivalkoskelle, sinne rakentuvan rautatien ja isän työpaikan mukana. Liekö kiinnostukseni matematiikkaan ja tekniikkaan periytynyt isältäni, joka oli sen aikaisen mittapuun mukaan korkeasti koulutettu ylioppilas ja kannusti lapsiansa opiskelemaan. Koulun käyminen, silloin kun siihen olisi pitänyt eniten panostaa, ei kuitenkaan ollut minulle helppoa. Isäni järjestelikin minulle jo työpaikkaa VR:n leivissä, mutta kapinoivana nuorena hylkäsin sen vaihtoehdon. Onnekseni, kuitenkin kiinnostus matematiikkaa ja tekniikkaa kohtaan johti minut lopulta akateemiselle uralle ja dosentiksi Jyväskylän yliopistoon.

Aloittaessani 1980-luvun puolivälissä pro gradu tutkielmaani, joka käsitteli sulan ja kiinteän aineen välisen rajapinnan mallintamista ja laskemista, en vielä ymmärtänyt, että aihe tulisi määrittelemään koko työurani aikaisen tutkimuksen suunnan. Sattuma astui peliin, kun Neittaanmäen Pariisi-Helsinki kone teki välilaskun Saksassa, missä koneeseen astui Saksan vierailulla ollut professori Lauri Holappa. Kuullessaan Holapan olevan metallurgian alalla Neittaanmäki oli sanonut, että hänen ryhmässään tutkitaan samaa ongelmaa monitavoitteisena optimisäätötehtävänä. Hän oli juuri tavannut alan tutkijoita Ranskassa. Yhteistyöstä sovittiin ennen kuin lentokone oli laskeutunut Helsingin lentokentälle. Minut rekrytoitiinkin pian TEKESin tukemaan tutkimushankkeeseen, minkä aiheena oli mallintaa ja simuloida teräksen jatkuvavalua. Tämän myötä minulle avautui mahdollisuus jatko-opiskeluun ja väitöskirjan tekemiseen. Tutkimushanke johti useisiin kansainvälisiin julkaisuihin ja sen pohjalta toteutettiin tietokonepohjainen valusimulaattori, jonka avulla oli mahdollista säätää valuprosessia reaaliaikaisesti. Jo väitöstilaisuuteni aikana Rautaruukki Oy:n Raahan tehtaalla simulaattoria käytettiin ohjaamaan vesijäähdytystä valukoneille 4 ja 5.

Metalliteollisuudelta tuli 1990 luvulla paljon toiveita simulaattorin kehittämiseksi ja TEKES rahoitti edelleen sen kehitystyötä useiden tutkimushankkeiden puitteissa. Tutkimustulosten kaupallistamiseksi perustettiin myös tutkijoiden omistama yritys, jossa tehtiin ohjelmistokehitystä, konsultointia ja markkinointia. Säätöjärjestelmä pääsi 1990-luvun puolivälissä myös arvostettuun energiaa säästävien tekniikoiden Caddet-rekisteriin, mikä lisäsi järjestelmän kysyntää maailmalla. Siihen aikaan aina 2000 luvun alkuun saakka järjestelmää toimitettiin yhdessä Rautaruukki Engineeringin kanssa useille valukoneil-



Erkki Laitinen perheineen, Heikki Koivo (vastaväittäjä), Aarni Perko (kustos).



Kuvassa vasemmalta: Pekka Neittaanmäki, Lauri Holappa, Seppo Louhenkilpi, Oy Ovako Ab:n projektipäällikkö Seppo Haarala, Heikki Koivo.

le ulkomailla. Varsinaista läpimurtoa ja kaupallista kannattavuutta säätöjärjestelmän ylläpito ja kehittäminen ei kuitenkaan saavuttanut, vaan kaupallinen toiminta hiipui.

Niihin aikoihin olin jo siirtynyt Jyväskylän yliopistosta Oulun Yliopistoon, yliopiston lehtorin virkaan ja unohtanut haaveet isoista bisneksistä ja maailman valloittamisesta säätöjärjestelmällä. Oulun virkeä yritys-elämä tarjosi minulle uusia haasteita erityisesti tietoliikenteen saralla. Sovelletun matematiikan lehtorina sain ohjattavakseni monia mie-

lenkiintoisia, teollisuuslähtöisiä opinnäytetöitä, joissa pystyin hyödyntämään jo aiemmin hankkimaani matemaattista osaamista optimoinnin alueelta. Tutkijana kiinnostuin erityisesti tietoliikenneverkkojen resurssien allokoinnista, mistä aihepiiristä julkaisinkin yhdessä yhteistyökumppaneiden kanssa lukuisia kansainvälisiä julkaisuja. Oulun yliopistossa työskentelyn aika oli myös kansainvälistymisen aikaa minulle, jolloin loin useita, edelleen jatkuvia, kontakteja ulkomaisiin tutkijoihin ja julkaisin heidän kanssaan yhteisjulkaisuja.

Ympyrä sulkeutuu nyt kun olen jäänyt eläkkeelle. Professori Seppo Louhenkilpi Aalto yliopistosta on pitkäaikainen yhteistyökumppani, ja hän oli mukana jatkuvavalun tutkimuksessa, kun aloitin tutkimuksen 1980 luvulla, ja nyt 40 vuotta myöhemmin, ohjaan emerituksena hänen kanssaan FM Juho Luukkosen väitöskirjaa. Se keskittyy teräksen kiinteän olomuodon faasimuunnosten mallintamiseen ja parhaan ratkaisutavan löytämiseen ongelmalle. Tutkimuksessa saatua tulosta voidaan hyödyntää terästeollisuudessa uusien teräslaatuja kehittämisessä, laadun optimoinnissa ja mahdollisesti jopa prosessin säädössä.



Raino Mäkinen, FT, professori

Syntynyt 1961 Jyväskylässä

Väitellyt tohtoriksi 1990.

Tammikuussa 1990 astelin yhdessä vastaväittäjäni Martin Bendsøen ja väitöstilaisuuden kustoksen Pekka Neittaanmäen kanssa Jyväskylän yliopiston vanhaan juhlasaliin. Oli aika puolustaa väitöskirjaani *"On computer aided optimal shape design"*. Miten olin saattanut itseni tähän jännittävään tilanteeseen?

Aloitin opintoni Jyväskylän yliopistossa matematiikan oppiaineessa 1980-luvun alussa. Opinto-oppaan mukaan siihen aikaan *"valmistuneet matemaatikot sijoittuvat opetus-tehtäviin, vakuutusmatemaatikoiksi tai atk-tehtäviin"*. Koska olin valinnut sivuaineeksi tietojenkäsittelyopin, niin arvelin *"isona"* päätyväni kenties noihin viimeksi mainittuihin tehtäviin.

Kolme vuotta opiskeltuani alkoivat sattumat johdattamaan minua tutkijanuralle. Nimitäin kun näin *"Numeeriset menetelmät"*-kurssin mainoksen ilmoitustaululla, kiinnostuin todella aiheesta ja sen jälkeen suoritin kurssin. Kurssin harjoitustyön tein differentiaaliyhtälöiden numeeriseen ratkaisemiseen liittyen. Olin myös päättänyt ansaita hieman rahaa tuntiopettajana ohjelmoinnin peruskurssilla. Tämä oli ja on yhä edelleen houkuttava vaihtoehto jokaiselle keskitasoa paremmin menestyneelle IT-alan opiskelijalle.

Tässä vaiheessa tavoitteenani oli vain suorittaa opinnot niin hyvin kuin mahdollista ja siirtyä sen jälkeen työelämään, kenties juuri noihin atk-tehtäviin. Opiskelukaverini oli kuitenkin jo tutustunut aktiiviseen ja persoonalliseen nuoreen tutkijaan, Pekka Neittaanmäkeen. Hänen kauttaan tutustuin Pekkaan, ja sain häneltä muodon optimointiin liittyvän pro gradu –tutkielman aiheen. Gradu arvioitiin sen verran hyväksi, että sain assistentin viransijaisuuden. Tästä eteenpäin asiat alkoivat rullata nopeasti eteenpäin. Lisensiaatin tutkinnon suoritin 1988 ja tohtorin tutkinnon 1990. Pekan tšekkiläisen yhteistyökumppanin Jaroslav Haslingerin luentosarjan olin jo kuunnellut 1985. Haslingerista tulikin minun tärkein yhteistyökumppanini ja yhteistyö on jatkunut näihin päiviin saakka.

Väitöksen jälkeen sain Suomen Akatemian nuoremman tutkijan paikan. Hain samaan aikaan apulaisprofessorin paikkoja sekä Jyväskylästä että muualta Suomesta. Lopulta vuonna 1995 tärppäsi ja sain apulaisprofessorin (*opetusalan matemaattinen tietojenkäsittely*) Jyväskylän yliopistoon. Vanhat apulaisprofessorit muutettiin lainmuutoksella muutaman vuoden päästä professoreiksi, joten en enää hakenut muita virkoja.

Mitä hyötyä tohtorintutkinnosta on sitten ollut? Ilman tohtorintutkintoa oma akateeminen urani ei olisi ollut mahdollinen. Tohtorintutkinto on akateemisessa maailmassa vä-

hän kuin superlisenssi moottoriurheilussa. Ilman sitä ei pääse kilparadalle, mutta toisaalta se yksin ei takaa menestystä itse kilpailussa. Jos olisin päättänyt siirtyä pysyvästi akateemisen maailman ulkopuolelle, niin itse tohtorin tutkinnon merkitys olisi ollut todennäköisesti vähäisempi. Omakohtainen kokemukseni on ollut, että erityisesti PK-yrityksissä tohtorin erikoisosaaminen merkitsee, ei itse tutkinto. Sen sijaan isommissa yrityksissä, esimerkiksi saksankielisten maiden kanssa yhteistyötä tehtäessä, voi itse tohtorintittelikin edelleen olla merkittäväkin meriitti.



Väitöstilaisuuteni meneillään. Prof. Bendsoe piirtoheittimen äärellä esittämässä kysymyksiä.



Väitöstilaisuudesta kunnialla selvitty! Martin Bendsoe (vas.), Pekka Neittaanmäki (kesk.), Raino Mäkinen (oik.).



Tommi Kärkkäinen, FT, professori
Syntynyt 1967 Rautalammilla

Väitellyt tohtoriksi 1995.

MUISTOJA JATKO-OPINNOISTA

Aloitin jatko-opintoni keväällä 1991 ja valmistuin tohtoriksi toukokuussa 1995. Eli aika lailla neljän vuoden tavoiteaika toteutui mutta matkalle mahtui kyllä monenlaisia vaiheita. Jatko-opintojani ohjasi Pekka Neittaanmäki ja hänen pyynnöstään tässä kuvaus niistä asioita, jotka ovat erityisesti jääneet tuolta ajalta mieleeni.

Aiheenani olivat käänteisongelmat, erityisesti parametrien identifiointi osittaisdifferensiaalisyhtälöistä. Tieteellisen laskennan genrelle tyypillisen väitöskirjan sisältö koostui sekä ko. tehtävien virhe-estimaatteja sisältävistä teoreettisista tuloksista että näitä vastaavien tehtävien numerikkasta eli tietokoneella suorite-

tuista toteutuksista, joiden avulla teoreettiset tulokset validoitiin. Tuo 1990-luvun alun aika oli vielä aitojen proseduraalisten ohjelmointikielten eli Fortran-77:n sekä C:n valtakautta – onneksi ei tarvinnut miettiä mitään oliokerroksia tai jättää käyttämättä common-alueiden kautta välitettäviä globaaleja muuttujia. Niin kätevää! Ko. kielten perusosaamisen varmisti mm. Vesa Lappalaisen, Jarmo Ernvallin, Pentti Hämmäläisen, Jukka-Pekka Santasen, Timo Männikön sekä Aarni Perkon antama ohjelmoinnin perusopetus perustutkinnon aikana.

Jatko-opintojen laajuus oli 40 opintoviikkoa (*eli nykymittarilla mitattuna 72 opintopistettä, ov-opiviranomaisuunnoskertoimella 1.8 skaalattuna*) ja ne koostuivat 12 opintoviikon lisensiaatin opinnoista sekä sovelletun matematiikan sivuainelaudatur-opinnoista. Jo tuolloin 1990-luvun alussa sekä peruskursseilla että jatko-opinnoissa tietotekniikan oppiainetta matematiikan laitoksella ja tieteellisen laskennan laboratoriossa oli opettamassa monia tuttuja nimiä: Timo Tiihonen, Raino Mäkinen, Kaisa Miettinen,



Etelä-Savon piirinnätymies ja Suomen tilaston 2. (Kimmo Kinnusen jälkeen) keisäältä 1983.

Marko Mäkelä, Markku Miettinen jne. Erityisesti Timolla oli hyvin merkittävä rooli oman väitöstutkimukseni tukena: hän ohjasi sivugraduni sekä auttoi aina teoreettisluontoisten ongelmieni kanssa – ja näitä matkan aikana riitti. Varsinaisen tutkimuksen osalta tärkeitä yhteistyökumppaneita olivat ohjaaja-Pekan lisäksi Xue-Cheng Tai ja Antti Niemistö, joiden aiheet liittyivät samaan käänteisongelmien tematiikkaan, sekä Tuomo Räisänen; kaikkien näiden kanssa tuli sitten myös julkaistua jotain yhdessä.

Lisensiaatin opinnot koostuivat Pekan pitämistä FEM-jatkokursseista sekä itänaapurin vierailevien gurujen eli Yurin ja Siperian mersumies Nepo-sedän lineaarialgebran syvän pään altistuksista. Sisällöllisesti sekä erityisesti sosiaalisesti pääsin tätä(*kin*) kautta jonkinlaiseksi paikallisen lineaarialgebran osaamisyhteisön eli Tuomo Rossin, Jari "Tene" Toivasen, Pasi Tarvaisen, myöhemmin Erkki Heikkolan ym. poppoon ulkojäseneksi. Optimoinnin ja optimointimenetelmien sekä funktioanalyysin suhteen olin pääosin omaoppinen (*oli muuten tikkuisia kirjoja*), mutta näissäkin sekä Sobolev-avaruuksien kanssa auttoi kovasti kansainvälisten vierailijoiden (*osin kansainvälisessä kesäkoulussa*) pitämät tehojaksot, vaikkapa Jaroslav Haslingerin, Michal Křížekin sekä Dan Tiban toimesta. Olen jo reilut kaksikymmentäviisi vuotta tutkinut ja kehittänyt tiedonlouhinnan, koneoppimisen ja neurolaskennan menetelmiä. En voisi olla kiitollisempi tästä osaamis-pohjasta, joka tuottaa esimerkiksi klassiseen tietojenkäsittelytieteeseen verrattuna täysin erilaiset lähtökohdat vaikkapa syväoppimis-tekniikoiden rakentavan kriittiselle tutkimukselle – perustuen funktioanalyysiin, lineaarialgebraan sekä algoritmien toteutuksiin lähtien atomeista ei-massiivisia ja läpinäkymättömiä kirjastoja hyödyntämällä.

Jatko-opintoni ja akateeminen urani oli todellisella liipasimella vuoden 1991 syksyllä, kun ohjaaja-Pekka oli lähdössä Moskovaan kansainväliseen konferenssiin. Siellä oli tarkoitus esitellä ensimmäisiä tuloksiani parametrien identifiointiin liittyen. Muistan tuskan eksponentiaalisen kasvukäyrän kesän 1991 aikana kun en kerta kaikkiaan ja millään konstilla saanut virhearvioiden todistuksia toimimaan. Vajaa viikko ennen Pekan lähtöpäivää olin päättänyt mennä kertomaan hänelle huonot uutiset: nyt ei ole valitettavasti mitään esitettävää vaikka toisin sovittiin. Mutta arvatkaapas mitä tapahtui: tuli elokuun 1991 vallankaappausyritys joka johti sekä Neuvostoliiton hajoamiseen että Pekan konferenssimatkan peruuntumiseen. Huh, selvisin tästä.

Jatko-opintojen aikaan kävimme myös melko suurella ryhmällä ensimmäisessä varsinaisessa kansainvälisessä konferenssissa (*ECMI eli eurooppalaista teollisuusmatematiikkaa*) Italian Montecatini Termessä. Konferenssin akateemisesta sisällöstä jäi mieleen sponso-reiden esitykset espresson valmistuksen mallinnuksesta ja simuloinnista mutta oikeasti silmät avautuivat siitä, millaisia "*normaalisti*" ovat kansainvälisten konferenssien järjestelyt: sosiaalisessa ohjelmassa kävimme Leonardo da Vincin syntymäpaikalla ja museossa, ja ruokailujen suhteen konferenssiin sisältyi kaksi kertaa päivässä viiden ruokalajin ateria normaaleine ruokajuomineen. No, tuota yltäkylläisyyttä ei ole missään konferenssissa sen jälkeen päästy edes lähelle.

Tohtorikoulutukseni toimintaympäristöä luonnehtivat kotikansainvälisyys ja vaativat tehtävät. Pekalla oli ja on hämmästyttävä kyky verkostoitua juuri sellaisten huippututki-

joiden kanssa, joilla on valmius sekä opastaa että tehdä yhteistyötä akateemisten juniorien kanssa. Jyväskylässä vieraili siis vuosittain alan ehdottomia kansainvälisiä huippunimiä erityisesti ranskalais-saksalais-venäläis-tsekkiläisestä tieteellisen laskennan koulukunnasta. Lähes vuosittain oli suuria konferensseja, joiden järjestelyihin osallistuimme ja joiden yhteydessä näihin guruihin paremmin tutustuimme esimerkiksi saunan lauteilla. Omalta kohdaltani tärkein tällainen kumppani, tutkimuksellisesti hieman myöhemmin aktivoitunut, oli edesmennyt Roland Glowinski, joka oli suuri suomalaisten ja jyväskyläläisten fi-lantrooppi. Vaativien tehtävien suhteen muistan lukuisat erityyppiset projektivalmistelut (*mm. huippuyksikköhakuja*), joissa meitä junioreja oli mukana ja joissa monesti vietettiin deadlinea edeltävä viikonloppu töissä. Aina saatiin hakemukset lähtemään ajoissa.

Väitöstutkimukseni valmistumisen osalta merkittävin yksittäinen tapahtuma oli herääminen Viitasaarella sijainneen vuokrahuoneiston lattialta eräänä sunnuntaiaamuna syksyllä 1993. Erja-vaimoni pääsi nimittäin töihin Pihtiputaalle ja edistin väitöskirjaani 1993–1994 osittaisissa etätöissä Viitasaareltä käsin: ma-ke-pe Jyväskylään laitokselle yhteensä neljän tunnin bussimatkojen (*joiden aikana yleensä väänntelin kaavoja välillä Koivurannan bussien pikkupakkasessa*) sekä Petri Neittaanmäeltä ostetun uudisrakennetun pyörän avulla (*se oli niin "hieno" hybridimalli että sitä ei vanhan bussiaseman viereen lukittuna varastettu edes viikonloppuisin*). Kaksi etäpäivää antoivat mahdollisuuden myös miettiä ja prosessoida asioita josta oli varmasti hyötyä. Ja kun vaimoni veljen perhe oli viikonloppuna meillä vierailulla, vietimme ensin mukavan ja pitkähköän illan, jonka jälkeen luovutimme makuuhuoneen vieraille ja nukuimme itse lattialla. Heräsin sunnuntaiaamuna 6:00 ja näin valon (*se ei ollut bändi*): lisätään parametrien identifioinnin virhefunktioon yh-



Virkaanastujaiset syksyllä 2002. Perhettä ja kollegoja Agora Centerin tiloissa.

tälövirhetermi, jonka minimointi (*sopivassa duaalinormissa*) yhdessä ulostulon fittauksen kanssa tuottaa tarvittavan muotoilun virhe-estimaattien määrittämiseksi. Se oli siinä! Tätä pohjalta kirjoittelin sitten pikavauhtia useamman raportin ja julkaisun, jotka toimivat pohjana hybridi-muotoiselle väitöskirjalle (*tämäkin piti tehdä omalla tavalla, näemmä*): väitöskirja sisälsi taustoja ja yleistyksen virhe-estimaattien laatimisen viitekehuksesta sekä teoreettisia ja käytännön tuloksia ilman todistuksia. On ehkä mielenkiintoista huomata, että data-pohjaisten mallien parametrit tiedonlouhinnassa, koneoppimisessa ja neurolaskennassa estimoidaan mallin tekemää virhettä minimoimalla [1].

Kasvuympäristöni tohtorikoulutuksen aikana ei olisi voinut olla paremmin akateemista uraa tukeva. Ohjaajan sekä koko tieteellisen laskennan laboratorion porukoiden tuki ja sosiaalinen läsnäolo (*silloin oltiin työpaikalla töissä pl. etätöaika*) olivat tärkeitä ja auttoivat aina eteenpäin. Kokonaisuudessaan merkittävimmät tekijät liittyivät ilmapiiriin: oli vapautta, vastuuta, kansainvälisyyttä ja ennakkoluulottomuutta. Ennakkoluulottomuudesta esimerkkioppi ohjaaja-Pekalta, jota olen itsekin paljon toteuttanut, oli se, että asioista voi joko soittaa tai olla muuten yhteydessä aivan keneen tahansa. Jos asia on kiinnostava ja merkittävä – ja tämän tuo esiin – niin lähes kaikki vastaavat ja näin pääsee aina eteenpäin!

[1] Kärkkäinen, T., & Hänninen, J. (2023). Additive autoencoder for dimension estimation, *Neurocomputing*, 551, 126520.



Jari Hämäläinen, FT 1993, professori LUT

Syntynyt 1965 Mikkelin maalaiskunnassa, nykyään Mikkelin kaupunkia
FT vuonna 1993 Jyväskylän yliopistossa

Maisteriopinnot puhtaasta ja sovelletusta matematiikasta sekä tilasto-
tieteestä 1985–1989. Jatko-opinnot 1990–1993 virallisesti tietotekniikasta,
mutta käytännössä tieteellisestä laskennasta.

PAPERIKONEEN OPTIMOINNISTA YLIOPISTON KEHITTÄMISEEN

Suomalainen koulutusjärjestelmä on mahdollistanut sen, että nuoret voivat lähteä yliopistoon ja edetä akateemisella urallaan ilman akateemisia vanhempiaan tai ilman heidän paksua lompakkoaan. Minustakin piti tulla eteläsavolaisen sukutilamme jatkaja, mutta matematiikka oli helppoa lukiossa, joten päätin hakeutua opiskelemaan matematiikkaa. Kirjoitin ylioppilaaksi keväällä 1984 kahdella laudaturilla, sain opiskelupaikan useampaan yliopistoon, kävin armeijan vapaaehtoisesti vuotta nuorempana, ja aloitin opinnot Jyväskylän yliopistossa syksyllä 1985. En tiedä näin jälkepäin mitä tein vakavimmin – opiskelinko matematiikkaa, treenasinko pikajuoksua JKU:n riveissä vai soitinko haitarin puoliammattilaisena – mutta lopulta tein päätökseni keskittyä matematiikkaan.

Juuri ennen maisteriksi valmistumistani kesällä 1989 aloitin tutustumiseni virtauslaskentaan FIDAP-ohjelmistolla, joka oli harvoja elementtimenetelmään pohjautuvia kaupallisia CFD-ohjelmistoja. Kesätyöni samoin kuin väitöskirjatutkimukseni olivat Valmet Paperikoneet Oy:n rahoittamia. Kokeilin kesätyössä optimointimenetelmien kytkemistä



FIDAP-ohjelmistoon ja tästä syntyi ensimmäinen julkaisuni [1], joka käsitteli paperikoneen jakotukin optimaalista muotoilua. Graduni tein differenssi- ja elementtimenetelmien käytöstä ei-yksikäsitteisesti asetetun tehtävän ratkaisemisessa, ja laskemani esimerkit päätyivät myös Křížekin ja Neittaanmäen kirjaan [2].

JY:n ja Valmetin välillä käynnistyi TEKES-rahoitteinen projekti vuoden 1990 alusta alkaen ja projektissa tehtäväkseni ja

Kuvassa juoksemassa Jyväskylän yliopiston joukkueessa maailmanennätystä 100 x 1000 metrin juoksussa vuonna 1986 – ensimmäisenä joukkueena alle viiteen tuntiin.

samalla väitöskirjani aiheeksi tuli paperikoneen perälaatikon virtauksien matemaattinen mallintaminen ja optimointi. Samoihin aikoihin Suomeen hankittiin ensimmäinen supertietokone CRAY XMP, jossa oli "jopa" neljä prosessoria. CSC:n supertietokoneella ja siellä olleella FIDAP-ohjelmistolla aloitin CFD-laskijan urani. Työskentelin Prof. Pekka Neittaanmäen laboratoriossa, mutta väitöskirjani viralliset ohjaajat olivat Prof. Timo Tiihonen ja vieraileva professori Valeri Rivkind. Lisäksi Valmetin tuotekehitysinsinööreillä, erityisesti FL Pekka Pakarisella ja DI Jouni Koskimiehellä, joiden kanssa tapasin lähes viikoittain, oli merkittävä rooli käytännön tasolla perälaatikon virtauksiin perehtyessäni, ja usein pääsin seuraamaan koepaperikoneen toimintaa ja virtausteknisiä mittauksia.

Siihen aikaan oli tapana tehdä lisensiaatintutkinto, joka valmistui 1991. Lisurin jälkeen jätin optimoinnin ja keskityin perälaatikon mallintamiseen. Se edellytti itsekehitettyjen osittaisdifferentiaaliyhtälöryhmien ratkaisemista, joita ei pystynyt implementoimaan kaupalliseen ohjelmistoon, joten FIDAP jäi ja Prof. Raino Mäkisen, FT Jari Toivasen ja kai monien muidenkin kehittämästä FEM-kirjastosta tuli uusi työkaluni. Myös monet Neittaanmäen kutsumat vierailevat professorit, erityisesti Prof. Olivier Pironneau Pariisin kuudennessa yliopistosta, jäi mieleeni jäätävän hyvillä kysymyksillään ja neuvoillaan. Väitöskirjani valmistui keväällä 1993 ja vastaväittäjänä toimi Prof. Reijo Karvinen Tampereen teknillisestä korkeakoulusta (TKKK). Reijo oli sen ajan kovimpia virtaustekniikan guruja Suomessa. Myöhemmin sain toimia vastaväittäjänä Reijon rinnalla, muutaman kerran Reijon ohjaamien väitöskirjatutkijoiden vastaväittäjänä, ja myös Reijon pojan vastaväittäjänä.

Väittelyni jälkeen olin yliopistolla vuoden ja kirjoitin FT Jari Järvisen kanssa kirjan elementtimenetelmän käyttämisestä virtauslaskennassa [3], kunnes syksyllä 1994 siirryin VTT:lle. Silloin CSC:n julkaisema opas oli itselleni vain yksi tekele muiden joukossa, mutta yllättäen kirjaa ruvettiin käyttämään oppikirjana ja virtauslaskenta ylipäätään yleistyti Suomessa, ja oppaan painos loppui useampaan kertaan. Oppaasta tehtiin viimeisin päivitys vuonna 2006, jota CSC alkoi jakamaan pdf-muodossa. Lopulta opas laajeni Prof. Dmitri Kuzminin kanssa kirjoittamakseni ja SIAM:n julkaisemaksi kirjaksi vuonna 2014 [4]. Myös Dmitri oli alun perin Valeri Rivkindin ohjauksessa, mutta Valerin kuoltua 1995 Dmitri jatkoi Prof. Heikki Haarion ohjauksessa ja väitteli JY:ssä vuonna 1999. Nykyään Dmitri toimii professorina Dortmundin yliopistossa.

VTT:llä erikoistutkijana työskennellessäni 1994–96 olin erilaisissa virtaustekniikkaan liittyvissä projekteissa, kuten kehittämässä painehäviökaavoja metsäteollisuuden monifaasivirtauksille, joissa tavoiteltiin sinänsä yksinkertaisia laskentakaavoja hyvinkin haasteellisille epänewtonilaisille monifaasivirtauksille. En VTT:lläkään päässyt eroon Valmetin perälaatikoista, vaan palasin muodonoptimoinnin pariin ja kehitin jakotukille mitoitusohjelmiston, joka perustui Navier-Stokesin yhtälöiden ja k -epsilon turbulenssimallin yhdistämiseen epälineaariseen optimointiin. Vuodesta 1995 alkaen kaikki Valmetin Rautpohjan tehtaalla valmistetut jakotukit mitoitettiin kyseisellä ohjelmistolla, ties vaikka vieläkin, kohta 20 vuotta myöhemmin. Noihin aikoihin käynnistyi myös TEKES:n CFD-teknologiaohjelma ja sen yhtenä projektina CSC alkoi kehittää ELMER-ohjelmis-

toa (<https://www.csc.fi/fi/web/elmer>), joka voi edelleen hyvin ja on esimerkiksi FEM-ohjelmistona Suomen Akatemian rahoittamassa suurnopeustekniikan huippuyksikössä, jossa LUT on yksi osapuoli. Koodasin ELMER:iin turbulenssimallit, mutta muutoin sen kehitys jäi osaltani vähiin, kun siirryin Valmetin palvelukseen syksyllä 1996.

Vuodet 1996–2003 Valmetilla olivat opettavaista aikaa, erityisesti kuinka yhdistää tieteellistä laskentaa ja käytännön tuotekehitystä – ja kantaa vastuut omista tuloksistaan. Yliopistomaailmassa usein tavoitellaan vain julkaisuja, mutta teollisuudessa asioiden pitää toimia oikeasti käytännössä. On jäänyt hyvin eläväisesti mieleeni ne hetket, kun Rautpohjan konehallissa Valmetin tuotekehitysinsinöörit ja valmistuspuolen päälliköt kertoivat, että CFD-pohjaisen muodonoptimointiohjelmiston ehdottama jakotukin muoto edellyttää uutta valmistustekniikkaa ja jos olen väärässä, niin kokeilu maksaa noin miljoona silloista Suomen markkaa per jakotukin pituusmetri. Teollisuudessa myös pyritään suojaamaan ideoita patenteilla, joten välillä omat julkaisuni ja patenttihakemukseni olivat vastakkain.

Halusin säilyttää yhteydet akateemiseen maailmaan ja sain JY:n dosentuurin vuonna 2000. Siten vuodet Valmetilla olivat myös tieteellisesti hedelmällisiä, kun yhdessä JY:n optimointiryhmän kanssa kehitimme monia erilaisia virtauslaskennan ja optimoinnin työkaluja Valmetille. Edelleenkin useisiin tuon ajan julkaisuihini yhdessä JY:n professoreiden Kaisa Miettisen, Marko Mäkelän (*nykyään Turun yliopistossa*) ja Raino Mäkisen sekä Numerola Oy:n perustajatohtoreiden Pasi Tarvaisen, Kai Hiltusen ja Antti Niemisen kanssa viitataan paljon. Erityisesti Pasi Tarvaisen kanssa kehitimme useita virtauslaskentaa ja optimointiin pohjautuvia ohjelmistoja, joita hyödynnettiin kaupallisesti Valmetilla ja joista tuli myös tieteellisiä julkaisuja, esimerkiksi [5], jossa raportoidaan, kuinka kymmeniä tuotantokoneita optimoitiin CFD:n ja optimoinnin avulla.

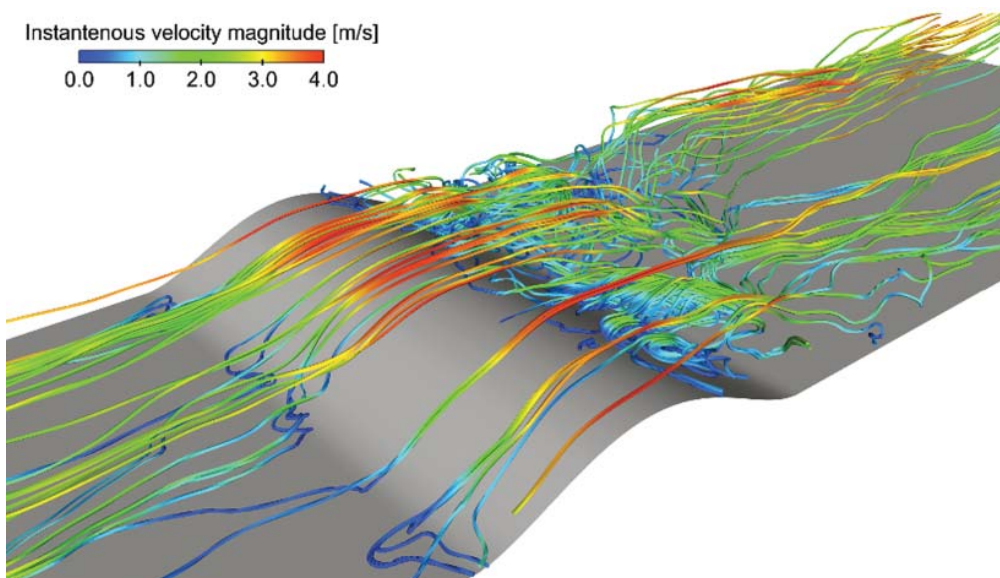
Hain muutamia professorin paikkoja Tampereelle ja Jyväskylään, mutta haaveeni paluusta akateemisen tutkimuksen pariin realisoitui syksyllä 2003, kun sain kutsun Kuopion yliopiston Sovelletun fysiikan laitoksen johtajalta Prof. Jari Kaipiolta, ja hyväksytyäni kutsun minut nimitettiin sovelletun fysiikan professoriksi vuoden 2004 alusta. Sinänsä mielenkiintoinen anekdootti, mutta en ollut opiskellut fysiikkaa edes lukiossa, mutta olin ilmeisesti pätevä fysiikan professoriksi matematiikan taustallani. Kuopion yliopistossa perustin paperifysiikan tutkimusryhmän, jonka toiminta jakautui kolmeen osaan: meteoteollisuuden monifaasivirtaukset, paperin mekaaninen käyttäytyminen ja sen lujuuslaskenta FEM:llä, sekä monitavoiteoptimointi ja päätöksenteon tukijärjestelmät. Näistä teemoista ohjasin yhteensä 10 tohtoria.

Sain Kuopiossa myös johtamisvastuita ja toimin laitoksen varajohtajana ja johtajana sekä varadekaanina. Kun Kuopion ja Joensuun yliopistojen yhdistäminen käynnistyi, toimin ISY:n perustamisvaiheen laitosjohtajana ja varadekaanina sekä uuden yliopiston käynnistyttyä vuoden 2010 alusta yhdistyneen Fysiikan ja matematiikan laitoksen ensimmäisenä laitosjohtajana. Noista ajoista ja sen aikaisista tunnelmistani voi lukea ISY:n julkaisusta *"Itä-Suomen yliopisto – Reformi ja sen tekijät"*. Modernin *"lääketieteellisluonnon tieteellisen"* Kuopion yliopiston yhdistäminen vanhoilliseen Joensuun yliopistoon ei ollut

mielestäni hyvä ratkaisu. Suomessa ihan liikaa ihannoidaan yliopistojen suuruutta, kun pitäisi arvostaa laatua. Samoihin aikoihin myös vaimoni sai tietää, että Danfoss, jossa hän toimi tuotekehityspäällikkönä, tulisi siirtämään T&K-toimintonsa ja tuotantonsa Suomen rajojen ulkopuolelle.

LUT:n silloisen Matematiikan ja fysiikan laitoksen johtaja Prof. Heikki Haario kuuli, että olemme myymässä taloamme Pohjois-Savossa, joten hän alkoi houkuttelemaan minua LUT:n laskennallisen tekniikan tutkimuskeskuksen CEID:n johtajaksi. Olin ajatellut palata teollisuuteen, mutta LUT vei voiton. Syksyllä 2010 aloitin CEID:n johtajana ja samalla minut kutsuttiin teollisuusmatematiikan professoriksi. Paperinvalmistukseen liittyvä tutkimus väistyi ja tuulienergia tuli tilalle. Ohjasin loppuun ISY:n väitöskirjoja, mutta LUT:lla uudet väitöskirjatutkimukset keskittyivät tuuliturbiinien ja tuulivoimapuistojen tuuliolosuhteiden mallintamiseen yhteistyössä erityisesti Ilmatieteen laitoksen TkT Antti Hellstenin kanssa, kenet saimme dosentiksi LUT:lle. Yllätys yllätys – samat matalanvedenytälöt, joita olin hyödyntänyt paperikoneille, saivat uudet sovellukset tuulimyllyjen optimaalisessa sijoittelussa metsäisiin ja mäkiisiin suomalaismaisemiin. Virtauslaskentakin oli kehittynyt suurin harppauksin ja nyt pystyimme simuloimaan sekuntiskaalan turbulentsia pyörteilyä LES-mallien avulla. Kuten aiemminkin, sekä uudet algoritmit että tehokkaammat supertietokoneet mahdollistivat täysin uudet simuloinnit.

Aloitin LUT:n tutkimuksesta vastaavana vararehtorina syksyllä 2014. Kaiken kaikkiaan silloisen rehtorimme Anneli Paulin aika oli suurten muutoksien aikaa LUT:lla. Aikaisemmat tiedekunnat lakkautettiin, samoin useimmat LUT:n tutkimuskeskukset, myös CEID-lopetti toimintansa, laitoksia ryhmiteltiin uudella tavalla, ja uudet schoolit



Kuvassa LES-mallilla simuloitu turbulentsi virtaus akateemisen testigeometrian tapauksessa (kuva Ashvinkumar Chaudhari).

perustettiin. Samaan aikaan perustimme schooleja yhdistävät tutkimusalustat ja otimme käyttöön professoreiden tenure track -uramallin. Jälkeenpäin on vaikea erotella mitkä toimenpiteet ovat olleet ne vaikuttavimmat, joilla LUT on nousemassa maailman parhaiden yliopistojen joukkoon, mutta nykyään LUT:iin tulee alimman tason assistant-professoreiksi henkilöitä, joiden H-indeksit ovat merkittävästi suuremmat kuin mitä ne olivat täysprofessoreilla kymmenisen vuotta sitten. Ja nykyisen rehtorimme Juha-Matti Saksan aikana kehitys on vain kiihtynyt. Olemme edelleen yksi Suomen pienimpiä yliopistoja, mutta useilla mittareilla kansainvälisesti parhaiten menestyvä yliopisto. THE:n kestävä kehityksen vertailussa olemme olleet useita vuosia peräkkäin Suomen menestyksekkäin yliopisto. Sopinee yliopistomme sloganiin tehdä vaikuttavaa tutkimusta – Science with a Purpose.



Kuvassa vasemmalta kauppakorkeakoulumme dekaani Sami Saarenketo, minä, professori Ari Jantunen, ja rehtorimme Juha-Matti Saksa (kuva Teemu Leinonen).

On mahdotonta erotella mikä vaihe urallani on johtanut seuraavaan. Tieteelliset ja teolliset työpaikkani ja luottamustoimeni ovat mahdollistaneet seuraavat positiot. Tällä hetkellä toimin Suomen yliopistojen rehtorineuvoston UNIFI:n tutkimusvararehtoreiden puheenjohtajana ja olen päässyt vaikuttamaan esim. OKM:n historian suurimman investoinnin eli 255 miljoonan euron tohtoripilotin valmisteluihin ja käytännön toteutukseen kansallisen ohjausryhmän puheenjohtajana. COST:n tieteellisen komitean jäsenyys ja puheenjohtajuus 2015–2021 avasi ovet eurooppalaiseen tiedeverkostoitumiseen. Ja olen päässyt Suomen tiedeakatemioiden ja Euroopan teknillisten tiedeakatemioiden euro-CASE:n hallituksen kautta vaikuttamaan Euroopan Komission tiede neuvonantoon SAPEA-projektissa (*Science Advice for Policy by European Academies*). Aina, kun Suomesta löytyy todellisia asiantuntijoita, niin heitä on ilo ehdottaa tekemään tiede neuvonantoraportteja komissiolle.



Kuvassa alustamassa paneelikeskustelua uniLION:n vuosiseminaarissa Brysselissä 2019 aiheesta "How could and should universities contribute to achieving the SDGs?".

1. J. Hämäläinen. The Optimal Shape Design of the Header, in Finite Element Method in Simulation, ed. by P. Neittaanmäki, CSC Research Reports, R07/90, pp 18-23, 1990
2. M. Křížek and P. Neittaanmäki. Finite element approximation of variational problems and applications, volume 50 of Pitman Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics. Longman Scientific & Technical, Harlow; Copubl. J. Wiley & Sons, New York, 1990
3. J. Hämäläinen, J. Järvinen: Elementtimenetelmä virtauslaskennassa, CSC, 212 pages, 1994
4. D. Kuzmin, J. Hämäläinen: Finite Element Methods for Computational Fluid Dynamics: A Practical Guide, ISBN 978-1-611973-60-0, Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Computational Science & Engineering series (CS14), 313 pages, 2014
5. M. Avikainen, J. Hämäläinen, P. Tarvainen: HOCS Fibre: CFD-based software for fibre orientation profile optimization for conventional and dilution headboxes, Nordic Pulp and Paper Research Journal, Vol. 25(4), pp. 456-462, 2010



Marko Mäkelä, FT, professori

Syntynyt 1963 Hattulassa

FT 1990 Jyväskylän yliopisto

Sovelletun matematiikan professori, Turun yliopisto

KANTAPÄÄN KAUTTA MATEMAATIKOKSI

Liikunnanopettajahan minusta piti tuleman, tai kestävyysjuoksuvalmentaja, kuten naapurikylän pojasta Vuorimaan Timostakin. Sehän olisi ollut varsin luonteva urakehitys urheiluhullulle pojalle, joka vietti lapsuutensa Hattulan Salimäessä pienellä maatilalla liikunnallisessa perheessä. Vaikka joukkuepelitkin kiinnostivat, niin olosuhteet maaseudulla olivat otollisemmat yksilöurheiluun ja lajeiksi valikoituivatkin, sisaruksieni tavoin hiihto, ampumahiihto ja kestävyysjuoksu. Urasuunnitelmien suhteen kohtalo puuttui kuitenkin peliin ja päätti sijoittaa kiven kampuksen kentälle juuri siihen kohtaan, mihin venytin kantapäätäni vauhdittoman kymmenloikan testissä. Sitkeästi nilkutin läpi loput pääsykokeen osiot, vaan kohtalo sinetöityi viimeistään uimakokeessa, jossa huono uimataito kostautui ja hengenpelastusuinnissa pelastajan ja pelastettavan roolit vaihtuivat kesken suorituksen. Näin tavoiteltu opiskelupaikka liikunnalla jäi puolen pisteen päähän ja oli aika pohtia mikä sitten olisikaan *plan b*.

Matematiikka oli aina ollut helppoa ja kolmas suosikkiaineeni koulussa liikunnan ja musiikin jälkeen. Kuulun siihen ikäluokkaan, joka joutui koekaniiniksi huonomaineiseen ja lyhyeksi jääneeseen kokeiluun, jossa joukko-oppi tuotiin uutena metodina matematiikan perusteiden opetukseen. Alakoulun opettajani oli vanhan liiton miehiä eikä uudet menetelmät oikein tahtoneet istua hänen oppimiskäsitykseensä. Niinpä saimmekin tutustua itsenäisesti unioneihin ja leikkauksiin tehtäväkirjoja täyttäen, ja välillä opettajaakin opastaen aikana, jolloin vielä termiä itseopiskelu ei oltu edes keksitty. Lukiossa puolestaan innostava opettajamme sai aikaan ilmapiirin, jossa matematiikka oli ylivoimaisesti tärkein oppiaine ja sen osaaminen sivistyksen mitta. Matematiikan kokeen täydet pisteet kautta aikain toisena Parolan lukion ylioppilaskokelaana takasivatkin suoran opiskelupaikan Jyväskylän yliopiston matematiikan laitokselle ja näin varasuunnitelma oli valmis. Vuodeksi lukemaan matikkaa ja samalla tutustumaan opiskeluelämään ja – kaupunkiin, ja seuraavana vuonna sitten uudelleen yrittämään liikunnan pääsykokeisiin.

Matematiikan opinnot Jyväskylässä lähtivät käyntiin sujuvasti ja ohjeiden mukainen lukujärjestys jätti paljon vapaata aikaa osallistua myös opiskelijoiden liikuntarientoihin. Tutuiksi tulivat niin Akateeminen vartti, Pedellin pako, Savonlinnan katuviesti kuin

myös Harjulla juostu vuorokauden viestikin, jossa matematiikan, fysiikan ja kemian opiskelijoista koostunut joukkueemme *Toivon Kipinä* pisti niin hyvin kampoihin liikuntatieteilijöille, että heidän oli nöyryytys välttääkseen värvättävä valttikorttinsa, muuan Harri Kirvesniemi juoksemaan yön pimeinä tunteina, valmentajaltaan lupaa kysymättä. Samaisella porukalla osallistuimme myös kautta aikain ensimmäisiin opiskelijoiden yösählyn SM-kisoihin.

Siirtyminen lukiosta yliopistomatematiikkaan saattaa monelle olla aikamoinen shokki, mutta itselleni se oli varsin positiivinen sellainen. Sinänsä tärkeiden laskurutiinien opettelun ohella ei ainakaan entisajan lukiossa juurikaan saanut vastauksia siihen, miksi jotain tehtiin tai etenkään miksi niin sai ylipäättään tehdä. Kun yliopiston algebran kurssilla piti sitten todistaa, että nolla on erisuuri kuin yksi, valkeni minulle matematiikan syvällisempi olemus. Erityisesti itseäni viehätti ajatus, ettei mitään voikaan pitää itsestäänselvyytensä, vaan kaikki tulokset täytyy pystyä johtamaan annetuista oletuksista loogisen päättelyn avulla. Ja sitä mukaa kun kiinnostus matematiikkaa kohtaan lisääntyi, vähentyi motivaatio valmistautua tuleviin liikunnan valintakokeisiin. Ja niinhän siinä sitten kävi, että ne hakupaperit jäivät lopulta lähettämättä ja uratavoitteet muuttuivatkin "*jumppamaikasta*" matematiikan maisteriksi.

Opiskelumotivaatiota lisäsivät myös ensimmäiset työtehtävät laitoksella. Toisen vuoden syksynä tuntui hienolta päästä pitämään ohjelmoinnin peruskurssin laskuharjoituksia ensimmäisen vuoden opiskelijoille. Neittaanmäen Pekkaan törmäsin ensimmäisen kerran tenttituloksia ilmoitustaululta katsellessani. Pekka tuli koputtamaan olkapäälle ja houkutteli osallistumaan *osittaisdifferentiaaliyhtälöiden numeriiikkaa* käsittelevälle kurssilleen. Samalla hän ohimennen kysäisi, olinko koskaan miettinyt jatko-opintojen mahdollisuutta. Siinä vaiheessa maisterin paperitkin tuntuivat vasta kaukaiselta haaveelta, joten rehellisyyden nimissä vastasin kieltävästi. Harvapa sitä taitaa urheilussakaan piirinmestaruutta tavoitellessaan pitää olympiamitalia vielä realismina. Ajatus jäi kuitenkin muhimaan; olisiko minussa oikeasti ainesta väitöskirjan tekemiseen. Itse kyllä epäilin kykyjäni, mutta toisaalta mikäpä ettei, jos kerran arvostettu professorismieskin niihin uskoi.

Seuraavan kerran Pekan tavatessani kerroin pohtineeni jatko-opintoasiasia ja ei aikakaan, kun Pekka jo tarjosi minulle koodarin pestiä Suomen Akatemian rahoittamassa hankkeessa. Siitä alkoi pitkäaikainen yhteistyö Pekan kanssa ja se sujuikin heti alusta asti mutkattomasti. Olimmehan molemmat pienen maatilan kasvatteja, joilla oli kilpajuokсутаusta (*Pekka tosin fiksumpana oli valinnut vähän lyhempiä juoksumatkoja*). Näin ollen olimme samalla aaltopituudella ja ymmärsimme molemmat työn teon ja tavoitteellisen harjoittelun merkityksen myös akateemisella uralla.

Pekka hoiti tuolloin toisena pestinään apulaisprofessuuria silloisessa Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa, joten LTKK:sta tuli myös minun työnantajani. Tehtäväkseni sain selvittää, mistä mahtaakaan olla kyse epäsiileässä optimoinnissa (*eng. Nonsmooth Optimization*), joka silloin oli vielä varsin nuori optimoinnin tutkimushaara. Lähdemateriaaliksi sain Pekan konferenssimatkaltaan hankkimansa kaksi kirjaa. Toinen oli "*punainen raamattu*" eli Frank H. Clarken tuore opus, jossa hän yleisti opettajansa R. Tyrrel Rocka-

fellarin klassisen konveksin analyysin teorian epäkonvekseille lokaalisti Lipschitz-jatkuville funktioille. Toinen oli puolestaan "*keltainen puhelinluettelo*" eli Krzysztof C. Kiwielin juuri hiljan englanniksi käännetty *habilitaatiotutkielma* täynnä epäsiileän optimoinnin uusimpia algoritmeja. Lisäksi Pekka oli laajoilla suhteillaan onnistunut hankkimaan Ranskasta myös alan pioneerin Claude Lemarechalin kautta aikain ensimmäisen kimpumenetelmän *Fortran-kielisen* koodin ja pyysi minua tekemään paremman.

Kirjoja ja koodia tavatessa en vielä arvannutkaan, että niistä tulee oman akateemisen urani perustukset, ja sitä ne ovat vielä tänäkin päivänä. Kirjoissa ja koodissa olikin nuorelle maisteriopiskelijalle riittävästi pähkinää purtavaksi, varsinkin kun en ollut vielä edes käynyt professori Aarni Perkon *klassisen siileän epälineaarisen optimoinnin* kurssejakaan. Mutta sinnikkäällä puurtamisella alkoivat pähkinän kuoret pikkuhiljaa murtua ja seurauksena oli useampikin ahaa-elämys. Seuraavan kesän sitten pakarsin gradun kimpussa hieman huonosta omasta tunnosta kärsien, kun kotona muu perhe ahersi heinäpellolla. Syksyllä gradu sovelletusta matematiikasta sitten valmistui ja lopputulos näytti ainakin ulkoasultaan varsin hienolta. Se oli nimittäin laitoksen toinen *TeX-ladontajärjestelmällä* kirjoitettu gradu; kurssi-, pitkäaikainen työ- ja huonekaverini Männikön Timo oli ehtinyt tehdä sen ensimmäisen pari kuukautta aikaisemmin. Tosin taisi siinä sisällössäkkin jotain mielenkiintoista olla, kun sain professori Olli Martiolta kutsun legendaariseen Helsingin yliopiston analyysin seminaariin esittelemään työn tuloksia.

Siirtyminen varsinaisiin jatko-opintoihin sujui tämän jälkeen jouhevasti; aihe pysyi samana, vaikka hallinnollisista syistä johtuen alaksi vaihtuikin matemaattinen *tietojenkäsittely*. Rahoituksestakaan ei tarvinnut huolehtia, sillä Pekka järjesti sitä alkuun erinäisistä projekteistaan ja sen jälkeen onnistuin saamaan Akatemialta nelivuotisen tutkimusassistentin pestin. Vaikka nykyään kovin kohistaan tekoälystä ja koneoppimisesta, harvapa muistaa, että kohistiinpa niistä jo 80-luvullakin, hieman eri termein tosin. Silloin nimittäin puhuttiin asiantuntijajärjestelmistä ja älykkäistä ohjelmistoista. Itsekin sain laajentaa repertuaariani myös tekoälyn suuntaan, kun Pekka oli onnistunut jälleen suhteillaan hommaamaan Jyväskylään *epälineaarisen optimoinnin* asiantuntijajärjestelmän EMP:n. Järjestelmän isä Klaus Schittkowski Bayreuthin yliopistosta oli itse lupautunut tulla sen asentamaan laitoksen koneille Suomeen suuntautuneella kesälomareissullaan. Pienten teknisten ongelmien vuoksi parin tunnin asennustyö venyi lopulta kahden viikon mittaiseksi. Sen ajan Schittkowskiin muu perhe vietti asuntoautossa Mattilanniemen parkkipaikalla sadetta pidellen. Ohjelmisto itsessään herätti kovasti kiinnostusta ja kävinkin sitä esittelemässä ainakin Lappeenrannassa ja myös Turun silloisessa kauppakorkeakoulussa professori Pentti Malaskan tutkimusryhmälle. Pääsin mukaan myös nykyisen Helsingin yliopiston ekonometrian professori Hannu Törmän tutkimushankkeeseen, jossa ratkoimme EMP:llä *yleisen tasapainon veromalleja*. Tuloksia kävimme esittelemässä Etlassa silloiselle toimitusjohtajalle Pentti Vartiaille.

Lisensiaattityö *epäsiilestä optimoinnista* valmistui parin vuoden aherruksen jälkeen ja vihdoinkin koitti aika aloittaa väitöskirjan kirjoittaminen. Ilmapiiri ja puitteet väitöskirjan tekemiselle Pekan perustamassa *Tieteellisen laskennan laboratoriossa* olivat mitä otollisim-

mat. Meitä oli jo silloin useita samassa vaiheessa olevia jatko-opiskelijoita, jotka sparrasimme toisiamme. Lisäksi aiheemme nivoutuivat ja tukivat hyvin toisiaan. Itsekin pääsin soveltamaan kehittämiäni optimointimenetelmiä mm. *teräksen jatkuvavaluprosessissa* yhdessä omia väitöskirjojaan tekevien Erkki Laitisen ja Timo Männikön kanssa.

Pekan ansiosta laitoksella vieraili jatkuvasti myös toinen toistaan tunnetumpia alan kansainvälisiä huippuprofessoreita ja -tutkijoita, joilta saimme arvokasta oppia ja vaikutteita sekä tietoa uusimmista, vielä julkaisemattomista tutkimustuloksista. Pekka kannusti myös meitä väitöskirjan tekijöitä matkustamaan ja verkostoitumaan. Itsekin taisin parhaana (*tai näkökulmasta riippuen pahimpana*) reilun vuoden ajanjaksona osallistua peräti yhdeksään kansainväliseen konferenssiin. Näillä matkoilla tutustuin mm. samasta aiheesta väitöskirjaa tehneeseen saksalaiseen Helga Schrammiin ja hänen ohjaajaansa Jochem Zoween. Tapaaminen johti hedelmälliseen yhteistyöhön ja vertaistukeen, kuin myös leikkimieliseen kilpailuunkin, jossa vuoron perään paransimme toistemme laskennallisia tuloksia erilaisissa rakenteiden optimoinnin tehtävissä.

Matkasin useaan konferenssiin myös yhdessä Pekan kanssa. Niiltä reissuilta muistuu mieleen useampiakin sattumuksia. Osallistuimme Itä-Saksan Leipzigissa järjestettyyn *matemaattisen mallinnuksen ja optimoinnin konferenssiin* vuoden 1989 heinäkuussa (*vain pari kuukautta ennen kuin Leipzigista alkoivat tapahtumat, jotka lopulta johtivat Berliinin muurin murtumiseen*). Matkasuunnitelma oli sumplittu niin, että itse kävin ensin Prahassa tapaamassa Pekan pitkäaikaista yhteistyökumppania Jaroslav Haslingeria, jonka kanssa suunnittelimme alkavamme soveltaa *epäsileää optimointia hemivariaatioepäyhtälöiden* ratkaisemiseen. Prahasta lensin Itä-Berliiniin, josta Saksassa kesälomareissulla autoilemassa ollut Neittaanmäen perhe kävi minut noutamassa. Pienessä autossa oli tiivis tunnelma, kun siihen ahtautui kolme aikuista ja kolme lasta. Olin takapenkillä Petrin, Nooran ja Eerikan kanssa. Ajankuluksi tytöt päättivätkin nipistellä vierasta setää koko matkan aina Leipzigii asti. Petristähän tuli sittemmin kansanedustaja, Noorasta ihotautilääkäri ja Göteborgin yliopiston professori, ja Eerikasta proviisori, joten taisin olla tyttöjen ensimmäinen tutkimuskohteensa. Perille päästyämme meille vielä selvisi, ettei kukaan ollutkaan muistanut varata meille majoitusta. Loppu hyvin kuitenkin, kun järjestäjät hommasivat meille huoneet paikalliselle eliitille tarkoitettusta huippuhotellista valuuttakauppoineen.

Edellisenä kesänä olimme matkustaneet Pekan kanssa puolestaan Saksan Siegenissä järjestettyyn rakenteiden optimoinnin konferenssiin. Samalla reissulla päätimme myös käydä tapaamassa vanhaa ystäväämme Klaus Schittkowskia Bayreuthissa. Ilmeisesti rouva Schittkowski ei muistellut kovinkaan pahalla heidän taannoista Suomen matkaansa, vaan oli kutsunut meidät vielä illalla perheen kotiin illalliselle täysimittaista saksalaista vieraanvaraisuutta osoittaen. Poislähteissä saimme vielä kotiin vietäväksi monta lasipurkillista omatekoista hilloa ja jotain kasvinsiemeniä, joiden alkuperää sitten jouduimme Saksan tullissa kovasti selittämään. Tullimiesten into laantui kuitenkin varsin nopeasti heidän kaivaessaan Pekan matkalaukusta luumuhilloisia alusvaatteita ja niin saimmekin jatkaa matkaamme rauhassa aina Helsinkiin asti.

Väitöskirjan ollessa noin puolessa välissä tarkoitukseni oli lähteä Yhdysvaltoihin Ma-

rylandin yliopistoon Thomas Seidmanin vieraaksi saattamaan työ loppuun. Mutta miksi lähteä merta edemmäksi kalaan, kun alan parhaat osaajat löytyivät silloin Euroopasta. Matka uudelle mantereelle jäikin toteutumatta, mutta Pekka sen sijaan järjesti alan silloisen ykkösmiehen, sen *keltaisen puhelinluettelon* kirjoittajan Krzysztof C. Kiwielin Jyväskylään väitöskirjatyöni loppuvaiheita ohjaamaan. Kiwielillä oli hieman erilaiset työajat ja -tavat mihin itse olin tottunut, mutta yhteistyö oli siitä huolimatta sujuvaa. Minä kirjoittelin kirjaa päiväsaikaan ja illansuussa teimme vuoronvaihdon; aamulla töihin tullessani minulla oli puolestaan edessäni uunituoreet kommentit ja korjaukset, kun ohjaajani lähti vuorostaan nukkumaan. Kahden kuukauden puristuksen jälkeen työ oli vihdoinkin valmis ja Kiwiel saattoi palata takaisin kotiinsa Puolaan. Väitöstilaisuus saatiin järjestettyä toukokuussa 1990 ja näin Pekan järjestyksessään seitsemäs ohjaama tohtori ehti vielä juuri ja juuri mukaan kesäkuun promootioon pokkaamaan miekan ja koppelakin.

Väitöksen jälkeen aloimme Pekan ideoimana kirjoittaa yhdessä kirjaa, jossa sovelsimme väitöskirjani *epäsileitä optimointimenetelmiä muodonoptimointitehtäviin*, jotka Pekan ja Jaroslav Haslingerin aikaisemmin julkaisemassa kirjassa oli ensin silotettu ja sitten ratkaistu perinteisillä sileillä optimointimenetelmillä. Monografia valmistui syksyllä 1991 juuri parahiksi kaksi viikkoa ennen, kuin minulta loppui lykkäys armeijasta. Varusmiespalveluksen suoritin silloisessa *Ilmavoimien Viestikoulussa Tikkakoskella* ja kokelasaikanani pääsin tekemään kuvaaviin SAR-tutkiin liittyvää tutkimusta.



Totiset poijjaat ennen väitöstä. Vasemmalla vastaväittäjä prof. Jiri Outrata, kustos Pekka ja väittelijä.

Armeijan jälkeen hoidin laitoksella jonkin aikaa yliassistentin ja apulaisprofessorin viransijaisuuksia, kunnes onnistuin saamaan kuuden vuoden pituisen akatemiaturkijan pestin. Suuri osa tuosta ajasta kului vastuullisessa projektipäällikön ja suomalaisten partnerien koordinaattorin tehtävässä laitoksemme ensimmäisessä EU:n rahoittamassa *DECISION-hankkeessa*. Hanketta veti Pekan pitkäaikainen yhteistyökumppani Jacques Periaux, joka toimi tuolloin ranskalaisen lentokonevalmistajan Dassault Aviationin tutkimusprofessorina. Hankkeessa olivat lisäksi mukana ranskalainen tietotekniikan ja sovelletun *matematiikan tutkimuslaitos INRIA*, brittiläinen numeriiikkaan keskittynyt *ohjelmistotalo NAG* sekä Suomesta *Jyväskylän yliopiston* lisäksi *VTT* ja metsä- ja maatalouskonevalmistaja *Nokka-Tume*. Hankkeessa kehitettiin menetelmiä, joilla sitten optimoitiin niin ranskalaisen hävittäjäkoneen siiven, muuramelaisen metsäkuormaimen kuin sähkömagneettiseen EMF-kalvoon perustuvan litteän kaiuttimenkin muotoa. Suomi oli tuolloin vasta liittynyt EU:hun, joten kenelläkään täällä ei ollut kokemusta EU-projekteista tai niiden hallinnoinnista. Oppia tulikin pohjan pojille runsain mitoin ja välillä vähän kantapäähän kauttakin. Rahaakin oli enemmän käytettävissä, kuin mihin olimme kotimaisissa *Tekes*-tai *Akatemiahankkeissa* tottuneet. Niinpä päädyimme tilaamaan metsätyökoneen lujuslaskennan alihankintana Pekan moskovalaisen yhteistyökumppanin Nikolai Banichukin tutkimusryhmältä. Saimme heiltä hyviä tuloksia ja kaikki sujuikin muutenkin hienosti siihen asti, kunnes EU:lle lähettämämme kustannuslasku tuli bumerangina takaisin. Meille selvisi vasta siinä vaiheessa, että palvelujen ostoon EU:n ulkopuolisista maista olisi pitänyt pyytää lupa Brysselistä etukäteen. Jacques Periaux saikin käyttää kaiken arvovaltansa selvittääkseen asian pistämällä sen suomalaisten kokemattomuuden piikkiin. Me puolestamme jouduimme Jyväskylässä odottamaan päätöstä vuoden verran löysässä hirsessä kiikkuen. No, positiivinen päätös sieltä vihdoista viimein tuli ja näin siitäkin selvitettiin.

Vahingosta viisastuneena haimmekin seuraavaksi rahoitusta Tekesiltä ja olin mukana parissakin kotimaisessa *monitavoiteoptimointiin* liittyvässä teollisuushankkeessa. Samalla aloin etsiä töitä myös muista yliopistoista, kun Jyväskylässä ei sillä haavaa ollut eläkevirkaa tarjolla. Tampereella pääsin haastatteluun ja Lappeenrannassa jo hopeasijalle, ennen kuin Turun yliopiston matematiikan laitokselta irtosi sovelletun matematiikan professori, jota hoitelen yhä edelleenkin. Samalla yksi ympyrä sulkeutui hausalla tavalla. Aarni Perko oli aikanaan väitellyt Turussa ja tuonut sitten sikäläiset optimoinnin opit mukanaan Jyväskylään tultuaan siellä valituksi laitoksen ensimmäiseksi sovelletun matematiikan professoriksi. Minä puolestani toin ne opit sitten takaisin Turkuun, hieman toki jyväskyläläisellä *twistillä* maustettuina.

Nykyisessä työssäni professorina olen viihtynyt erinomaisesti. Pekan kaukonäköisesti antamassa tutkimusaiheessakin riittää vaan edelleen tutkittavaa, kun *epäsileä optimointi* on kokenut jälleen yhden uuden renessanssin koneoppimisen räjähdysmäisen kasvun myötä. Harrastuspuolella aikaa on jäänyt enemmän myös toiselle nuoruusajan ihastukselle musiikille. Hämeenlinnan musiikkiopiston eli nykyisen *Sibelius-opiston* opit on jälleen palauteltu mieliin ja klarinetti soi useammassakin kokoonpanossa. Ja vaikka kilpajuoksu

aikanaan sitkeiden jalkavaivojen myötä jäikin, ei se urheilukaan hullusta ole mihinkään lähtenyt. Asfalttijuoksun tilalle vain tuli ensin hieman polviystävällisempi suunnistus ja kahdenkymmenen juostun *Jukolan viestin* jälkeen tavoitteena on ollut rikkoo vuosittain kymppitonnin raja pyöräilykilometrien keräilyssä.



Kolmekymmentä vuotta myöhemmin jo vähän hymyilyttääkin.



Tallinnan Harju Jooks –maantieviestin neljäs osuus takana. Sikäläisessä urheiluruudussa kerrottiin, että Hämeenlinnan Kisan voitokkaassa joukkueessa juoksi Suomen nuorin tietotekniikasta väitellyt tohtori.



Klarinetti soi Oktoberfest-tunnelmissä.



Dimitri Kuzmin, FT, professori, PhD, professor
Syntynyt Pietarissa 1974,
Born in St. Petersburg 1974

Väitellyt tohtoriksi 1999
Received his doctorate in 1999.

During my time as a PhD student at the University of Jyväskylä, I was developing high-resolution finite element schemes for numerical simulation of gas-liquid flows in bubble column reactors. The mathematical model that I used for this purpose included the system of Navier-Stokes equations for the velocity and pressure of an incompressible liquid phase, as well as evolution equations for the bubble radius and concentration fields. The main numerical challenge was the inability of standard discretization methods to resolve steep gradients in an appropriate manner. High-order approaches tend to produce spurious oscillations in non-smooth regions. As an alarming consequence, concentrations of chemical species may become negative or greater than one. Low-order approximations can be guaranteed to stay in the admissible range but their accuracy is very poor. The best



Participants arriving at the event, chairman Heikki Haario on the left.

methods that I found in the literature were based on the idea of combining high- and low-order approximations in an adaptive manner. A major highlight of my PhD thesis, which I defended in November 1999 at the age of 25, was a new representative of such methods for convection-dominated transport problems. Further components of the numerical algorithm were adapted to peculiarities of the mathematical model.

The research conducted in my thesis has sparked my interest in designing numerical schemes that preserve certain properties of exact solutions and/or physical systems. There is a huge demand for such schemes in the field of computational fluid dynamics. After becoming a postdoctoral researcher at the University of Dortmund in 2000, I started developing a general framework for incorporating inequality constraints into numerical methods for partial differential equations. I realized that almost every high-order baseline discretization admits an algebraic splitting into a property-preserving low-order component and a remainder that consists of numerical fluxes. Some of these fluxes are harmless but others may produce numerical artifacts, such as negative concentrations. I derived algebraic criteria for a potentially bad flux to acceptable and designed a new family of



Lectio praecursorian.

limiting techniques for enforcing the corresponding constraints. This effort has brought me international recognition and laid the foundations of what is now known as "*algebraic flux correction*" (AFC).

The next stage of my academic career began in 2002, when "*junior professor*" positions were introduced in Germany and I became the first junior professor of the federal state Northrhine Westfalia. In this capacity, I launched a number of interdisciplinary research projects that involved applications of my flux-corrected finite element schemes to turbulent and multiphase flow problems. My appointments as associate professor (*University of Houston: 2009–2010*) and tenured professor (*University Erlangen-Nuremberg: 2010–2014, TU Dortmund University: 2014–present*) have stimulated

me to broaden the scope of my research activities and explore new application fields for physics-compatible finite element methods. In particular, my team has designed tailor-made AFC tools for fiber suspension flows, particle-laden gas flows, and the equations of ideal magnetohydrodynamics. We have also invested significant efforts in the design of level set methods for evolving interfaces. All of the aforementioned problems have in common that physically admissible exact solutions of the governing equations are known to satisfy a set of constraints. Our numerical approximations are aware of these constraints and equipped with state-of-the-art mechanisms for enforcing them. Many groups around the globe use our AFC methodology and contribute to its further development. My own contributions to the field are published in three books and more than 100 research articles. The most recent advances include extensions of AFC to nonlinear hyperbolic systems and high-order finite elements.

Many of the 24 successful grant proposals that I wrote during the last 25 years were a direct or indirect continuation of the work initiated in my PhD thesis. Moreover, my PhD studies have equipped me with knowledge in complementary fields and motivated me to explore these fields on my own. I thank my thesis advisers, Prof. Heikki Haario and Prof. Pekka Neittaanmäki, for introducing me to the fascinating world of scientific computing and helping me to find my place in this world.



PhD defense, Chairman: Heikki Haario (middle), Opponent: Peter Hansbo (left).

■ ■ ■



Kullervo Hirvonen, FT, apulaisprofessori, matematiikan yliopettaja
Syntynyt Leppävirralla 1947

Oppikoulu Varkaudessa, ylioppilaaksi 1965 Kuoppakankaan yhteiskoulusta. Samana syksynä alkoi luonnontieteellinen koulutus Jyväskylän Yliopistossa, jonne hakeuduin opiskelemaan.

Väitellyt tohtoriksi 2001.

Matematiikasta muodostui pääaineeni, vaikka myös kemiaa ja fysiikkaa opiskelin alusta pitäen. Ratkaisevaa oli, että sain ensi yrittämällä läpi kurssin Analyysi 4, jota kutsuttiin myös nimikkeellä Iso Integraali. Kyseisen kurssin tenttikysymykset tulivat siihen aikaan Helsingin Yliopistolta. Myöhemmin sitten myös preppasin kyseisen kurssin opiskelijoita tenttiä varten – yksi heistä oli tuleva kustokseni Pekka Neittaanmäki. Molemmat olemme saaneet hyvän tuen ja kannustuksen professori Ilppo Simo Louhivaaralta. Minulla oli aloittavan ryhmän opiskelijana ilo olla hänen kaikilla Analyysien kursseillaan.

LuK-tutkinto valmistui lokakuussa, FK joulukuussa 1968 ja FL vuonna 1971. Syksystä 1967 alkaen tarjottiin assistentin osa-aikaisia tehtäviä matematiikan laitoksella ja vuotta myöhemmin kokonaista assistenttuuria. Assistentteina toimi itse asiassa 1965 opintonsa aloittaneista yllättävän moni opiskelutoveri. Lehtorin (*vt*) tehtävissä olin pari vuotta 1969–1971, minkä jälkeen hoidin (*vt*) apulaisprofessuuria vuoden 1975 toukokuun loppuun asti.

Professori Ilppo Simo Louhivaara (*ISL*) oli keskeinen vaikuttaja koulutusten käynnistäjänä ja organisoijana, mutta myös matematiikan opettajana. Hänen ohjauksessaan tein lisensiaattityöni, jonka pohjalta yritin kypsyttellä jatkoa väitöskirjaan tähdäten. Tuloksena oli kuitenkin vain pari lyhyempää tutkimusraporttia JY:n omassa julkaisusarjassa (*nrot 18 ja 22*). ISL ehdotti tutkimuksen jatkoa ulkomailla, mutta perhetilanteeni, puoliso ja 3 tytärtä, asetti omat rajoituksensa ja ne jäivät.

Vuoden 1976 alussa minua pyydettiin hoitamaan Kuopioon sovelletun matematiikan apulaisprofessuuria. Kuopion koulutus oli räätälöity ajatellen sairaalafysiikon tehtäviä. Asepalveluksen 1976–77 jälkeen jatkoin Kuopiossa kesään 1980 asti, jolloin siirryin kotikaupunkiini Varkauteen perustetun prosessiteollisuuden automaatiota kehittävän Altim Control Ky:n (*AC*) palvelukseen.

AC:lle minut palkattiin mm. Kuopiossa hankitun erikoisosaamisen perusteella, tärkeimpänä varmaankin signaalianalyysi, johon siellä perehdyin ja panostin. AC:llä tehtäväksi tuli vetää projektia, jonka tavoitteena oli sahatun puutavaran automaattinen laadunmittaus käytettäväksi sahauksen koneautomaation osana A. Ahlström Oy:n särmäysautomaateissa sekä lopputuotteiden lajittelussa. Projektissa kehitetty laserskanneriin perustuva mittausmenetelmä patentoitiin 9 eri maassa.

AC –vuosina toteutin useampia automaatioprojekteja mekaanisessa metsäteollisuudes-

sa ja kemian teollisuudessa. Automaation hyödyllisyydestä esimerkki oli, kun uusitun ohjauksen avulla yrityksen tuotanto tehostui niin, että automaation takaisinmaksuaika oli noin 3 kuukautta. Automaatiojärjestelmien perusohjelmointi tehtiin ns. konfiguroimalla eli valmiita ohjelmaloikkoja toisiinsa liittäen kunkin ohjattavan yksikön tarpeiden mukaisesti.

AC –loppuvuosina työskentelin kehitysosastolla. Kehitimme uniikin paperikoneen kunnonvalvontakokonaisuuden osana automaatiojärjestelmää. Uutta järjestelmäsukupolvea kehitettäessä perehdyin tarkemmin säätötekniikkaan, jota kävin opettamassa paikallisessa Walter Ahlströmin teknillisessä oppilaitoksessa.

AC –vuosien jälkeen siirryin matematiikan yliopettajaksi em. oppilaitokseen. Tällöin jäi aikaa omalle tutkimustyöajattelulle. Kysyttelin sahatavaran laadun mittaamenetelmään liittyvää *"väitöskirjatekstiä"*. Kirjoitin sitä niin pitkälle, että se olisi ehkä voinut riittää sisällöksi. Olisin kuitenkin halunnut vielä mallintaa menetelmän toimivuuden yksityiskohtaisen fysikaalisen mallin puitteissa, mutta se osa ei tullut valmiiksi ja väitös jäi puuttumaan. Kyseinen malli olisi ilmeisen hyvä aiheena optiikan alan väitöskirjalle, ehkä useammallekin?

Osallistuminen kunnallispolitiikkaan sai minut kiinnostumaan myös talouspolitiikasta. Mietin, miten säätötekniistä ajattelua voisi soveltaa yritysten työvoimakustannuksiin. Suure, jonka seurantaan päädyin säätöä ohjaavana mittausuureena oli työvoimakustannusten osuus yrityksen arvonlisässä. Se vaihtelee yrityskohtaisesti ja sen omien suhdanteolosuhteiden mukaan ja sen arvo riippuu myös työvoimavaltaisuudesta.

Mallissa kompensoidaan suhdannevaihteluiden vaikutuksia yrityksen kustannuksiin. Lisäksi mallissa työvoimakustannusten taso (*"työvoimavero"*) on edullisempi työvoimavaltaisilla aloilla kuin pääomavaltaisilla aloilla. Työvoimaveron taso on korkeimmillaan, kun yrityksellä menee hyvin ja matalimmillaan, kun yrityksellä on laskukausi. Tämä voisi tarkoittaa sitäkin, että parhaimmillaan ei tarvittaisi mitään maan hallituksen toimia suh-



Vastaväittäjä Ilppo-Simo Louhivaara, kustos Pekka Neittaanmäki, väittelijä Kullervo Hirvonen. Selin muut opettajani Veikko Nevanlinna ja Matti Hannulainen.

dannevaihteluissa. Merkittävin etu mallissa olisi se, että sääteily tapahtuisi yrityskohtaisesti. Sopisiko siis tähänkin päivään?

Tästä mallista kehitteletin raportin Jyväskylän yliopiston matematiikan laitoksen julkaisusarjaan *Hirvonen, K. (1997): On Flexibility and Adaptive Control of Labour Costs of Enterprise. University of Jyväskylä, Department of Mathematics, Laboratory of Scientific Computing, Report 12/1997*. Se sai myönteisen palautteen ensimmäiseltä tutkimusteni ohjaajalta Ilppo Simo Louhivaaralta. Professori Pekka Neittaanmäen ratkaisevaksi muodostuneen kannustuksen johdosta kyseisestä julkaisusta hierottiin väitöskirja vuoden 2001 kesän ja syksyn aikana. Joulukuussa Louhivaara toimi vastaväittäjänä ja Neittaanmäki kustoksena väitöstilaisuudessa. Hämmästykseni oli suuri, kun sain FT -tutkintotoistuksen aivan joulun alla.



Pekka Neittaanmäki, Kullervo Hirvonen, Ilppo-Simo Louhivaara.



Matti Hannukainen ja Kullervo Hirvonen.



Kari Saarinen, FT, dosentti

Syntynyt 1958 Karjalohjalla

Väitellyt 2001 Tietotekniikasta

Katselin aamulla omakotitaloni makuuhuoneen ikkunasta, kun kauris söi noin kymmenen metrin päässä maahan pudonneita omenoita suuren, isoisäni aikoinaan istuttaneen, omenapuun alla. Samoilla paikoilla Lohjansaaressa olen ottanut ensimmäiset askeleet kohti tutkijan uraa selvittämällä rullamitan koostumusta purkamalla sen pieniin osiin. Ikää minulla silloin, noin 63 vuotta sitten, oli kaksi tai kolme vuotta. Muistot heräsivät, kun sain Pekka Neittaanmäeltä kutsun kirjoittaa muutaman sanan tutkijan urastani. Koko lapsuuden ja nuoruuden olen ollut kiinnostunut tuotekehityksestä. Kun kaverini sai jostain pari kiloa ruutia, kehitimme rautaputkesta tykin, jonka tinasta valetut ammuksot menivät helposti kakkosnelosen läpi. Ura tykkien ja mittaamisen parissa jatkui armeijassa, jossa sain mittausupseerin koulutuksen.

Varusmiespalveluksen jälkeen aloitin opinnot Jyväskylän yliopistossa pääaineena fysiikka ja sivuaineina matematiikka sekä tietojenkäsittely. Opintojen aikana heräsi mielenkiinto erityisesti numeeriseen matematiikkaan ja ohjelmointiin. Ostin Commodore 64 kotitietokoneen, jolla testasin opittuja menetelmiä. Opinnon sujuivat hyvin ja sain 1984 kesäharjoittelijan paikan matematiikan laitokselle. Työ oli suurelta osin Pekan esittämien menetelmien ohjelmointia ja testausta. Useat laskelmat päätyivät julkaisuihin. Ensimmäisen kosketuksen teollisuussovelluksiin sain heti kesäharjoittelun jälkeen, jolloin tein töitä TEKESin rahoittamissa "*Teräksen jatkuvavalu*" ja "*Rinnakkaislaskenta ja supertietokoneet*" tutkimusprojekteissa. Projektien jälkeen työskentelin sovelletun matematiikan assistenttina. Gradun aiheen sain, kun menin Pekan ehdotuksesta tutustumaan Helsingin yliopiston kvanttikemian ryhmän *Schrödingerin yhtälön* numeeriseen ratkaisemiseen. He käyttivät tuolloin noin 30% Suomen supertietokoneajasta. Testausmielessä ohjelmoin osan tehtävästä Commodore 64 tietokoneelle, joka ratkaisi sen muutamassa hetkessä kohtuullisella tarkkuudella. Monta vuotta jälkepäin kuulin, että tämä on ollut ainakin osasy Pekan "*Järkeä kertaa rauta on vakio*" lauseeseen. Tein siis matematiikan gradun *Schrödingerin yhtälön* numeerisesta ratkaisusta, joka julkaistiin lehtiartikkelina [1].

Ura teollisuudessa alkoi sattumalta. Näin kesällä 1986 fysiikan laitoksen ilmoitustaululla työpaikkailmoituksen ja ihmettelin puoliääneen: "*Mitähän tuo mahtaisi olla?*" Ilmoituksen kiinnittäjä seisoj takanani ja soitti ilmoituksen laatijalle, että täällä saattaisi olla yksi kiinnostunut. Sain seuraavana päivänä puhelinsoiton ja kutsun vierailulle Ström-

berg Oy:lle Vaasaan. Tarjotut työtehtävät vaikuttivat mielenkiintoisilta ja aloitin Vaasassa Strömberg Oy:n automaatiolaboratoriossa Josu Takalan ryhmässä 1.8.1986.

Muutaman kuukauden jälkeen minut määrättiin *kuumahierreprosessin* ohjauksen kehittämiprojektiin. Menetelmällä puukuidut erotetaan toisistaan mekaanisesti kapeassa raossa. Prosessia on hankala säätää ja se kuluttaa valtavasti energiaa. Strömberg Oy:n ja Tampereen teknillisen korkeakoulun yhteistyöprojektissa oli syntynyt ajatus käyttää hierteen kosteuden mittausta prosessin ohjaamiseen. Oulun VTT kehitti monikanavaisen lähi-infrapuna teknologiaa hyödyntävän mittalaitteen prototyypin, jonka testaukset aloitettiin Rauma-Repolan tehtaalla Raumalla. Tehtäväni olivat mittalaitteen kalibroinnin ja siihen perustuvan säädön kehittäminen. Tehdaskokeita ja kehitystyötä tehtiin aluksi useissa hiertämöissä Suomessa ja sen jälkeen Ruotsissa sekä Norjassa. Ensimmäisiä tuloksia julkaistiin *Paperi ja Puu* -lehdessä [2]. *Adaptiivinen säätö* julkaistiin kirja-artikkelina [3]. Näiden lisäksi systeemiä esiteltiin alan konferensseissa muun muassa Suomessa, Italiassa ja Kanadassa. Ruotsissa tehtyjen kokeiden tulokset julkaistiin lehtiartikkelina [4].

Vaikka siirryin maisteriksi valmistumisen jälkeen teollisuuden palvelukseen, oli suunnitelmistani aina ollut jatkotutkimuksen suorittaminen. Olin opiskellut jo ennen matematiikan laitokselle siirtymistä teoreettisen fysiikan laudaturin ja opintojen loppuvaiheissa olin suorittanut lisensiaatintutkintoon vaadittavia opintoja. Sain vuosiksi 1990–1992 Suomen akatemialta teollisuustutkijan apurahan. Sen avulla täydensin fysiikan opintoja tekemällä sivu-gradun hierteen kosteuden mittaamisesta lähi-infrapuna säteilyn avulla. Lisensiaattityöni koostui kuumahierreprosessin säädöistä ja mittauksista julkaistuista artikkeleista.

Lisensiaatiksi valmistumisen jälkeen 1993 siirryin työskentelemään ABB:n tutkimuskeskukseen Vaasaan (*yhtiön nimi oli yrityskauppojen ja fuusioiden myötä muuttunut ABB:ksi*). Sähkömoottori on teollisuuden tärkein peruskomponentti. Arviolta 50% kaikesta maailman energiasta käytetään sähkömoottoreissa. Usein niiden pitää pyöriä keskeytyksettä 24 tuntia vuorokaudessa vuoden kaikkina päivinä. Heti 1993 alussa toiseksi tutkimusalueekseni tuli sähkömoottoreiden diagnostiikka, jota teen vielä tänäkin päivänä. Vuonna 1994 suoritin työn ohessa noin vuoden kestävästä keskijohdolle tarkoitettua *ABB Manager* kurssin. Hieman sen jälkeen aloitin "*Simulations and Algorithms*" ryhmän vetäjänä.

Väitöskirjan tekemistä varten sain Suomen akatemialta lisärahoituksen vuosiksi 1995–1996. Sen turvin jatkoin kuumahierreprosessin mittausten ja säätöjen kehittämistä. Kehitin yhdessä Karri Muinosen (*Helsingin yliopiston tähtitieteen laitos*) kanssa valonsironta mallia puukuiduille ymmärtääkseni paremmin lähi-infrapunasäteilyyn perustuvan mittarimme toimintaa. Kävin tekemässä sirontamittauksia puukuiduista Saksan avaruustutkimuskeskuksessa Stuttgartissa ja Euroopan unionin tutkimuskeskuksessa (*JRC*) Italian Isprassa. Stuttgartin mittaustuloksien vertailu kehitettyyn teoreettiseen malliin julkaistiin lehti artikkelina [5]. Kirjoitimme Karrin, joka on nykyään fysiikan professori Helsingin yliopistossa, kanssa yhteensä neljä julkaisua. Keväällä 2001 tapasin Pekan Jyväskylässä yhteistyöprojektin merkeissä. Hän pyysi nähdä julkaisuni paperille tulostettuna. Pekka

poistui hetkeksi ja ojensi sen jälkeen julkaisut yhteen niitattuna ja sanoi: "*Väitöskirjasi versio 0.0*". Seuraavat versiot kirjoitin 3 kuukauden aikana COMAS-tutkijakoulussa Jyväskylässä. Käytettävissä ollut aika tuli optimoitua melko tarkkaan. Viimeistelin väitöskirjaa viikonloppuna Pekan luona, kun sen piti olla valmis painettavaksi maanantaina 5.12 kello 12. Uurastin koko sunnuntai yön ja sain sen painovalmiiksi maanantaina kello 10. Väitöstilaisuus oli Jyväskylässä 20 joulukuuta 2001 vastaväittäjänä professori Heikki Koivo Helsingin teknillisestä korkeakoulusta ja kustoksena professori Pekka Neittaanmäki. Väitöskirjani "*Near Infra-Red Measurement Based Control System for Thermo-Mechanical Refiners*" koostui yhteenvedosta, kuudesta vuosina 1990–1993 prosessin säätöön liittyvästä artikkelista, kahdesta puukuidun ja infrapunasäteilyn vuorovaikutusta kuvaavasta artikkelista, sekä hierteen laatusuureen *freeneksen* mittaamisen patentista. Mittalaitteiden kalibrointi esitellään tarkasti yhteenvedossa. Ehkä on hyvä myös mainita kaupallinen menestys; väitöskirjan valmistumiseen mennessä noin 120 nimellä *AutoTMP* kulkevaa hier-tämön säätöjärjestelmää oli myyty ympäri maailmaa.



Väittelyn jälkeen 2001. Vasemmalla kustos professori Pekka Neittaanmäki, keskellä väittelijä Kari Saarinen, oikealla vastaväittäjä professori Heikki Koivo.

ABB:n ja sen tutkimuksen uudelleen organisoinnin jälkeen olin ainoa automaatio alan tutkija Suomen tutkimuskeskuksessa ja myös ainoa ryhmäni jäsen. Niin ei voitu jatkaa, joten jouduin 2005 valitsemaan siirtymisen Ruotsin tai Saksan tutkimuskeskukseen tai johonkin liiketoimintayksikköön. Valitsin Ruotsin, eikä ole tarvinnut katua. Muutin keväällä 2005 vaimoni kanssa Västeråsiin. Siellä sijaitsevalla 1916 perustetulla tutkimuskeskuksella on maineikas historia lukuisine teknologisine läpimurtoineen. Niihin kuuluvat muun muassa maailman ensimmäiset synteettiset timantit ja maailman ensimmäinen teollisuusrobotti. Ero Suomen tutkimuskeskukseen oli valtava. Sijoituin tutkimusryhmään, jota veti vakituisen professorin paikalta teollisuuteen siirtynyt säätötekniikan tutkija ja kaikilla muilla paitsi yhdellä ryhmän jäsenistä oli tohtorin tutkinto. Koko henkilökunnasta, sihteerit ja asentajat mukaan lukien, noin 70%:lla oli tohtorin tutkinto, kun Suomen tutkimuskeskuksessa tohtoreiden osuus oli noin 4%. Muutaman vuoden päästä muutostani Suomen ja Norjan tutkimuskeskukset lopetettiin ja kaikki pohjoismainen tutkimus keskitettiin Ruotsiin, jossa oli tutkijoita 45:stä eri maasta. Eräänä vuonna huomasi, että ainakin viisi Suomessa väitellyttä tutkijaa teki tutkimusta Suomen liiketoimintayksiköille Ruotsista käsin.

Ensimmäisinä vuosina Ruotsissa jatkoin väitöskirjassani käytettyjen menetelmien soveltamista paperiteollisuuden *valonsirontaan* perustuvien mittauksien kehittämiseen Irlannissa olevalle liiketoimintayksikölle. Kaksivuotisen tutkimuksen lopputulos oli, ettei ehdotetulla laserkolmiomittaukseen perustuvalla teknologialla voi päästä vaadittuun 1 mikrometrin tarkkuuteen, joten siirryttiin käyttämään pituussuuntaista kromaattista poikkeamaa (*longitudal chromatic aberration*). Uusi tuote paperin paksuuden kosketusettomaan on-line mittaukseen esiteltiin 2008.

Uudeksi tutkimusalueeksi sain teollisuusrobottien vikadiagnostiikan, josta kirjoitin useita yhteisjulkaisuja, sekä olin gradujen, lisensiaatintyön ja väitöskirjan apuohjaaja. Ensimmäiset tulokset esiteltiin Pietarissa [6]. Brasilialaisen väitöskirjatutkijan kanssa julkaistiin useita papereita muun muassa [7].

Vuonna 2008 siirryin kuudeksi kuukaudeksi vierailevaksi tutkijaksi ABB:n USA:n tutkimuskeskukseen. Tehtävänä oli kehittää sähkönjakelun keskijänniteverkon tapahtumaluokittelija. Ruotsiin palattuani jatkoin kehitystyötä etänä. USA:ssa jakeluyhtiöt joutuvat maksamaan sähkönjakelun keskeytyksistä asiakkailleen korvauksia keskeytyksen pituuden mukaan. Automaattisen tapahtumaluokittelijan avulla keskeytyksien pituutta saatiin lyhennettyä. Projektiryhmä voitti ehdotuksella: *“Real-time Distribution Feeder Performance Monitoring, Advisory Control, and Health Management System”*, USA:n energiaministeriöltä 3 miljoonan dollarin palkinnon.

Vierailin myös useita kertoja ABB:n Puolan tutkimuskeskuksessa, yhteensä noin 6 kuukautta. Puolan kollegat tiesivät tennisharrastuksestani ja olivat ilmoittaneet minut Krakovan amatööri pelaajien tennisturnaukseen. Putosin vasta neljännellä kierroksella hävittyäni turnauksen voittajalle.

Vuonna 2015 sain dosentin arvon Jyväskylän yliopistoon alueena teollisuuden informaatio teknologia. Vuosiksi 2016–2017 sain EU:lta varttuneen tutkijan Marie Curie



Krakovan tennisturnaus 2008.

apurahan (*Marie Curie Fellowship*) lisäpätevöitymistä varten ulkomaisessa yliopistossa. Koska työpaikkani oli Ruotsissa, Jyväskylän yliopisto täytti ulkomaisen yliopiston tunnusmerkit. Apurahan ehtoihin kuului, että vähintään 50% ajasta piti olla fyysisesti Jyväskylässä. Apurahan saajat voivat käyttää Marie Curie Fellow titteliä.

Covid 19 pandemian alkaessa kaikki, joille se oli suinkin mahdollista, komennettiin etätöihin. Koska olin rakentanut talon synnyinseudulleni Lohjansaareen, muutin vaimoni kanssa takaisin Suomeen ja aloitin etätöitä. Niiden tekeminen oli jo tuttua aikaisemmalta ajalta, jolloin tein yhteistyötä etänä muiden ABB:n tutkimuskeskusten kanssa. Myös akateeminen maailma sopeutui nopeasti uuteen tilanteeseen. Olin vastaväittäjänä etänä Norjassa olleessa väitöstilaisuudessa. Toinen vastaväittäjä osallistui etänä Pariisista. Pandemian loputtua sain luvan jatkaa toistaiseksi etätöitä Suomesta käsin.

Yliopistot ovat tulevaisuuden teknologian hautomoita, ja yksi ABB:n tutkimuskeskusten tehtävistä on muuttaa yliopistotutkimus teollisuusvalmiiksi teknologia-alustoiksi. Teemme yhteistyötä yli 100 johtavan yliopiston ja tutkimuslaitoksen kanssa ympäri maailmaa tutkimusverkostojen rakentamiseksi ja uuden teknologian edistämiseksi. Yliopistoyhteistyöt lyhentävät aikaa, joka tarvitaan perusideoiden muuttamiseen toteuttamiskelpoisiksi tuotteiksi. ABB:llä on pitkäaikaiset ja strategiset suhteet useiden johtavien oppilaitosten kanssa Yhdysvalloissa, Isossa-Britanniassa, Ruotsissa, Saksassa, Sveitsissä, Puolassa, Intiassa ja Kiinassa. Suomessa yhteistyökehyssojimuksia on muun muassa Aalto-yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa. Osalla ABB:n tutkijoista, kuten itselläni, on myös dosentin tai liitännäisprofessorin (adjunct professor) rooli yliopistossa.

Tutkimuskeskukset ovat hyvä kanava rekrytoida uusia työntekijöitä harjoittelupaikkojen ja gradujen kautta. Meidän kaikissa tutkimusprojekteissa Ruotsissa mietitään mikä osa tutkimuksesta voitaisiin tehdä graduna. Esimerkiksi oman ryhmän osalta suunnitelmassa on tarjota vuodelle 2025 kymmenen gradun tekopaikkaa, jotka ilmoitetaan yhtiön verkkosivuilla. Tarjoamme heille tarvittaessa majoituksen. Gradun tekeminen kestää kuusi kuukautta ja sisältää ohjauksen. ABB osallistuu myös yliopistojen erilaisiin tilaisuuksiin. Hyvänä esimerkkinä tämän merkityksestä on ohjauksessani ollut kesäharjoittelija. Ruotsalainen naispuolinen kollegani piti esitelmän Aalto-yliopiston sukupuolten moni-

naisuuden edistämistilaisuudessa. Tämän perusteella kuulijana ollut nuori belgialainen väitöskirjaopiskelija nainen otti yhteyttä esitelmän pitäjään ja kysyi harjoittelumahdollisuutta. Koska hänen väitöskirja-aiheensa liittyy omaan tutkimusprojektiin, päätyi hän harjoittelijaksi projektiin. Tavoitteena hänellä on väitellä ensi vuonna, kolmantena opiskeluvuotena, 25-vuotiaana, tekniikan tohtoriksi.

ABB:n tutkimuskeskuksissa ei tehdä juurikaan tuotekehitystä vaan kehitetään uusia teknisiä ratkaisuja, joiden pohjalta liiketoimintayksiköt voivat aloittaa tuotekehityksen. Joissain projekteissa ollaan hyvin lähellä perustutkimusta ja tulokset julkaistaan esimerkiksi Physical Review Letters sarjassa. Tutkimustulokset on tärkeä suojata patenteilla. Minulle niitä on kertynyt yli 50. Tohtorin tutkinnolla on ollut suuri merkitys urallani, sillä ilman sitä olisin tuskin päässyt töihin Ruotsin tutkimuskeskukseen.

1. **Neittaanmäki P., Saarinen K.**, Multigrid Approach for Molecular Calculations. Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik 67, T 436 - T 437, 1987.
2. **Saarinen K., Savonjousi A.**, Hierteen tiheys- ja kosteussäätöjärjestelmä TERMAP ja hierrinlinjan automatisointi. Paperi ja Puu - Paper and Timber 5, 1989
3. **Saarinen K.**, Application of Adaptive Model Predictive Consistency Control in TMP Mill. Proceedings of ECMI90-conference, Lahti (1990).
4. **Hill J., Saarinen K., Stenros R.**, On the Control of Chip Refining Systems. Pulp & Paper Canada 94:6, 1993.
5. **Saarinen K., Muinonen K.**, Light scattering by wood fibers. Applied Optics 40(28), 5064–5077, 2001.
6. **Sander-Tavallaey S., Saarinen, K.** Backlash Identification in Transmission Unit. 3rd IEEE Multi-conference on Systems and Control (MSC 2009) St Petersburg, Russia 2009.
7. **Bittencourt A. C., Saarinen K., Sander-Tavallaey S., Gunnarsson S., Norrlöf M.**, A data-driven approach to diagnostics of repetitive processes in the distribution domain – Applications to gearbox diagnostics in industrial robots and rotating machines. Mechatronics 24(8), 1032-1041, 2014.



Janne Kujala, FT 2004, apulaisprofessori UTU

Väitellyt tohtoriksi 2004

Aloitin lukion jälkeen tietotekniikan opinnot Jyväskylän yliopistossa, jossa sivuaineikseni valitsin matematiikan ja tietoliikenteen. Opinnot sujuivat hyvin ja muutaman vuoden kuluttua Pekka katsoi opintosuorituksiani todeten, että *"Sinähän valmistut ensi vuonna"*. Pekka sitten palkkasikin minut kesäharjoittelijaksi tietotekniikan laitokselle, jolloin tein mm. erilaisia osittaisdifferentiaaliyhtälöihin liittyviä testauksia. Muistan hyvin kuinka Pekka oli tuolloinkin aina tavoitettavissa. Tästä esimerkkinä kesällä loma-ajalta, jolloin kysäisin milloin Pekka mahdollisesti olisi laitoksella, minulle vastattiin Pekan olevan kotona, mutta *"Odota vain niin hän tulee"*. Muutaman minuutin kuluttua hän ilmestyi paikalle ja keskustelimme mahdollisista graduaiheista. Aihe löytyi Bayes-tilastotieteen menetelmistä, jolloin ohjaajakseni tuli lähes ikäiseni Tuomas Lukka. Tuomas oli väitellyt jo 20-vuotiaana ollen Suomen nuorin tohtori. Pääsin osaksi Tuomaksen tutkimusryhmää, joka kehitti tietokoneisiin vaihtoehtoista tietorakennetta ja käyttöliittymää perinteisille tiedostoille osittain muun muassa hypertekstin ja hypermedian käsitteiden keksineen amerikkalaisen Ted Nelsonin ajatusten pohjalta. Tutustuin Tuomaksen kautta myös go-lautapeliin opiskelu- ja jatko-opiskeluaikoina – go oli hyvää vastapainoa pitkien tutkimus-, koodinkirjoitus-, tai konferenssipaperisubmissiorupeamien jälkeen. Go oli mielenkiintoinen tuttavuus myös siltä kannalta, että toisin kuin esimerkiksi shakissa, silloiset go-tekoälyt eivät pärjänneet alkuunkaan ihmisille kunnes vuonna 2016 AlphaGo-tekoäly voitti ammattilaispelaajaan kirkkaasti neljän pelin sarjassa.

Maisteriksi valmistuin loppukesästä vuonna 2000. Tutkimus kiinnosti minua. Niinpä hain Pekan kannustamana COMAS-tutkijakouluun ja sain rahoituksen Tuomaksen projektin motivoimiin tutkimusongelmiin. Ohjaajinani toimivat Tuomas ja Pekka. Aiheen fokus ei ollut kovin perinteinen, mutta Pekka piti riskien minimoinnin kannalta vain hyvänä asiana sitä, että minulla oli sekä perinteisempää tutkimusta (*Bayes-tilastotieteen menetelmiä*) että uudempaa alaa. Välillä pohdin mittateoreettisia todistuksia ja välillä taas rakentelin legoilla tutkimusryhmän kanssa huoneen lattialla, eräänkin kerran, kun Pekka toi vierailevaa professoria tutustumaan urauurtavaa tutkimusta tekevään tutkimusryhmäämme Pelkästä leikistä ei kuitenkaan ollut kyse, sillä teimme legoista mm. uudenlaisia ohjaimia uusia käyttöliittymiä varten.

Väittelin vuoden 2004 loppupuolella ja väitöskirja palkittiin Agora-väitöskirjapalkinnolla.



Vasemmalla vastaväittäjä Keijo Ruotsalainen, keskellä Pekka Neittaanmäki, oikealla Janne Kujala.

Väittelyn jälkeen sain erikoistutkijan paikan EU-rahoitteisessa projektissa, jossa pääsin laajalti soveltamaan väitöstutkimustani ja etenkin adaptiivisia Bayes-estimointimenetelmiä. Sain rahoituksen Suomen akatemialta tutkijatohtorin paikkaan vuosille 2008–2010 aiheenani oppimispelien adaptaation periaatteet. Olin tutkimukseni myötä saanut kansainvälisiä yhteyksiä matemaattisen psykologian tutkijoihin ja lupauduin järjestämään eurooppalaisen matemaattisen psykologian konferenssin Jyväskylässä. Tässäkin haastavalta vaikuttavassa tehtävässä Pekka neuvoi omaan tyyliinsä miten konferenssin voi olennaisesti järjestää kahdella sähköpostilla: yksi tilavarausten ja toinen hotellihuonevarausten tekemiseksi.

Työskentelin post-doc aikanaani monialaisissa hankkeissa, joissa olin käytännössä ainoa oman alani edustaja. Tutkimustuloksia tuli, mutta oman alani tutkimukseen keskittymiselle oli vaikea saada jatkorahoitusta. Päätin tästä syystä rikastaa uraani hakemalla työpaikkaa yrityksistä. Lopulta sain paikan ZenRobotics-yrityksestä, jonka yksi perustajista Tuomas oli. Työskentelin ZenRoboticsissa noin seitsemän vuotta Scientist, Senior Scientist ja lopuksi Principal Scientist -tehtävässä. Jatkoin kuitenkin tutkimuksen tekemistä myös aikaisemmista aiheistani vapaa-ajalla sekä kansainvälisiä yhteistyökuvioitani.

Halusin lopulta takaisin akateemiselle puolelle, jolloin Pekka oli jälleen avainasemassa järjestämällä dosentuurin entiseen tiedekuntaani. Pekka katsoi, että tutkimukseni pohjalta dosentuurin ala olisi tieteellinen laskenta, erityisesti laskennallinen tilastotiede. Aloin hakea akateemisia paikkoja, mutta ongelmaksi näytti muodostuvan opetuskokemuksen puute. Lopulta auki oli täsmälleen oman alani laskennallisen tilastotieteen tenure track



Tuomas (Lukka) ja Janne (Kujala) ja uniikit taustatekstuurit - käyttöliittymäteknikka, jonka kehittämiseen liittyvään metodologiaan väitöskirjani kaikki osat tavalla toisella liittyivät.

-paikka Turun yliopistossa. Sain paikan, ja aloitin 2019 apulaisprofessorina. Opetan tällä hetkellä oman alani kursseja, teen pedagogisia opintoja ja nyt meneillään on viimeinen vakinaistamista edeltävä vaihe.

Ilman Pekan ja Tuomaksen antamaa tukea ja ohjausta näissä urani eri vaiheissa tämä polkuni olisi voinut näyttää hyvin toisenlaiselta ja olen heille hyvin kiitollinen.



Tero Tuovinen, FT (2011)

Jyväskylän Ammattikorkeakoulu, Vanhempi tutkija
Jyväskylän yliopisto, Dosentti.
Väitellyt tohtoriksi 2011.

VÄITÖSTUTKIMUKSENI POLKU

Oma väitöspolkuni alkoi jo ennen varsinaisia jatko-opintoja. Näin jälkepäin ajateltuna ajoituksella ja ketteryydellä oli siinäkin varsin suuri merkitys. Etsin kesätyöpaikkaa yrityksistä ja kielteisten vastausten jälkeen olin varsin pettynyt tilanteeseeni. Yliopiston käytäviä kävellessäni havaitsin Prof. Neittaanmäen työhuoneen oven. Hänen maineensa asioiden järjestäjänä oli tiedetty opiskelijoiden keskuudessa ja mielessäni pyörikin jo ennakolta ajatus siitä, että tämä saattaa olla risteyskohta elämässäni. Silloin en vielä kuitenkaan osannut arvioida miten suuresta risteyksestä oli kyse. Tilanteeni oli kuitenkin sellainen, että päätin astua ovesta sisään.

Opiskelijana on tärkeää, että asiat tapahtuvat nopeasti ja mutkattomasti, aikaa ei ole suunnitella toimia puolen vuoden tai vuoden päähän vaan tilanne on usein akuutti ja ratkaisuja etsitään välittömästi. Sain paikan tietotekniikan laitokselle, ensin sovellusprojekteihin ja sitten suuren Eccomas-konferenssin järjestelytehtäviin. Näiden ensimmäisten alan työtehtävien merkitystä ei voi aliarvioida. Konferensseista tuli itselleni jopa yksi tutkimustoimintani kivijalka myöhempää uraani ajatellen. Näin verkostoitumisen merkityksen ja oman roolini foorumin järjestäjänä hienona mahdollisuutena toimia tiedon hubissa ja vaikuttaa sitä kautta tieteellisen yhteisön kehitykseen.

Oma väitöstyöni alkoi luontevasti maisteriksi valmistumisen jälkeen. Toimintaympäristö ja henkilöt olivat tuttuja, kiinnostus jatko-opintoihin valtava. Aiheeksi valikoitui neste-rakenne kytkentä paperin tuotannon prosessissa. Jälkepäin ajateltuna aihe ei ollut mitenkään täydellinen, tarve tutkimukselle kumpusi yrityksen tuotekehityksestä ja lisärahoitus yrityksen suunnasta alun jälkeen loisti poissaolollaan. Kun homma oli kuitenkin aloitettu yhdestä aiheesta, jatko-opiskelijana täytyi vain sitkeästi aihetta viedä eteenpäin, liian suuriin muutoksiin ei ole varaa. Rahoitin käytännössä väitöstyöni työskentelemällä erilaisissa projekteissa hallinnollisissa tehtävissä.

Väitöstudkimuksen valmiiksi asti saattamiseen vaikutti erittäin merkittävästi hyvä tutkimusryhmä, joka saatiin kovin ponnisteluin kasattua. Kansainvälinen yhteistyö ja ohjaaja toivat mukanaan uudenlaisen näkökulman aiheeseen ja oman tiimin tuki tekemiselle oli loistavaa. Saman aihepiirin väitöksiä tehtiin lopulta viisi kappaletta ja tuloksista sekä niiden jatkoista on nyt jo julkaistu kolme kirjaa. Kokonaisuudessaan tutkimus on kestänyt aktiivisesti noin 15 vuotta.

Mielestäni tohtorin hatun saamisella ei ole suoranaisesti itseisarvoa vaan kyse on siitä miten hankittua meriittiä kukin pystyy hyödyntämään. Väittelemine avaa ovet akateemiseen maailmaan ja uudenslaisiin keskusteluihin. Erityisesti kansainvälisessä tieteellisessä yhteistyössä väittelemine on ehdoton vaatimus. Tämä johtuu varmaan siitä, että väitöskirjoja ja niiden vaatuvuustasoja on hyvin monenlaisia eri maissa, vaikka termi on sama. Tohtoriutta pidetään yleisesti juuri sen takia minimitasona.

Itse olen koko urani ajan halunnut pysyä tutkijana. Väitöstyön jälkeen minulla on ollut tutkijana parempi mahdollisuus vaikuttaa siihen, että voin tutkia itseäni kiinnostavia asioita. Yleisesti ottaen vaikuttaa kuitenkin siltä, ettei oikein mikään prosessi tue sitä, että tutkija vaihtaa aiheita ja liikkuu eri tieteiden ja tutkimusten parissa. Tämä on mielestäni harmi, sillä juuri sellaista ristiinpölyttämistä kehitys kaipaa.

Vietettyäni 18 vuotta yliopistolla ja Agoralla, päätin hakea kokemuksia tutkimuksen tekemiseen muualta ja vaihdoin Jamkin (*Jyväskylän ammattikorkeakoulun*) puolelle. Yliopistolla tekemäni ura tuki hyvin tätä vaihtoa. Siinä vaiheessa AMK kenttä alkoi otamaan ensiaskeleita soveltavan tutkimuksen rakentamisesta organisaatioidensa sisälle. Tämä näkökulma on mielestäni järkevä, sillä yliopistot ovat huomattavasti etäämmällä yrityksistä kuin AMK:t, joiden rajapinta yritysten kanssa on valmiiksi olemassa ja rooli tieteellisen tiedon jalkauttamiseen luonteva.

Yllätyin siitä, miten vieraana yliopistoissa tehtävä tutkimus koetaan ammattikorkeakouluissa. Puhutaan jopa, että AMK:ssa tehtävä tutkimus eroaisi jotenkin yliopiston tekemästä tutkimuksesta. Ainakin teknisillä aloilla, joissa soveltaminen ja yritys yhteistyö ovat aina olleet luontevia, tutkimuksen tekeminen on tutkimista ja siinä pätevät vain ja ainoastaan kansainväliset käytänteet sekä toimintatavat. Itse organisaatioilla ei ole merkitystä, henkilöt ja resurssit ratkaisevat sen miten laadukasta tutkimusta voidaan tuottaa. Toki tämä voi vaihdella tieteenalakohtaisesti. Lisäksi yliopisto pystyy hakemaan rahoitusta tutkimukselle, joka on lähtökohtaisesti uteliaisuusvetoista, ilman näkyviä soveltamismahdollisuuksia. Yleisesti ottaen työni jatkui kuitenkin hyvin samanlaisena siirtymiseni jälkeen.

Olen kiitollinen siitä, että jatko-opintoni olivat mahdollisia ja niiden kautta sain mielekkään ammatin tutkimuksen parissa. Jälkeenpäin ajateltuna moni asia elämässä on sattumien summa. Keskeisenä asiana onnistuneeseen tohtoripolkuun liittyen nostaisin organisaation joustavan asenteen, jossa nuoret tutkijanalut ja juuri väitelleet ovat enemmän kuin vain numeroita taulukoissa. Nuorten aikuisten kanssa toimiessa aikaikkunat ovat usein pieniä, lahjakkuudet pitää tunnistaa nopeasti ja tarjota heille mielekkäitä pähkinöitä pureskeltavaksi. Sitä kautta yliopistomaailmassa saadaan se paras potentiaali hyödynnettyä myös tulevaisuudessa.

• • •



Ilkka Pölönen, FT

Väitellyt tohtoriksi 2013.

Oma taustani on sovelletussa matematiikassa. Tarkemmin sanottuna stokastiikassa, missä tutkitaan stokastisia prosesseja, jotka ovat sattumanvaraisesti ajassa eteneviä tapahtumia. Jotakuinkin se kuvaa myös omaa akateemista uraani, jossa sattumalla on ollut iso merkitys.

Jyväskylään päädyin alunperin perhesyistä. Työskentelin Helsingin yliopistosta valmistumisen jälkeen muutaman vuoden Joensuussa paikallisille rockmuusikoille EU:n rakennusrahastojen rahoittamassa hankkeessa. Tämän hankkeen lähestyessä päättymistään Jyväskylän yliopistolla työskennellyt ystäväni kertoi, että heillä olisi hanketyöntekijän paikka avoinna. Professori Pekka Neittaanmäki etsi tekijää hankkeeseen, jossa laskennallista tietämystä olisi tarve jakaa paikallisiin yrityksiin. Olin aiemmassa työpaikassani työskennellyt samaisen rahoitusinstrumentin kanssa projektipäällikkönä ja taustaltani ollessani soveltava matemaatikko päädyin kyselemään töitä tästä hankkeesta.

Ehdin olla hankkeessa muutaman hiljaisen kesäkuukauden, kun Pekka pyysi käymään huoneessaan ja kertoi, että voisin harkita jatko-opintoja. Ystäväni, joka teki jo väitöskirjaa Pekan ohjauksessa, auttoi minua aiheen mietinnässä. Ajatukseni oli, että tutkimukseni olisi liittynyt jossain määrin peliteoriaan. Olin tehnyt pro graduni matemaattisesta taloustieteestä ja oligopolien teoriasta, jossa peliteoriaa hyödynnetään mallintamaan tasapainotilanteita markkinoilla. Näillä ajatuksilla lähdin tekemään tutkimussuunnitelmaa ja hakemaan jatko-opintopaikkaa.

Suunnitelma ehti vanhentua jo ennen hyväksyntäänsä. Tällöinkin Pekka tuli työpisteeni viereen ja pyysi seuraamaan. Hänen huoneessaan istui israelilainen professori Amir Averbuch. Amir oli tietotekniikan ja laskennallisen data-analyysin professori Tel Avivin yliopistosta. Jyväskylässä hän oli Tekesin rahoittamana FiDiPro -professorina. Amir oli esitellyt Pekalle hyperspektrikameroihin liittyvää omaa tutkimustaan, jotka liittyivät kohteen tunnistukseen spektrin avulla. Amir tiesi myös, että Suomessa oli kameravalmistuksen puolella vakuuttavaa tutkimusta olemassa. Tämän tiedon rohkaisemana yliopisto päätyikin tilaamaan yhden hyperspektrikameran VTT:ltä.

Pekan tytär Noora oli samaan aikaan tekemässä erikoistumistaan ihotautilääkäriksi Päijät-Hämeen keskussairaalassa Lahdessa. Ihosyövän ja spektrikuvantamisen yhdistäminen vaikutti mielekkäältä projektilta. Samaan aikaan yliopistolla oli käynnissä rakenneuudistus, jolla vastattiin Nokian toimipisteen lakkauttamisesta aiheutuneisiin toi-

menpiteisiin. Tämän hankkeen aikana yliopistolla oli paljon Nokian entistä henkilöstöä, jotka myös ideoivat paljon hankkeita liikkeelle – myös hyperspektrikuvantamiseen liittyen. Yhtäkkiä huomasinkin työskenteleväni useissa hankkeissa samaan aikaan tutkien ja vetäen operatiivista toimintaa Pekan toimiessa hankkeiden vastuullisena johtajana.

Amirin hyperspektripapereissa yhtenä tekijänä oli Valery Zheludev, jota Pekka kuvaili minulle nuoreksi lahjakkuudeksi. Päädyinkin tekemään yhteistyötä Valeryn kanssa vuosikymmenen ajaksi. Tosin heti ensimmäisellä tapaamisella selvisi, että Valery oli varttunut eläkkeellä oleva israelilais-venäläinen tiedemies, jonka juuret olivat signaalin käsittelyssä. Valeryn kanssa teimme wavelet pohjaisen menetelmän spektrikuvien käsittelyyn. Kolmas Amirin vaikutuksesta lähtenyt tekijä oli niin sanotut diffuusiokuvaukset, joita voidaan käyttää moniulotteisen datan dimension pienennyksessä. Amir oli vanhoja tuttuja menetelmän kehittäjän professori Ronald Coifmanin kanssa. Coifman oli jatko-opiskelijoinen kehittänyt menetelmää 2000-luvun alkupuolella ja me sovelsimme sitä spektrikuvien kanssa.

Työskentelin siis samanaikaisesti useassa spektrikuvantamista tutkivassa hankkeessa (*metsien, peltojen ja vesistöjen kaukokartoitus, ihosyöpä, rikospaikkatutkimus*). Alkoi minulle kertyä julkaisuja hankkeiden tulosaineiston kautta. Toisaalta Amirin kautta saatu menetelmäosaaminen poiki uutuusarvoa julkaisuihin. Reilun kahden vuoden jatko-opiskelijana olemisen jälkeen huomasin, että minulla alkaa olla aineistoa reippaasti kasassa. Tai oikeastaan Pekka huomautti. Pekan ohje oli, että lataa väitöskirjan taittopohja, tee alustava sisällysluettelo, liitä väitöskirjaan kuuluvat julkaisut mukaan ja tulosta nippu. Kun nippu on paperina kädessä, on sinulla jo siinä monta konkreettista sivua väitöskirjaa. Tämän tehtyäni ja huomattuani lähdin kirjoittamaan väitöskirjajohdantoa ja väittelin alle kolme vuotta jatko-opintojeni alusta.

Kaikkiin hankkeisiin ja tutkimuksiin, joissa olen ollut mukana liittyy monia sattumia ja käänteitä. Jälkikäteen voi polku näyttää kovinkin suoralta, mutta aika monessa kohtaa asiat olisivat voineet mennä toisin. Satunnaisia prosesseja on ollut omalla polullani useita, eivätkä ne loppuneet väitöskirjan valmistumiseen.

Useiden hankkeiden myötä itselleni kasvoi iso yhteistyöverkosto Suomeen ja maailmalle. Tällöin heti väitöskirjan jälkeen pystyin hakemaan rahoitusta useista lähteistä ja saimmekin hankkeita Tekesiltä, Suomen akatemialta, Jane ja Aatos Erkon säätiöltä, Business Finlandilta ja suoraan tutkimusta yrityksiltä. Rahoitukset turvasivat sen, että pystyin rahoittamaan omaa tutkijatohtorin uraani ja toisaalta rakentamaan spektrikuvantamisen laboratoriota Jyväskylän yliopistoon. Rahoituksen turvin pystyin palkkaamaan jatko-opiskelijoita. Samaan aikaan osallistuin opetukseen. Päädyin hakemaan paikkaa professorina, kun sopiva tenure track -paikka aukesi. Muutaman vuoden sisällä nykyiset ansioni arvioidaan ja katsotaan riittävätkö ne vakituiseen täyden professorin paikkaan.

■ ■ ■



Jorma Kyppö, (KTT), FT 2016, JYU

Syntynyt 31.8.1953 Lapväärtissä

Väitellyt 2016.

Kauppätieteiden tohtori, perustutkinto filosofian maisteri sovelletusta matematiikasta. Opiskeli Jyväskylän yliopistossa matematiikkaa ja tietojenkäsittelyoppia. Työskennellyt tietojenkäsittelytieteiden laitoksella vuodesta 1989 tutkijana sekä opettajana useilla kursseilla yli 30 vuotta.

Tämä selvitys väitöskirjan teosta on pitkä. Koska tekoälyyn tutustuin sekä opiskellessa Jyväskylässä tietojenkäsittelyopin laitoksella, että myöhemmin IT-tiedekunnassa, niin johdannoksi voisi sopia myös oheinen *tekoälyn* luoma tiivistelmä sitä seuraavasta yli kymmenen sivun tekstistä:

”Tarinani väitöskirjan parissa kuvaa monimutkaista polkua tutkijanuralla, joka muistuttaa enemmänkin verkostoa kuin suoraa tietä. Huomasin varhain, että matematiikkaa voi oppia monin eri tavoin, ja oma oppimistapani oli verkkomainen, hahmottaen asioita sivupolkujen kautta. Vaikka tehokkuus on tärkeää, tärkeät oivallukset ja yhteydet syntyvät usein juuri sivupolkujen kautta.

Opiskellessani viroa ja slovakia avautui uusia näkökulmia ja henkilökohtaisia yhteyksiä, jotka rikastuttivat elämäni ja työtäni. Karttojen neliväriongelmaan paneutuminen vei paljon aikaa, mutta syvensi ymmärrystäni verkkoteoriasta. Yhteistyö tutkijoiden kanssa eri puolilta maailmaa avasi uusia mahdollisuuksia ja johti moniin saavutuksiin.

Väitöskirjani käsitteli strategiapeliä ratkaisupolkuja, erityisesti monen osapuolen pelejä. Säännöllinen palautteen saanti ohjaajalta auttoi pitämään työn linjassa ja lopulta saavuttamaan ratkaisun. Lopullinen malli syntyi yllättäen pitkän pohdinnan tuloksena ja mahdollisesti pelaajien symmetrisen sijoittelun.

Työskentely oli yksinäistä, mutta ohjaajien tuki oli korvaamatonta. Väitöskirja julkaistiin englanniksi, ja sen vastaväittäjänä toimi merkittävä tutkija, jonka sukujuuret olivat Suomesta. Lopulta väitöskirja valmistui monografiana sekä englanniksi, että suomeksi. ”

POLKUJEN VERKOSTO

Erään väitöskirjan tarina

Alku

Tämän tarinan tarkoituksena on kertoa erään väitöskirjan tarina ja sitä miettiessäni huomasin, että kyseessä ei ole suoraviivainen tutkijan *uraputki* vaan eräänlainen polkujen verkko mikä sopiikin hyvin koska oma tutkimusalueeni on verkkoteoria. Neuvoessani kouluikäisiä matematiikan tehtävissä opin huomaamaan, että eri henkilöt pääsevät matematiikkaan sisälle eri tavoin, pitää vain löytää se reitti. Saman huomasin yliopisto-opiskelijoihinsa. Tästä asiasta kirjoitti aikanaan tunnettu matemaatikko, tietojenkäsittelytieteilijä

ja tekoälyn pioneeri, *Seymour Papert*, kertoessaan omasta matematiikan oppimisestaan, joka oli alussa vaikeaa. Hän oli kuitenkin kiinnostunut puuhailemaan mopojen parissa ja ymmärsi hyvin vaihdelaatikon toiminnan. Sitten hän keksi ajatella matematiikan kaavoja vaihdelaatikkona ja asiat alkoivat aueta. Huomasin jo lapsena, että oma ajattelutapani on verkkomaista. Kun vaikkapa kerron jotain tarinaa, niin käyn yleensä myös ensin läpi tarinalle olennaiset sivupolut, mikä joitakuista saattaa tuskastuttaa. Samoin hahmotin matematiikkaa. Alakoulussa kellotaulun oppiminen oli itselleni hidasta, mutta laskin ylempiluokkalaisten kertolaskuja ennen kertotaulun oppimista heijastamalla mielessäni tehtävän puurakenteeseen.

Sama ajattelutapa toistui myös elämän valinnoissa. Kun yleensä kehoitetaan opiskellessa keskittymään omaan aineeseen tehokkuuden vuoksi, niin jälkikäteen asioita katsellessa olen havainnut, että monet tärkeät reitit syntyvät nimenomaan sivupolkujen ansiosta. Vähän samoin kuin urheilussa todellisilla huipuilla on yleensä ollut monipuolinen lajitausta. Joskus matemaattista tehtävää ratkoessa asiat eivät edisty ja silloin mieli saattaa tarttua toiseen kiinnostavaan aiheeseen ja usein juuri se kiinnostus vie sitä eteenpäin. Tämän ei välttämättä tarvitse viedä harhapoluille koska polkujen verkostossa reitit usein jälleen yhtyvät. Sama koskee myös elämän valintoja. En kuitenkaan suosittelen tätä kaikille!

Polkuja

Otan esimerkin omasta polustani väitöskirjaan. Jossain opiskelun vaiheessa päätin ryhtyä opiskelemaan vuoden sisällä kahta pientä kieltä, viroa ja slovakkia. Kumpaankin oli henkilökohtaiset motiivit, mutta myös rationaaliset. Viron opiskelu avasi monin tavoin suomen vanhoja merkityssisältöjä. Slovakkia liittyi myös tavallaan kiinnostukseeni tekoälyn ja tietokoneiden ajatteluun koska kieli liittyy olennaisesti ajatteluun. Koulupohjalta osasin jo kolme germaanista kieltä ja huomasin miten eri tavoin todellisuus hahmottuu niiden kautta verrattuna suomeen. Ajattelin täydentää tätä kuviota jollain slaavilaisella kielellä, mutta venäjä tuntui hankalalta, mutta sitten huomasin että slovakki oli suomalaiselle helpompaa lausua. Lisäksi se näytti olevan slaavilaisten kielten muinainen nollapiste, *lingua franca*. "*Tuhlasin*" siis opiskeluaikaani myös kieliin. Matematiikan opiskelussa juutuinkin pitkäksi aikaa ratkomaan karttojen neliväriongelmaa (4CC) käyttäen itse kehittämäni *Reunavärimenetelmää*, mikä myös hidasti opiskeluni. 4CC on klassinen ja salakavala ongelma, joka oli jo yli 100 vuoden ajan vienyt monen matemaatikon kaiken ajan, mutta samalla vienyt verkkoteorian kehitystä valtavasti eteenpäin. Ongelma saatiin todistettua vasta 70-luvulla, mutta silloinkin vain tietokoneella. Eräänä päivänä kuitenkin ohjaajani *Aarni Perko* sai minut järkiini ja siirsin kaikki muistiinpanoni syvälle kaapin pohjalle ja päätin olla niihin enää kajoamatta. Tuon "*turhan ponnistelun*" ansiosta pääsin sisälle verkkoteorian maailmaan. Näin polkuverkosto alkoi syntyä kolmesta täysin irrallisesta asiasta, neliväriongelma, viro ja slovakki.

Kaikki kolme polkua alkoivat eri lähtöpisteistä. *Karttojen neliväriongelmaan* tutustuin 70-luvun lopulla *Vesa Savolaisen* verkkoteorian kurssilla. Tämä vaarallisen kiehtova ongel-

ma oli lähtenyt liikkeelle erään opiskelijan, *Francis Guthrien*, viattomasta kysymyksestä vuonna 1852 ja se oli imaissut 100 vuoden aikana lukuisat matemaatikot salakavalasti mukaansa, osan jopa koko elämän ajaksi. Jouduin samaan imuun ja 2–3 vuotta opiskeluajastani kului sen ratkomiseen. Lopulta tein aiheesta sentään gradun. Vironkielen taustalla oli tarttolainen ystävä ja kiinnostus sukukieleen, jonka avulla opin paljon suomenkielestä. Slovaki tuli kuvioihin aivan samaan aikaan. Olin jo kuullut kieltä, josta en tiennyt ennen. En ole kieli-ihmisiä, mutta tietojenkäsittelyopin vuoksi myös ihmiskielten rakenne ajattelun välineenä kiinnosti. Lisäksi slovakia ja viroa opetettiin Jyväskylän yliopistossa. Tämä sivupolku johti myös puolison löytymiseen.

Polut yhtyvät

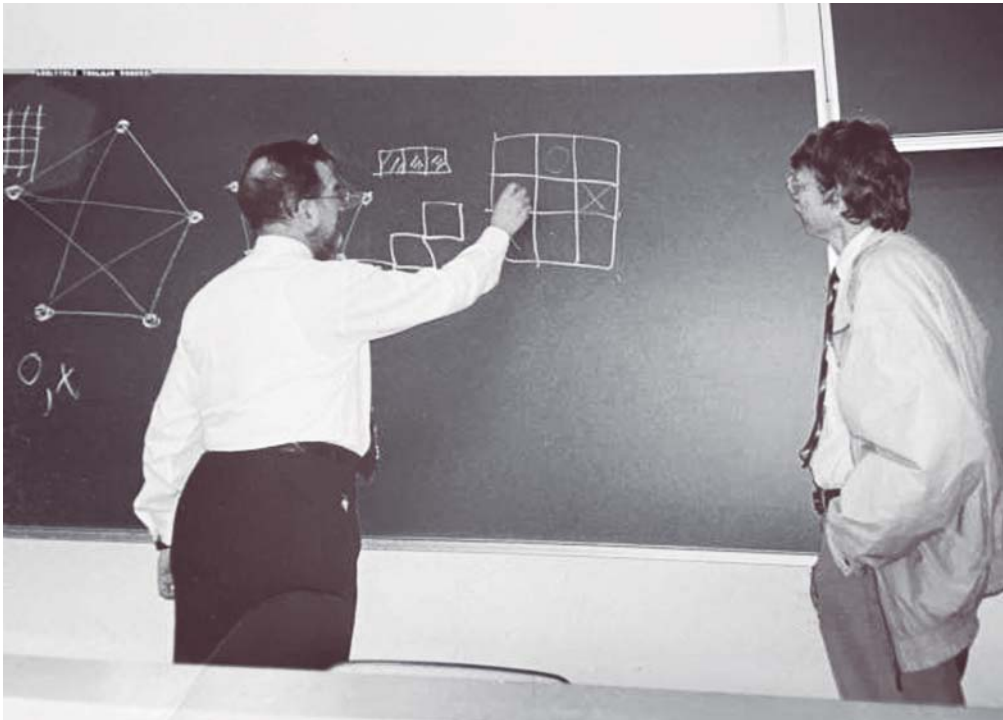
Eräänä päivänä yliopiston kirjastossa materiaalia hakiessani huomasin, että karttojen neliväriongelmasta oli tehty vironkielinen kirjanen, tekijä oli *Mati Kilp* Tarton yliopistosta. Laitoin sen tilaukseen ja sainkin muutaman kuukauden kuluttua. Seuraavana vuonna tuli yllättävä kirje Turusta. Sen oli lähettänyt *Arto Salomaa*, silloinen Suomen ykkösmatematiikko kansainvälisessä julkaisuvertailussa. Kirje kertoi, että hänellä oli vieraana käymässä virolainen *Mati Kilp*, joka oli saanut tietää kirjalainastani ja oli ehdottanut, että kääntäisin sen suomeksi! Polku alkoi kasvaa.

Aikanaan kun aloitin työni tietojenkäsittelyopin laitoksella niin professorini, *Vesa Savolainen*, ehdotti että menisin hänen sijastaan *Prachaticeen*, Tšhekkoslovakiaan verkkoteorian symposiumiin. Tämä koska olin opiskellut slovakiaa. Sinne mennessä lainasin kirjastosta matkalukemiseksi amerikkalaisen professori *Frank Hararyn* kirjan *Graph Theory*. Kuinka ollakaan *Harary* oli yksi symposiumin pääpuhujista. Tapasin hänet sattumalta käytävällä ja pyysin signeerausta kirjaston kirjaan. Hän yllätti vastaamalla, että olikin etsinyt minua! *Harary* oli osallistujalistasta huomannut, että paikalla oli suomalainen ja syy kiinnostukseen oli se, että hänet oli kutsuttu seuraavana vuonna Tartossa pidettävään ensimmäiseen Viron verkkoteorian konferenssiin. Sinne hän oli menossa Helsingin kautta. Mieleeni tuli oitis, että voisin mennä itsekin koska osaan kieltä ja minulla oli Tartossa jo tuttuja. *Harary* jatkoi, että se tuskin onnistuu koska kyseessä oli kutsukonferenssi, mutta voisin toki ottaa yhteyttä organisoijaan. Se oli *Mati Kilp*! Niinpä pääsin konferenssiin.

Verkot ja ihmisverkot

Tutkimusprosessin lähtökohtana ja innoitteena oli siis karttojen neliväriongelma ja tein aiheen teemasta peräjälkeen vielä toisen gradun ja lisensiaattitutkielman *Vesa Savolaisen* ohjaamana 90-luvun alussa ollessani jo töissä tietojenkäsittelytieteiden laitoksella. Karttojen neliväriongelman ratkaisuyritysten yksi suuntaus 1800-luvun lopulla alkoi turhautuneiden matemaatikkojen joukossa suuntautua topologiseen suuntaan *Percy John Heawoodin* johdolla. En enää sotkenut itseäni tämän ongelman suohon, mutta sen ratkaisuyritysten topologinen puoli kiinnosti. Topologinen tarkoitti tässä yhteydessä sitä, että

väritysongelmaa yritettiin seuraavaksi ratkoa muilla kuin pallopinnolla. Ensimmäinen sellainen oli *torus* eli autonrenkaan muoto, jossa *genus* eli aukkojen määrä oli yksi. Sen jälkeen aukkojen määriä lisättiin, mikä johti toiseen tutkimushaaraan, joka sekkin alkoi jo yli 100 vuotta sitten. Neliväriongelman *genus* pallopinnalla on *nolla* ja ironista on, että tämä yleinen ongelma isoimmillakin topologisilla genusarvoilla saatiin todella ratkaistua, mutta se alkuperäinen vasta kymmenen vuotta myöhemmin tietokoneella!



Vesa Savolainen ja Frank Harary Jyväskylässä 1996.

Tuossa vaiheessa 90-luvulla olin jo kiinni opetustyössä ja tutkimusalueena olin kiinnostunut nyt ensisijaisesti topologisesta verkkoteoriasta. Siitä pidin esitelmän Tartossa, jossa 15 vuotta kestänyt yhteistyöni *Frank Hararyn* kanssa alkoi. *Harary* oli minua paljon iäkkäämpi, syntynyt samana vuonna kuin sodan käynyt isäni, Amerikan juutalainen, jonka sukujuuret olivat muinoin tulleet isoisän mukana Syyriasta. Verrattuna omaan taustaani Laukaassa, olimme siis täysin eri kuplasta, mutta meitä yhdisti samanlainen tieteellinen ajattelutapa ja samanlainen huumorintaju. Sähköpostiviestiemme yhteismäärä saattoi olla karkeasti arvioiden pari tuhatta ja *Hararyn* kautta kontaktiverkosto laajeni nopeasti. Tavallaan myös menneisyyteen sillä hänellä oli ollut kontaktit myös jo edesmenneisiin, kuten *Albert Einsteinin*, *Niels Bohriin* jne. Näistä hän kirjoitti muistelmissaan, joita ei koskaan julkaistu. Yksi merkittävimmistä yhteyksistä oli solmuteorian isäksi mainittu, *Lou Kauffman*, jonka kanssa olen edelleenkin paljon yhteyksissä. Hän tuli myös Jyväskylään pitämään kansainvälistä kesäkoulua vuonna 2007.



Lou Kauffman ja Frank Harary Chicagossa 2001.

Koskaan emme Hararyn kuitenkaan tehneet yhteistä julkaisua vaikka parikin yritystä oli. Ensimmäinen koski erästä Ratsun polun ongelmaa laudalla. Ratkoimme sitä sähköpostitse eli prosessi on hyvin dokumentoitu, mutta aivan viime vaiheessa neljän saksalaisen ryhmä julkaisi saman tuloksen vaikkakin eri menetelmällä ratkottuna. Toisen paperin kohtalo oli tarinallisempi. Kyse oli klassisesta ongelmasta kuinka luokitella verkkoja yksiselitteisesti. Itselläni oli idea, josta kerroin hänelle. Harary muisti joskus tehneensä paperin alkua samasta aiheesta, mutta se oli jossain hänen valtavien paperipinojensa joukossa New Mexicossa. Päätimme kuitenkin jatkaa kehittämistä kun Harary muisti, että hänen luokittelunsa koski suunnattuja verkkoja. Koska oma ideani käsitteli suuntaamattomia verkkoja, niin päätimme jakaa paperin runko-osan kahteen, Hararyn verkoille annettiin nimi #H ja minun #K. Paperin kirjoittaminen ajoittui loppuvuoteen 2004, mutta ennen vuodenvaihdetta yhteys katosi ja vuoden 2005 alussa tuli sitten tieto, että hän oli menehtynyt 83 vuotiaana. Erikoista tässä oli, että sain tiedon sähköpostitse hänen sihteeriltään ja kaiken lisäksi olin ensimmäinen, joka tiedon sai. Hänen sihteerinsä Sarah Tosie oli avannut Hararyn



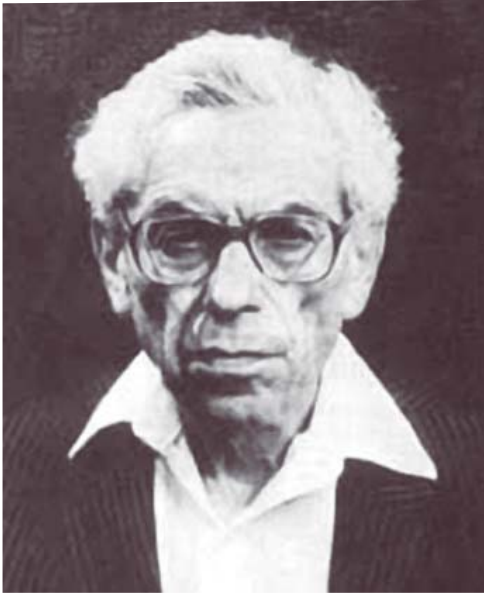
Lou Kauffman Jyväskylässä 2007.

sähköpostilaatikon ja viimeiset postit olivat kaikki itseltäni. Oli hieman epätavallista, että sähköpostiverkostoni kautta laitoin Suomesta tiedon *Hararyn* menehtymisestä eri puolille maailmaa hänen lukuisille kollegoilleen! Kaiken lisäksi hänen julkaisemattomat muistelmansakin jäivät minulle, niille ei löytynyt julkaisukanavaa. Pöytälaatikossani ne lojuvat vieläkin.



Harary kotikonnuillaan New Mexicossa.

Aikaa kului muutamia viikkoja ja olin sinä aikana tullut jo erittäin hyväksi tutuksi sihteerin kanssa. Arvelin heti aluksi hänen olevan navahointiaani sukunimen perusteella. *Tsosie* oli heillä tavallinen englanninkielinen nimi. Tämä pitikin paikkansa ja *Tsosie* kertoi myös intiaaninimensä, *Kedesbah*. Kirjeenvaihtomme oli varsin syvällistä ja vaihdoimme tietoja kummankin kulttuurista. Hän oli syvällisesti viisas intiaaninainen. Hieman myöhemmin sain muualta tietää, että keskenkin jääneen paperin voisi tehdä loppuun post scriptumina. Tarvitsin vain julkaisuun puuttuvan *Hararyn* puoliskon. Kerroin tästä *Sarabille*, mutta hän oli skeptinen, *Hararyllä* oli valtavasti papereita. Tiesin sen koska kävin New Mexicossa 2001 ja näin sekä hänen toimistonsa, että asuntonsa. Molemmat olivat täynnä paperipinoja liki nurkasta nurkkaan. Kuitenkin maaliskuussa 2005 sain yllättävän faxin. *Tsosie* oli löytänyt paperin, jonka kulmassa luki "*Number of graph with Jorma*"! Lupa sen lähettämiseen oli saatu sekä hänen pojaltaan, että Las Crusesin yliopiston dekaanilta. Erikoista oli, että se saapui 11.3.2005, jolloin *Harary* olisi täyttänyt 84 vuotta ...

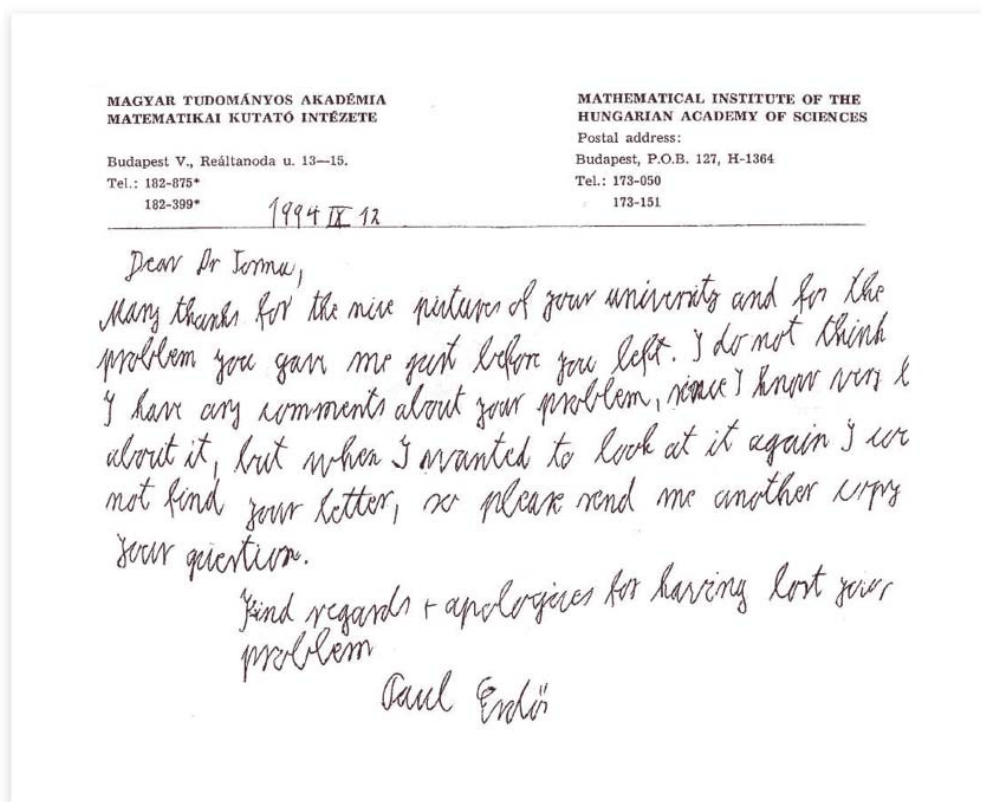


Paul Erdős.

Tapasin Paul Erdösin vuonna 1994 Slovaki-
an Tatravuorilla, jossa oli *Cycles & Colour-
ings workshop*. Se on varsin kansainvälinen,
osallistujia ei ollut paljon, ehkä noin 50,
mutta usein jopa 17 maasta. Organisoijat
olivat *Kosice yliopisto* Slovakiasta ja *Ilmen-
aun yliopisto* Saksasta. Mikäli Erdös ei ole
tuttu nimi, niin hän oli 1500 julkaisul-
laan maailman tuotteliain matemaatikko
1700-luvun *Leonhard Eulerin* ohella. Erdös
tunnetaan myös ns. *Erdösin luvusta*. Tämä
määräytyy siten, että Erdösin kanssa yhteis-
sen artikkelin kirjoittaneilla luku on 1, jos
on kirjoittanut artikkelin jonkun luvun 1
omaavan kanssa niin saa 2 jne. Erdös ei il-
moittautunut konferensseihin, vaan ilmes-
tyi niihin yllättäen ja yllättäen hän ilmestyi
myös Tatralle. Hänet tunnettiin matema-

tiikan vaeltavana apostolina, joka kierteli yliopistoja ja konferensseja mukanaan vain yksi laukku. Hänelle oli aina paikka joka yliopistossa. Erdös syntyi Unkarissa, jossa hänen sukulaisensa menehtyivät natsien vainoissa. Tämä antoi kaikille erinomaisen tilaisuuden keskustella hänen kanssaan sillä seminaarit pidettiin pienessä vuorimökissä, jonne kaikki majoittuivat viikoksi. Tämä tarkoitti sitä, että tilaisuuksia keskustella hänen kanssaan oli paljonkin, mutta toisaalta juuri siksi hän oli koko ajan varattu. Niinpä eräänä aamuna, kun tulin aamukahville erittäin varhain, niin huomasin Erdösin jo istuvan siellä. Nurkassa yksin, kuten hänellä tapana oli. Ketään muita ei ollut vielä paikalla, joten oli ainutlaatuinen tilaisuus mennä keskustelemaan. Erdös oli jo edellisenä päivänä kuullut esitelmäni, jollaiseksi olin uskaliaasti valinnut jo hylkäämäni *Reunavärimenetelmän*. Hän olikin yllättäen pitänyt siitä, joten rohkaisin siis mieleni ja menin keskustelemaan. "Anteeksi", kysyin, "minulla olisi pari ongelmaa, joista haluaisin kysyä". Kyllähän se käy, Erdös vastasi ja niin aloin selvittää asiaa ... Erdös keskeytti minut ja sanoi, ettei saanut selvää kielestäni ja pyysi minua kirjoittamaan ne paperille. Olin itse asiassa hieman helpotunut ja lupasin kirjoittaa seuraavaksi aamuksi. Kun palasin huoneeseeni niin kirjoitin oitis paperille kuusi ongelmaa, joita olin miettinyt. Seuraavana aamuna Erdös oli tietysti varattuna koko ajan innokkaiden matemaatikoiden piirittämä. Pääsin kuitenkin ojentamaan hänelle paperilappuseni. Hän katsoi sitä nopeasti ja antoi heti takaisin, Olivatko ongelmani liian yksinkertaisia? Ei vaan tällä kertaa hän ei saanut selvää käsialastani! Samana iltana kirjoitin uuden lapun, jossa rajoitin ongelmat vai kahteen ja kirjoitin nekin äärimmäisen huolellisesti ja selkeästi. Seuraava päivä olikin jo lähtöpäivä, mutta tavoitin hänet aamukahvin jälkeen ulkoa keskustelemassa parin matemaatikon kanssa. Menin ja ojensin vaatimattoman lappuseni. Hän katsoi sitä ja pisti taskuunsa sanoen, että vastaa

siihen myöhemmin. Näin kävikin, noin kuukauden kuluttua sain Unkarista kirjeen, jossa Erdős pyyteli anteeksi koska oli hukannut paperini ja pyysi lähettämään uuden... Tein sen, mutta valitettavasti seuraava uutinen, jonka kuulin oli, että hän oli menehtynyt sydänkohtaukseen. Koska emme Hararyn kanssa saaneet koskaan yhteistä julkaisua, ellei sellaiseksi lasketa väitöskirjaan sisältynyttä yhteistä keskeneräistä tutkimusta, niin minulla ei myöskään ole haluttua Erdős numeroa. Paljon arvokkaampana koen kuitenkin hänen kirjeensä ja lauseen *apologies for having lost your problem ...*

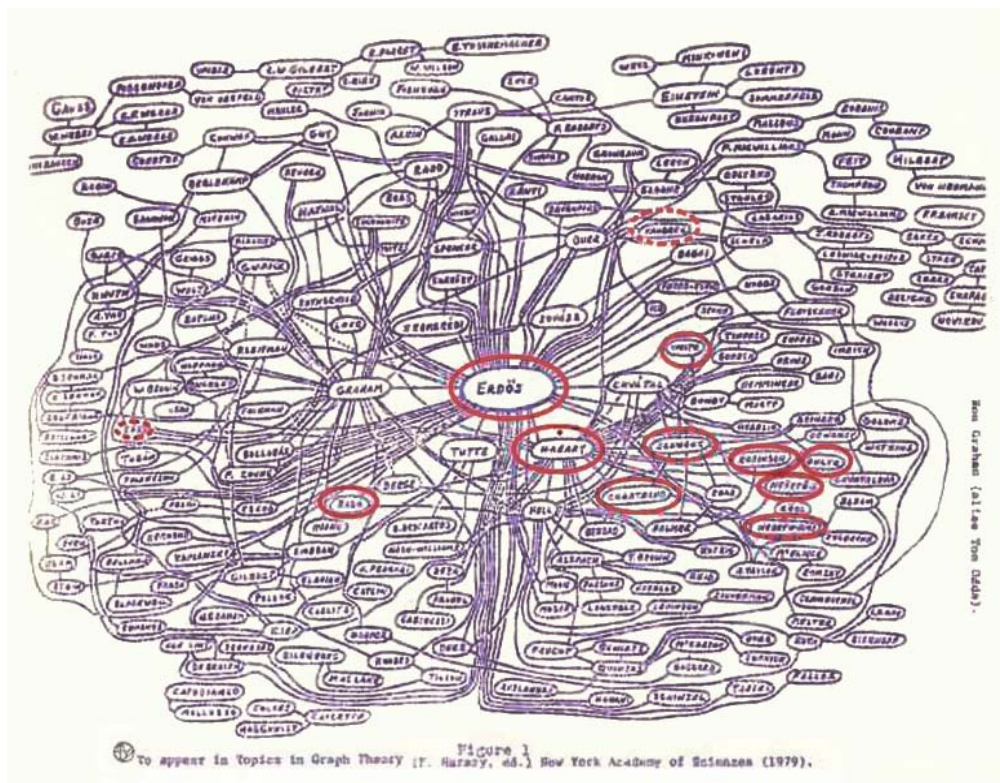


Paul Erdősin kirje.

Ensimmäisen kerran kävin *Tatran konferenssissa* jo 1993 ja silloin myös laitoksen johtaja *Vesa Savolainen* oli mukana. Yhteensä ennen väitöskirjaa ehdin käydä tasan kymmenen kertaa ja vuonna 2001 olin paikalla historiallisena hetkenä 11.9. kun esitykset keskeytyivät New Yorkin terrori-iskun vuoksi. Kaikki osallistujat kerääntyivät television eteen katsomaan suoraa lähetystä juuri kun toinen koneista iskeytyi torniin.

Edellä kävi ilmi kuinka ihanteellinen *C&C konferenssi* oli kontaktien syntymiseen, *Erdős* lisäksi esimerkiksi oheisessa verkkokuvassa siellä syntyneitä kontakteja olivat ainakin *Ralph Faudree*, *Horst Koch*, *Jaroslav Nešetřil*, *Alexander Rosa*, *Ales Pultr* ja *Vera Sos*. Kuvan graafi (s. 134) pitää sisällään verkkoteorian alueella vuonna 1979 vaikuttaneita matemaatikkoja, joista punaisella rengastettujen kanssa on itselläni ollut kontakti joko

paikan päällä tai sähköpostitse. Ehkä mielenkiintoisin esitelmä oli vuonna 1999 kun *Neil Robertson* kävi tuoreeltaan kertomassa ryhmänsä (*Sanders, Seymour, Thomas ja Robertson*) vuonna 1996 tekemästä uudesta karttojen neliväriongelman todistuksesta. Sain julkaisun paikan päällä ja huomasin, että kyseessä oli myös samoihin perusalgoritmeihin pohjautuva tietokonetodistus kuten *Appelilla* ja *Hakenilla* vuonna 1976. Nykyteknologialla se kuitenkin onnistui parissa tunnissa, ei päivissä.



Verkkoteorian tunnettua matemaatikkoja vuonna 1979.

SHAKKI TULI MUKAAN VÄITÖSKIRJAPELIIN

Olin *Hararyn* kanssa erästä verkkoteoreettista shakkiongelmää ratkoessani kehittänyt ohimennen uudenlaisen kolmen pelattavan shakkipelin, joka oli jäänyt lojumaan pöytälaatikoon. Työkaverini ehdotuksesta laitoin sen 1995 mukaan *Jyväskylän Teknologikeskuksen* innovaatiokilpailuun aivan viime hetkellä ja se tulikin yllättäen palkituksi. Tämä muutti kuviot totaalisesti. Noin kymmenen vuoden ajaksi ajauduin opetuksen lisäksi mukaan liiketoimintaan ja innovaatioiden kehittelyn ja patenttien maailmaan. Lisäksi pelasin jo seuraavana vuonna kolmishakkaa kokeellisesti entisen maailmanmestarin *Anatoli Karpovin* kanssa ja 1998 peli oli jo presidentti *Martti Ahtisaarella*. Sitten sitä pelattiin langattomalla modeemilla Uuden Seelannin ja Suomen välisenä verkkopelinä jättinappuloilla,



Murray Campbell.

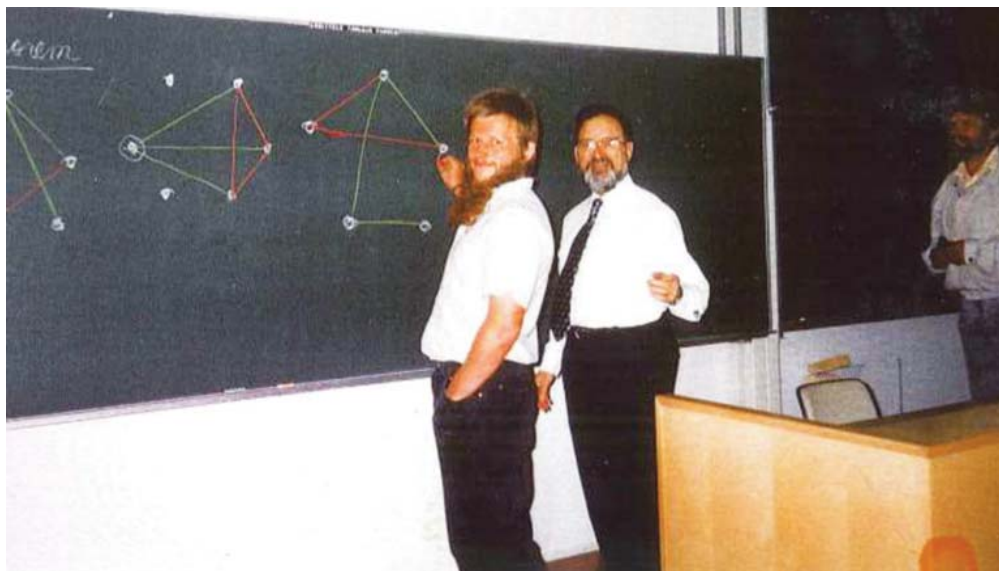
Anatoli Karpov ja kolmishakki.



Kolmishakin verkkopeliä Senaatintorilla.

jotka olivat Senaatintorilla. Se oli hyödyllistä aikaa ja samalla kehittelemällä myös peli-ideaa monin eri tavoin, mutta vei suuntautumisen aivan muuhun kuin tutkimukseen. Samalla syntyi jälleen uusia hyödyllisiä kontakteja. Vasta vuonna 1997 oli shakkietokone *Deep Blue* onnistunut voittamaan maailmanmestari *Garri Kasparovin* mikä oli ensimmäinen kerta kun tietokone voitti maailmanmestarin shakissa. Samana vuonna meilläkin oli jo ensimmäinen shakkiohjelma *Javalla*, sen koodasi silloinen opiskelijani ja myöhemmin työkaverini *Mika Vesterholm*. IBM:llä *Deep Bluen* kehitystyötä johti *Murray Campbell*, hänet tapasin Helsingissä vuonna 1999. Keskustelimme kolmishakista, hänen kanssaan olen ollut aika ajoittain kontaktissa siitä asti. Koko shakkiasia tuntui vain paisuvan ja tutkimus alkoi unohtua...

Sitten eräänä päivänä *Pekka Neittaanmäki*, joka oli seurannut väitöskirjaprosessejani, ehdotti että jos tekisinkin väitöskirjani kolmishakista, josta oli jo patentejakin. Se laukaisi väitöskirjan jumin ja onneksi riittävän aikaisin koska myös *Frank Harary* oli vielä elossa ja suostui sisältöohjaajakseni. Pääsin liikkeelle aika nopeasti sillä tutkimusidea oli selvä. Idea oli tullut aiemmin *Hararyn* selvitettyä yleisellä tasolla ongelmat löytää strategiapeliin varma ratkaisupolku.



Harary selvittää liitutaululla Jyväskylässä moninpelin ongelmaa 1992, taustalla Mati Kilp.

Sellaista ei ole esimerkiksi shakkiin löydetty, onneksi, sillä se tappaisi shakin. Mutta yleiselläkin tasolla on mahdotonta löytää täydellinen voittostrategia kun pelaajia on enemmän kuin kaksi, siis monen osapuolen peleihin, joiden ratkaisuja haettiin yleisesti simulaatiolla. *Kolmishakki* oli monen osapuolen peli ja lisäksi sille oli tehty jo kaksikin erilaista tietokoneohjelmaa, joita voisi edelleen kehittää simulaatiomalliksi. Mutta se ei vielä riittäisi yleiseen ratkaisuun sillä mallin pitäisi toimia myös kun pelaajia on enemmän kuin kolme. Tässä oli heti vastassa yksi ongelma. Kolmen pelaajan shakki on symmetrinen

kolmenpelaajan peli, jossa siirtojärjestys pois lukien, pelaajat ovat samanlaisessa asemassa toisiinsa nähden. Tämän mahdollistaa se, että kolme pistettä on tasossa. Mikäli pelaajia, on neljä, niin sellainen ei ole mahdollista tasossa, mutta toimii kolmiulotteisessa mallissa. Piti siis aluksi luoda kolmiulotteinen pelilauta. Eikä se edes riittäisi, saman ratkaisun tulisi toimia myös viidelle ja useammallekin pelaajalle. Itselläni mielessä parikin ratkaisumallia, mutta ne olivat hankalia. Ensimmäinen asia oli testata teoriavaihtoehtojani kansainvälisissä saman alan matemaattisissa konferensseissa, jotta saisin ajatuksistani rehellistä palautetta, niinpä kävin seuraavan neljän kuukauden aikana kolmessa konferenssissa eri maissa. Ne osoittautuivat hyödyllisiksi.

Kuitenkin, jos olisin jäänyt vain pohtimaan ratkaisumalleja, niin olisi työ jumiutunut, kuten aikoinaan neliväriongelman kanssa kävi. Tein siis vaihtoehtoisen suunnitelman, jotta työ etenisi. Tähän auttoi taustateorioiden kirjoittaminen eli paitsi peliteoriaa, niin piti kerätä tietoa myös itse shakkipelin sekä laajemmin lautapelien kehityskulusta ja sen variaatioista kuin myös vastaavista monen pelaajan versioista. Se oli mielenkiintoinen matka, joka yllätti itsenikin. Loppujen lopuksi jouduin kaivautumaan tuhansien vuosien taakse ja melko harvinaisiin tieteellisiin julkaisuihin, jotta kokonaisuus alkoi hahmottua. Esimerkiksi muinaisia kiinalaisia shakin muunnelmia löytyi 1800-luvun saksalaisesta julkaisusta ja toisena ääripäänä oli lautapelien leviäminen tuhat vuotta sitten Polynesiassa. Siinä avuksi tuli aivan tuore genetiikan alan tutkimuspapereita Uudesta Seelannista. Nämä kirjoittelut toivat paljon uutta ja mielenkiintoista tietoa ja myös uusia jatkotutkimusaiheita ja ennen kaikkea ne pitivät yllä työvärettä samaan aikaan kun hain matemaattista ratkaisua itse pääongelmaan. Oli täysin mahdollista, että sellaista ei koskaan löytyisi ja siinä tapauksessa olisin jo kertyneestä materiaalista rakentanut jonkin, vaikka vähäisemmänkin tutkielman. Samaan aikaan tein tietenkin myös valtavan määrän laskelmia ja erilaisia kaavoja hakiessani matemaattista ratkaisua. Tästä johtuen käsin kirjoitettua paperia alkoi kertyä satakunta sivua. Kolmas työn linjassa pitänyt asia oli sopimus raportoinnista ohjaajani *Pekan* kanssa. Sovimme viikoittaisesta palautteesta ja ajankohdaksi torstain. Pidin tästä uskollisesti kiinni ja neljän vuoden aikana en jättänyt väliin yhtään torstaita, en myöskään ollessani ulkomailla konferensseissa. Tätä kuvaa hyvin viimeinen raportti sen jälkeen kun työ oli jo lähtenyt esitarkastukseen: "*26.8.2016 tämä on nyt 286. ja viimeinen torstairaportti, ainoa väliin jätetty torstai oli yksi Jouluaatto.*" Jälkikäteen tästä oli itselleni sekin hyöty, että saatoin tarkistaa mitä olin tehnyt ja milloin ... Noin vuoden kuluttua ratkaisu kuitenkin sitten putosi jostain aivan yllättäen! Kun asiaa on ehtinyt pyöritellä pitkään, niin aivot tekevät omaa hiljaista työtään ja ratkaisu oli valmiina päässäni kun heräsin varhain eräänä maanantaiaamuna.

Ratkaisu

Alusta alkaen oli selvää, että mallin rakenteen tuli perustua *tetraedrin laajentumiin* eri ulottuvuuksissa. *Tetraedri* on siis kolmisivuinen pyramidi, jossa on neljä kärkipistettä. Tasossa sitä vastaa kolmio, jollaisen päälle tavallaan kolmishakkikin oli sijoitettu. Neljä-

ulotteisessa "tetraedrissa" on viisi kärkipistettä, neljä "alhaalla" ja yksi "ylhäällä". Ulottuvuuksien kasvaessa myös kärkipisteiden eli pelaajien määrä kasvaa yhdellä. Esimerkiksi kuusi pelaajaa voitiin sijoittaa viisiulotteiseen avaruuteen. Olennaista oli, että pisteet olivat symmetrisesti samassa asemassa suhteessa toisiinsa.

Varsinainen ongelma oli kuitenkin pelialueen sisärakenne. Alussa kokeilin erilaisia vaihtoehtoja, joista ensimmäinen oli asettaa tetraedrin sisään pieniä tetraedreja, se tuntui loogiselta. Leikkasin jopa juustosta pikku pyramideja ja katsoin miten malli toimisi. Ei toiminut yksinkertaisesta matemaattisesta syystä, tetraedrilla ei voi täyttää tilaa tasaisesti samoin kuin kolmiolla tasoa. Tasolla tasaisen täyttämisen saattoi tehdä siis kolmella eri monikulmiolla, kolmiolla, nelikulmiolla ja kuusikulmiolla. Kolmiulotteisessa tilassa se oli mahdollista vain kuutiolla ja korkeammassa ulottuvuuksissa hyperkuutioilla. Seuraavana vaiheena tutkin mahdollisuutta sijoittaa kolme pelaajaa kuution sisään. Näin tilanne muuttui kuitenkin vain keinotekoisemmaksi ja hankalammaksi varsinkin kun mallia olisi pitänyt jatkaa edelleen hyperkuutioihin. Luovuin siis tästäkin vaihtoehdosta. Seuraavaksi tuli mieleen pallorakenne, siinä tarvittiin termiä "suuteluluku" (*kissing number*), joka oli aivan tieteellinen termi. Mikäli laitamme kolikon ympärille muita saman kokoisia kolikkoja, niin että ne koskettavat alkuperäistä kolikkoa ja naapureitaan voimme sijoittaa kuusi kolikkoa. Tilassa eli kolmannessa ulottuvuudessa samoin voidaan tehdä pallolle ja tuolloin pinnalle voidaan asettaa 12 palloa. Ajattelin, että voisin kasata palloja päällekkäin kolmisivuisen pyramidin malliin vähän kuin appelsiineja kaupassa. Pieni ongelma tuli siinä kuinka kosketuspinnat osuivat toisiinsa. Suurempi ongelma oli kuitenkin itse suuteluluku. Jo *Isaac Newton* kiisteli 1700-luvulla oliko lukumäärä pallon ympärillä 12 vai 13, mutta vasta 1953 todistettiin, että luku oli 12. Kun siirryttiin 4 ulottuvuuteen niin luku oli loogisen tuntuinen eli 24, mutta se todistettiin vasta vuonna 2003! Tämän jälkeen seuraava aivan tarkka arvo löytyi vasta 8. ulottuvuudesta eli malli ei toiminut. Olin jonkin aikaa jälleen umpikujassa.

Sitten tuli se aamuinen *heureka* ja torstaina lähti viesti *Pekalle*: *Kun pari viikkoa sitten pidimme palaverin työstä, niin silloinhan kerroin, että itse mallin rakennustapaan oli vielä 2–3 vaihtoehtoa. Ongelmana oli "ympyrän neliöinti" eli symmetrisyysvaatimuksen sovittaminen yhteen n-ulotteisuuden kanssa. Tämä johtui siitä, että useammassa kuin kolmessa ulottuvuudessa tilan palastelu onnistuu vain hyperkuutioilla (honeycombs), joihin symmetrian sovittaminen onnistuu vain hieman keinotekoisilla ratkaisuilla. Työtä tehdessäni olen tätä asiaa pohjennut taustalla koko ajan ja yhtäkkiä asia valkeni minulle herätessä maanantai-aamuna. Tiistain tein töitä kotona ja selvitin asian. Aika meni siinä niin, että en edes huomannut kun tuli pimeä :)*

Olin aiemmin huomannut, että kolmishakkilaudan kuusikulmisiin ruutuihin voi sijoittaa *Pascalin aritmeettisen kolmion* alun. *Pascalin kolmion* numerot ovat tunnetun binomikaavan kertoimia ja vuosia sitten opiskeluaikanani mietin miten kaava jatkuu. Seuraavahan on *trinomikaava* omine kertoimineen ja niin edelleen. Mutta millainen olisi yleinen kaava? Niinpä sitten menin silloisen matematiikan professorimme, *Veikko Nevanlinnan*, puheille ja kysyin millainen olisi "*polynomikaava*"? *Nevanlinnalla* oli yllätykseks-

ni heti vastaus valmiina, "siis multinomikaava" ja siltä istumalta hän kirjoitti sen paperille! Olin itse tehnyt erilaisen kaavan, se perustui eri lähtökohtaan ja oli kömpelömpi, mutta huomasin senkin olleen oikein. Multinomikaava oli kuitenkin ratkaisun avain. Myöhemmin, kun olin jo tietojenkäsittelyopin laitoksella töissä, kehitin *multinomikaavan* pohjalta yleistyksen myös *Pascalin kolmiolle*, jota kutsuin *Pascalin pyramidiksi* ja tein siitä myös konferenssiesitelmän *Multinomial Formula and Arithmetical Tetrahedron*, jonka esitin vuonna 1995 *British Combinatorial konferenssissa (BCC)* Skotlannissa.

Ratkaisu oli yksinkertainen, kuten yleensäkin kun oikea idea löytyy. Aivan vastavasti kuin *Pascalin kolmioon*, niin löytyi hieman mutkikkaampi, mutta silti yksinkertainen, summasääntö myös *Pascalin pyramidiin*, ja samalla logiikalla myös neliulotteiseen ja ylempiulotteisiin pyramideihin. *Pascalin kolmion* summasääntö on koulusta useimmille tunnettu, olennaisempaa on, että nuo numerot ovat samalla myös kombinaatioita, joille on selkeä kaava. Jokainen kombinaatio voidaan ilmoittaa kahdella numerolla ja näin kaava ilmoittaa myös paikan *Pascalin kolmiossa* tai *pyramidissa*. Siis pelialustalla. Tämä tarkoitti luonnollisesti sitä, että peli oli helppo sijoittaa *Pascalin pyramidiin* ja sen jokaisen "ruudun" paikka oli tarkkaan määritelty. Malli oli valmis ja pelaajien määrä kasvoi ulottuvuuksien mukana. Sille olisi myös helppo tehdä pelikonetta pyörittävä algoritmi. Seuraava torstairaportti samalla viikolla *Pekalle* oli tämä: *Tein pohjamallit tasolle, kolmiulotteiseen ja neliulotteiseen avaruuteen. Jotta kykenisin ymmärtämään rakennetta, niin hahmottelin tuon uuden 4-ulotteisen pelialustan, joka pitää sisällään joko 494 tai 714 "ruutua". Tämä eroaa aiemmasta 4D-pelistä siinä, että pelaajia on 5 kpl ja nappuloita yhteensä 170. Pelaajat ovat sijoittuneet toisiinsa nähden täysin symmetrisesti. Tällä hetkellä selvitan nappuloiden liikkumiskombinatoriikkaa tasoilla 2 ja 3. Kun olen saanut sen valmiiksi myös 4D:ssä, niin teen vielä "miniatyyrimallin 5D -avaruuteen, jossa on 6 pelaajaa. Sen jälkeen olen valmis kirjoittamaan yleisen ratkaisun n:lle pelaajalle ja ryhdyn kirjoittamaan tätä 8. lukua auki.*

Tämä sai väitöskirjan todella liikkeelle. En oikeastaan ollut enää edes kiinnostunut väitöskirjasta vaan itse tutkimuksesta, ruudullinen paperi toisensa jälkeen täyttyi tarkistuslaskelmista ja uusista kaavoista, olin uppoutunut asiaan ja se meni eteenpäin. Myös sivutuloksia syntyi, kirjasin ne ylös, mutta en pysähtynyt niihin. Tässä meni varmaan ainakin 3–4 kuukautta opetustyön ohessa. Sitten kun eräänä päivänä *Pekka* halusi nähdä mitä olin kirjoittanut, niin näky oli kai tyrmistyttävä ... noin kolme kansiota käsin kirjoitettua tekstiä ja laskelmia, toki otsikoituna. Seuraava vaihe olikin palata takaisin tietokoneen ääreen ja kirjoittaa olennainen puhtaaksi. Kirjoitettua taustaosuutta oli toki jo paljon kasassa ja jo tässä vaiheessa oli selvää, että työstä tulisi *monografi*. Kaiken lisäksi olin jo alkuvaiheessa päättänyt kirjoittaa suomeksi koska se oli ajatteluni kieli ja asiat olivat sen verran vaikeita, että samanaikainen kääntäminen englanniksi olisi ollut vain energian tuhlausta. Yleisestikin kielen merkitys asioiden syvässä ymmärtämisessä on merkittävä, tämän olin havainnut jo selventäessäni eri-ikäisille ja eritasoisille ihmisille matematiikan käsitteitä. Silloin pyrin suomeksi kirjoittaessani myös hakemaan harvinaisemmillekin termeille suomenkielisen vastineen jos sellainen vain löytyi. Uusia en lähtenyt keksimään vaikka *Wolmar Schildtin*, suomalaisen sanasepon, kotiseudulla oltiinkin.

Itselläni oli myös jo valmiina joitain aiheeseen sopivia englanninkielisiä julkaisuja, jotka käänsin suomeksi. Samaan aikaan päätin kirjoittaa rinnakkain myös *"varjoväitöskirjaa"* eli otin väitöskirjan rungon ja käänsin lukujen otsikot englanniksi. Mikäli valmiina oli jo aiempi julkaisutekstini, niin lisäsin sen, muutoin jätin luvut ja aliluvut tyhjiksi. Kun alkuperäiseen tekstiin alkoi tulla mukaan myös kuvia, niin lisäsin nekin vastaavaan paikkaan englanninkielisessä varjoväitöskirjassa. Samalla joutui myös miettimään termien nimiä suomeksi. Näin kumpikin versio kasvoi yhtä aikaa, toinen todellisena, toinen *"luurankona"*. Näin pääsin vaiheeseen, jolloin työ oli käytännössä valmis. Pidimme palaverin Pekka Neittaanmäen kanssa, hän katsoi ensin valmista työtä, sitten englanninkielistä runkoa hetken, mietti nopeaan tyyliinsä ja sanoi sitten: *"Teemmekin tämän englanniksi, saadaan laajempi lukijakunta"*. Niin alkoi käännösprojekti ja työn valmistuminen siirtyi vuodella, mutta se oli hyvä asia.



Volmar Schildtin rintakuva Seminariumissa.

Väitöskirja valmistuu

Lähdin kääntämään väitöskirjan suomenkielisiä osioita luku kerrallaan eikä työ ollut turhaa sillä kuten edellä jo mainitsin, niin kieli on ajattelun väline. Käännöstyössä oli isona apuna *Steve Legrand*. Englanniksi myös ajatellaan eri tavalla, dynaamisemmin ja enemmän verbi- kuin substantiivipohjalta. Suomi taas on kielenä staattisempi eli vertailuna vaikka väitöskirjan teemaan, suomeksi kuvataan enemmän shakki- laudan asetelmaa ja englanniksi nappuloiden liikkumista. Tämä toi perspektiiviä myös väitöskirjan tekstiin, jota nyt katsoin kahden kielen suunnalta ja se johti myös jonkin verran muutokseen kummankin kielen teksteissä. Näin väitöskirja valmistui rinnakkain samalla

aikataululla englanniksi ja suomeksi. Käytännössä työ tuli valmiiksi hieman yli vuosi sen jälkeen kun pidimme palaverin suomenkielisen version äärellä. Lopputulema oli *monografi*, joka ilmestyi sitten kolmena eri versiona, varsinaisena väitöskirjana, vuotta myöhemmin erikseen editoituna versiona kansainvälisessä tiedekirjasarjassa ja puolitoista vuotta myöhemmin lopulta se alkuperäinen suomenkielinen versio.

Vastaväittäjäksi tuli *Steve Hedetniemi Clemsonin yliopistosta USA:sta*. Nimestäkin näki, että *Hedetniemellä* oli suomalaiset sukujuuret, hänen isoisänsä oli lähtenyt Amerikkaan yli 100 vuotta sitten. *Hedetniemi* oli myös *Frank Hararyn* tohtorioppilas ja sopi siksi hyvin

aiheen vuoksi vastaväittäjäksi. Hänen Suomessa ollessaan kävi ilmi kaksi erikoista asiaa. Hänen sukujuuristaan löytyi yllättäen kaukainen yhteys *Pekka Neittaanmäen* sukujuuriin Pyhäjärven ja Saarijärven kautta. Vielä erikoisempi asia oli, että *Hedetniemi* oli joskus 70-luvulla tehnyt algoritmin ja vasta paljon myöhemmin kävi ilmi, että se oli ollut pohjana Googlen hakukoneen algoritmeille. Tämä kävi ilmi erikoisella tavalla hänen apulaisprofessorinsa vieraillessa Googlen pääkonttorissa, siellä seinällä oli iso teksti "*Hedetniemi Algorithm*". Siis kun nykyään Google on joka paikassa, niin jossain siellä pohjalla kaiken alla lymyää *Hedetniemen vanha algoritmi*. Tieto yllätti *Hedetniemen* täysin.

Kuinka tämä tapahtui? Opiskeluaikanaan *Hedetniemi* ystävyystyi *Carl Pagen* kanssa. *Hedetniemi* oli kesätöissä kauppaministeriön virastossa, jossa tapasi henkilön nimeltä *Bud Levin*. Tämä oli tullut pyytämään tietoteknistä apua lentopostin kehittämisprojektiin Yhdysvaltain postilaitokselle, pitäisi luoda algoritmi lyhimmän kuljetusreitit löytämiseksi lentoyhtiöiden aikatauluja noudattaen. *Hedetniemellä* oli suuria vaikeuksia keksiä ratkaisua, kunnes löysi tunnetun matemaatikon ja taloustieteilijän *David Galen* tutkimuksen, josta hän sai teoriaperusteet algoritmiin, jonka hän sai myös ohjelmoitua *Fortranilla* ja toimimaan. Sen jälkeen hän oli antanut algoritmin *Carl Pagelle* ja tämä ilmeisesti edelleen pojalleen *Larry Pagelle*, joka oli toinen Googlen perustajista venäläisen *Sergej Brinin* kanssa vuonna 1998. Noihin aikoihin 90-luvun lopulla eräs *Hedetniemen* laitoksen apulaisprofessoreista oli lähtenyt hakemaan työpaikkaa Googlen päämajasta ja nähnyt siellä toimistohuoneen ilmoitustaululla tekstin *Hedetniemi algorithm*. "*Tunnen tuon miehen, hän on professorina Clemsonin yliopistossa. Mikä tuo algoritmi oikein on?*" Hän sai kuulla, että siinä algoritmissa oli koko Googlen hakukoneen perusidea. Joka kerta kun miljoonat ihmiset klikkaavat Googlen hakuohjelmaa, he käyttävät samalla *Hedetniemen algoritmia*.



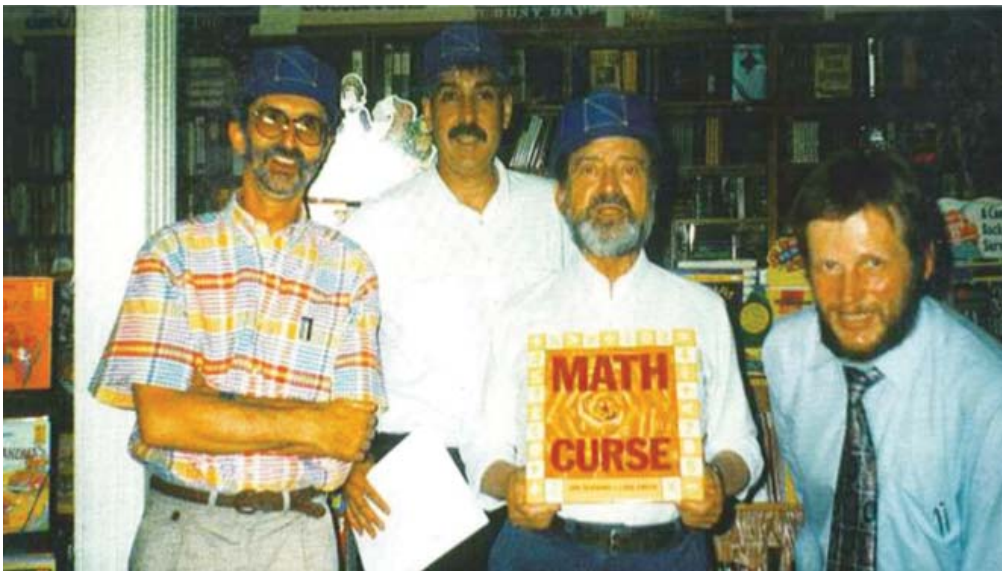
Maaailma on outo paikka ...

Väitöskirja siis valmistui ja se oli *monografi*. Sen tekeminen oli pääosin yksinäistä pohdiskelua ja miettimistä sekä muistiinpanojen kirjaamista ruutulehtiöihin. Työ sai vauhtia kun idea löytyi ja eniten sitä hidastivat jatkuvasti syntyvät uudet ideat. Ohjaajia oli kuitenkin kolme, *Seppo Puuronen* aivan alussa antoi tukea muodollisessa puolessa. *Pekka Neittaanmäki* oli pääohjaajana työn varsinainen moottori, joka piti sen liikkeessä. Tuossa vaiheessa jo edesmennyt *Frank Harary* oli sisältöohjaaja, jonka vaikutus oli keskeisin tieteellisellä puolella.

Steve Hedetniemi ja väittelijä.



Pekka Neittaanmäki väitöksen jälkeen päässään klassinen Frank Hararyn lippahattu.



Harary ja Harary-hattuja, Cumberland konferenssi, Louisiana, 1996.

Kun opiskeluaikanani innostuin verkkoteoriasta niin se tapahtui *Leonhard Eulerin* 1700-luvulla kehittämän kaavan kautta. Kaavalle kehitin myöhemmin myös laajennuksia ja yleistyksiä, jotka löytyvät vielä väitöskirjastakin. Jälkikäteen huomasin, että *Hararyn* kautta *Leonhard Euler* on myös matemaattisten esi-isieni joukossa väitöskirjan ohjaajia listaavassa *Mathematics Genealogy projektissa*.

Ympyrä sulkeutui mielenkiintoisella tavalla ...



Mauno Keto, FT

Syntynyt Vaalassa 1951

Väitellyt tohtoriksi 2018.

OPINTONI JYVÄSKYLÄN YLIOPISTOSSA YHDEN VUOSITUHANNEN LOPPUPOOLELLA JA TOISEN ALKUPUOLELLA

Asuin elämäni ensimmäiset 19 vuotta Vaalassa, ison veden äärellä. Syntymäkotitaloni sijaitsee edelleenkin noin 300 metrin päässä paikasta, johon Suomen viidenneksi suurin järvi, Oulujärvi, päättyy ja josta Oulujoki alkaa. Ylioppilastutkinnon jälkeen oli vuonna 1970 edessä hakeminen jatko-opintoihin. Paikka oli selvä: Jyväskylän Yliopisto. Kestävyyssjuoksuharrastuksellani oli valintaani merkittävä vaikutus, koska olin kilpaillut kaupungissa aikaisemmin. Minulla oli sellainen käsitys, että Jyväskylä oli kehittyvä ja kansainvälinen kaupunki. Valinta matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan varmistui.

Aineyhdistelmäni oli matematiikka, tietojenkäsittely ja tilastotiede. Lukuvuosi alkoi syyskuussa. Ensimmäiset kurssit (*opintokirjassani "luento- tai harjoitussarja"*), jotka aloitin syyskuussa, olivat professori Veikko Nevanlinnan matematiikan laitoksella luennoima



SVUL:n Pohjois-Pohjanmaan piirin maastojuoksumestaruuskilpailut 4.5.1969, A-poikien sarja (sijoitus 2.).

"Lineaarinen algebra ja geometria", Yrjö Revon *"Analyysi 1"* sekä Heikki Laitisen *"Tietojenkäsittelyopin peruskurssi"*. Myös Pekka Neittaanmäki osallistui Nevanlinnan luennoille. Häinkin harrasti juoksu-urheilua, jonka piirissä tutustuimme. 1970-luvun alkupuoli oli yliopistomaailmassa varsin kiihkeiden poliittisten väittelyiden aikaa, mutta en ollut juurikaan kiinnostunut politiikasta, vaan opiskelusta. Aika oli kansainvälisesti levotonta. Tšekkoslovakian miehityksestä oli kulunut vasta kaksi vuotta, ja Vietnamin sota oli vielä käynnissä. Tutustuin Kortepohjan ylioppilaskylässä USA:sta tulleeseen opiskelijaan, ja minulle muodostui sellainen käsitys, että hän lähti Suomeen välttyäkseen joutumasta sotilaaksi Vietnamiin.

Opiskeluohjelmaani tuli sitten uusia matematiikan ja tietojenkäsittelyn opintoja. Käytin tietokonetta ensimmäisen kerran vuonna 1971. Minun oli laadittava Fortran-kielinen ohjelma, joka luki joukon vuosilukuja ja jonka piti ilmoittaa, mitkä niistä ovat karkausvuosia. Aloitin tilastotieteen opinnot vuonna 1971, ja ensimmäinen luennoitsija, jota kuuntelin, oli Erkki Pahkinen, joka oli myöhemmin 2000-luvun jatko-opintojeni ohjaajana merkittävä henkilö. Tilastotieteestä muodostui vähitellen pääaineeni, jolla on selkeä yhteys matematiikkaan, mm. todennäköisyyslaskentaan, joka kuului opintosuorituksiini. Tutkimusaineiston tilastollisessa käsittelyssä yleistyi tietokoneohjelmien käyttö koko ajan. Tietojenkäsittelyn tuntemukseni kasvoi merkittävästi Espoossa sijainneessa ATK-palvelukeskus Tietotehdas Oy:ssa, jossa työskentelin operaattorina, ohjelmoijana ja suunnittelijana kesäkuukausien ajan vv. 1973–75. Liiketalouden sovellusten merkittävä ohjelmointikieli COBOL tuli minulle siellä tutuksi.

Käytin tilastotieteen pro gradu -tutkielmassani ns. monimuuttujamenetelmiä, kun tutkin sitä, mitkä taustatekijät vaikuttivat suomalaisten kestävyysjuoksijoiden kehittymiseen. Heidän tasonsa oli tuohon aikaan yksi maailman korkeimmista. Suomen Urheiluliitto (*SUL*) antoi minulle tutkimusaineiston, joka siihen aikaan piti vielä tallentaa reikäkortteille ennen syöttämistä tietokoneeseen. Sain FK-tutkinnon (*ylempi kk-tutkinto*) opinnot valmiiksi vuoden 1975 loppuun mennessä. Tutkinto koostui tilastotieteestä (*laudatur*), matematiikasta (*cl*), tietojenkäsittelyopista (*cl*) ja kansantaloudesta (*appr*). Tuohon aikaan sai maisterin arvon hakemuksen kautta. Suoritin 1970-luvun loppuvuosina, jo työelämässä toimivana, muutaman tietojenkäsittelyn laudatur-kurssin (*Aarni Perko ja Heikki Laitinen*), koska ymmärsin, että tämän alan merkitys kasvoi koko ajan. Näistä kursseista oli hyötyä tulevassa lisensiaatin tutkinnossani.

Aloitin ansiotyön Mikkelin kauppaoppilaitoksessa vuoden 1976 elokuussa. Opetin aluksi päätoimisesti matematiikkaa ja tietojenkäsittelyä, mutta muutamaa vuotta myöhemmin vastuulleni tuli myös hallinnollisia tehtäviä. Ammatillisessa koulutuksessa tapahtui valtakunnallisesti merkittäviä asioita 1980- ja 1990-luvulla. Ensin tuli keskiasteen koulunuudistus, ja ammattikorkeakouluopetuksen kokeiluvaihe alkoi 1990-luvun alussa. Ammattikorkeakouluopetus vakinaistettiin v. 1997 ja erotettiin toisen asteen koulutuksesta. Tietotekniikan merkitys opetuksessa kasvoi voimakkaasti 1990-luvulta alkaen, ja omien käyttötaitojen kehittäminen oli täysin välttämätöntä. Toimin lukuvuoden 1997 alusta alkaen Mikkelin ammattiopiston liiketalouden alan koulutuksen johtajana, kunnes siirryin lehtoriksi Mikkelin ammattikorkeakoulun liiketalouden laitokselle tammikuussa 2002. Opetin matematiikkaa ja tilastotiedettä sekä ohjasin tilastollisia menetelmiä soveltavia opinnäytetöitä.

Kun olin päässyt eroon hallinnollisista tehtävistä, jäi aikaa miettiä mahdollista jatko-tutkintoa. Lisensiaatin tutkinnon saavuttaminen edellytti lisäopintoja ja lisensiaatintutkimuksen suorittamisen. Jatko-opintoni alkoivat vuonna 2006, ja professori Antti Penttinen matematiikan ja tilastotieteen laitokselta tuki minua merkittäväällä tavalla niiden alkuvaiheessa. Pehdyin mm. yhteen hänen erikoisalaansa, tilastotieteen Bayes-menetelmiin. Lisensiaatintutkimukseni ohjaajaksi tuli emeritusprofessori Erkki Pahkinen, ja aihe liittyi

otantateoriaan, tarkemmin otoksen kiintiöintiin perusjoukon osajoukkoihin (ns. *aluekiintiöinti*). Tutkimustyöhön kuului alan kirjallisuuteen perehtyminen, otoskiintiöintien soveltaminen aineistoihin, demonstraatioiden ohjausta yliopistolla sekä osallistuminen kansainvälisiin konferensseihin Suomessa, Puolassa ja Latviassa. Lisensiaattitutkimukseni "*Aluekiintiöinti ositetussa otannassa*" hyväksyttiin ja sain tutkintotodistuksen joulukuussa 2014. Kehitin tässä tutkimuksessa uuden otoskiintiöinnin.

Aloitin väitöskirjan suunnittelun ja laatimisen vuoden 2015 alkupuolella. Erkki Pahkinen oli pääohjaaja. Siirryin samalla IT-tiedekuntaan, jonka dekaanina toimi professori Pekka Neittaanmäki, yksi ohjaajistani. Hän järjesti minulle hyvät olosuhteet työskentelyyn, mm. työhuoneen. Jäin eläkkeelle lehtorin toimestani elokuussa 2015, joten nyt pystyin keskittymään kunnolla tiedetyöhön. Väitöskirjastani muodostui ns. artikkeliväitöskirja, joka koostui neljästä artikkelijulkaisusta. Kaksi muuta ohjaajaa olivat professori Juha Karvanen ja tohtori Jussi Hakanen, jonka avustamana kehitin viimeiseen artikkeliini ns. monitavoite-optimointiin perustuvan otoskiintiöinnin. Väitöskirjan keskeinen asia oli optimaalisen otoskiintiöinnin kehittäminen tilanteessa, jossa jatkuvan muuttujan kokonaismääriä perusjoukon osa-alueilla estimoidaan apumuuttujien avulla käyttämällä ns. pienalue-estimointia. Pienten alueiden otoskoot saattavat jäädä pieniksi, mikä vaikeuttaa hyvien estimointitulosten saamista näille alueille. Optimaalinen otoskiintiöinti perustui käytettyyn malliin, estimaattoriin sekä apumuuttujiin. Työhön kuului myös ohjelmistojen (mm. *SAS ja SPSS*) tehokkaan käytön oppiminen aineiston käsittelyssä. Mainitsen vielä emeritusprofessori Risto Lehtosen, joka antoi monta hyödyllistä ehdotusta eri yksityiskohtien ratkaisussa (mm. *GREG-estimointi*). Kaksi konferenssia (*Helsinki ja Maastricht, Hollanti*) olivat osa väitöskirjatyötäni.

Työni huipentuma oli tietysti väitöstilaisuus 24.5.2018, jossa vastaväittäjänä oli professori Ralf Münnich saksalaisesta Trierin Yliopistosta. Risto Lehtonen oli sopinut hänen kanssaan Jyväskylään tulosta. Pekka Neittaanmäki toimi kustoksena tässä tilaisuudessa, josta jäi minulle erittäin positiivinen kokemus. Ralf Münnich ilmoitti jo etukäteen, että hän keskittyy tieteelliseen keskusteluun eikä "*pilkun viilaukseen*". Illalla oli sitten mukava pitää karonkkajuhla. Olin erittäin tyytyväinen saamaani arvosanaan. Mielenkiintoni tilastotieteen otantateoriaan ei loppunut tähän. Olen käynyt kahdessa BaNoCoSS-konferenssissa (*Örebro 2019 ja Helsinki 2023*), toimin yhden brasilialaisen artikkelikäsitelmän tarkastajana ja olen tutkinut otoskiintiöintiä tilanteessa, jossa estimoidaan binäärisen muuttujan suhteellisia osuuksia logistisen regression avulla. Vuonna 2023 aloitin Pekka Neittaanmäen kanssa asuntomarkkinoiden kehitykseen liittyvän tutkimushankkeen. Tilastotiede kiinnostaa edelleen.

Jyväskylän Yliopisto on vaikuttanut elämääni paljon. Sieltä tuli vankka perustus työuralleni aivan sen loppuun asti, ja sieltä kautta on löytynyt uusia mielenkiintoisia asioita, mm. tekoälyn käyttö tilastotieteessä. Myös henkilöitä on kiitettävä. Erkki Pahkinen vaikutti merkittäväällä tavalla jatko-opintojeni alkamiseen ja otollisten olosuhteiden luomisessa väitöskirjatyöni onnistumisen kannalta. Pekka Neittaanmäellä on ollut keskeinen rooli IT-tiedekunnan kehittämisessä, ja hänen ohjaamiensa väitöskirjojen määrä (*tällä*

hetkellä 132) on yksi korkeimmista maailmassa. Minä uskon, että ihmisen pääsy opiskelemaan Jyväskylään luo hyvät edellytykset hänen kehittykselleen tulevaisuuden vaatimukset täyttäväksi työntekijäksi.



Väitöstilaisuuden jälkeen 24.5.2018: Vastaväittäjä Ralf Münnich, väittelijä sekä tilaisuuden kustos Pekka Neittaanmäki. Väitöskirjan nimi: "Optimal Sample Allocation Conditioned on a Small Area Model, Estimator, and Auxiliary Data".

■ ■ ■



Aarne Hummelholm. FT (2019)

Syntynyt Outokummussa 4.7.1949

KORPIKYLÄN KIRJEOPPILAASTA TOHTORIKSI

Aarne Hummelholm, Filosofian tohtori, 2019, Jyväskylän yliopisto, tutkii kyberturvallisuutta. Elämänuransa hän on tehnyt Uimaharjun tehtaalla, Riihimäen viestikeskuskorjaamolla ja eri ministeriössä asentajana, tietoliikennearkkitehtinä, turvallisuusarkkitehtinä ja erityisasiiantuntijana. Aarne on kotoisin Ilomantsin kaukaiselta korpiseudulta, kaukaa suurista kylistä ja kaupungeista, joten hänen tiensä tieteen pariin on ollut pitkä ja monivaiheinen

Lapsuusaika Tasavaaran torpassa

Heinäkuussa 1949 näin auringonvalon ensimmäistä kertaa Outokummussa, Kuujärvellä, 4.7.1949. Lapsuuteni ensimmäiset vuodet vietin äidin ja mummon hoivissa Ilomantsin Kakkaravaarassa, Tasavaaran torpassa.

Olin mukana peltotöissä ja navetassa katsellen ja syöttäen elukoita heti kävelemään oppittuani. Kummienoni teki minulle ensimmäisiksi työkaluikseni viikatteen, haravan ja heinähangon, joita käytin jo viisivuotiaana. Viikatteen teroituksen yhteydessä sain kerran ison haavan vasempaan käteeni, mikä on näkyvissä vieläkin. Oli tosi lähellä, että matkani täällä maan päällä ei olisi päättynyt tuohon hetkeen. Onni oli kuitenkin mukana ja haava tuli verisuonista hieman sivuun.

Koska tuohon aikaan elettiin omavaraistaloudessa, jouduin pikkumiehenä osallistumaan myös kotipuutarhan hoitoon ja kasvimaan kitkemiseen kesän aikana monta kertaa. Minulla ei ollut kavereita kovinkaan lähellä, joten vietin aikaani kierrellen kotieläinten laiduntamiseen tarkoitetun kesannon metsässä ja kiipeillen siellä olevan ison kiven päällä. Tuo iso kivi on vieläkin olemassa. Se oli silloin kaskialueen reunalla. Tuossa kaskimaassa kasvatettiin nauriita kesäisin.

Ainoat kaverit olivat serkut Helsingistä ja Outokummusta, jotka tulivat aina muutamaksi viikoksi viettämään kesälomaa Tasavaaran torppaan. Myös kummienoni oli aina kesäisin Tasavaarassa auttamassa tilan töissä. Hän nikkaroi tarvittavia työkaluja ja korjasi rakennuksia ja työkoneita. Yksi tädeistäni, joka asui Kontiovaarassa, olisi halunnut adoptoida minut jo aika aikaisessa vaiheessa, mutta äitini ei suostunut tähän.

Lapsuuden alkuvuosina osallistuin pyhäkoulutilaisuuksiin, joita pidettiin säännöllises-

ti paikkakunnan eri taloissa kussakin vuorollaan. Pyhäkoulun innostus hiipui kuitenkin ajan mittaan.

Tuohon aikaan 1950-luvun alkupuolelta Suomi joutui maksamaan valtavat sotakorvaukset Neuvostoliitolle. Metsistä saatiin tukkipuita ja sellupuuta, joita myymällä yritykset ja valtio saivat rahaa. Osaksi tästä syystä Ilomantsin rajaseudulle tuli paljon metsätyömiehiä, jotka poikkesivat meillä Tasavaaran torpassa korpeen mennessään ja kävivät ostamassa mm. leipiä. Torpan tuvassa he rupattelivat ja kyselivät kuulumisia. Meillä oli myös radio tuohon aikaan, joten uutisia kuunneltiin säännöllisesti. Myös lauantai-illan kuunnelmat olivat suosiossa ja jumalanpalvelukset sunnuntaisin. Joskus joku tukkijätkä jäi yöksi tupaan ja jatkoi matkaansa korpikämpälleen sitten aamulla.

Minä olin metsäkämpillä jo aika pienenä lapsena mukana. Muutamilla kämpillä tukkijätkät tekivät minulle oman nukkumapaikan kämpän seinälle, jossa otin sitten päiväunet. Muuten touhusin kämpppäpöjan kanssa tai kannoin puita kämppään sisälle, pieniä määriä kerrallaan tietenkin.

Kotona minulla oli pienenä oma lempipaikka nukkua. Se oli uunin päällä omassa kolossa, joka on siellä vieläkin. Toinen paikka oli torpan porstuan päällä oleva pieni ullakkohuone, jossa saattoi nukkua ja lukea kirjoja. Kouluaikana luin kirjoja todella paljon. Ullakkohuoneessa aloin myös piirrellä heti kun kynä alkoi pysyä kädessäni. Piirustuspaperina olivat kaikki mahdolliset vähänkin vaaleaa tilaa sisältävät paperit, pahvit tai sanomalehtien sivut. Piirroksista syntyi melkoisen isoja kasoja, joita oli sitten aitassa ja myös navetan ylisillä aikanaan. Kotona Tasavaaran torpassa ei ollut sähkövaloja, joten jouduin pimeällä piirtämään, lukemaan, sekä tekemään kaikki työt ja myöhemmin myös koulu-tehtävät kynttilän tai öljylampun valossa.



Ilomantsin Tasavaaran torppa (1886) sisältä ja ulkoa kunnostettuna, 2014.

Tähdet ja tähtitaivas olivat minulle pienenä tärkeitä. Tähtitaivasta oli Ilomantsin korvessa hienoa katsella, koska siellä ei ollut muita valoja kuin tuo Tasavaaran torpan kynttilän valo. Katselin mielelläni revontulia ja niiden väreilyä taivaalla. Mummi ja äiti kiusasivat minua sanomalla, että nyt revot juoksevat taivaalla. Kun myöhemmin Neuvostoliitto laukaisi sputnikkinsa maata kiertävälle radalle, seurasimme sen lentoa itäisellä taivaalla torpan yllä. Tähdet jäivät minulle taustalle alitajuntaan ja aina myöhemminkin, kun on ollut mahdollista, olen katsellut iltaisin taivaalle.

Vuonna 1956 aloitin kansakoulun Käenkoskella ja se muutti elämäni täysin. Siellä oli upouusi koulu- ja asuntolarakennus sekä vanhempi koulurakennus. Oppilaat majoituivat koulun yhteydessä olevaan asuntolaan kouluviikoiksi, aina maanantaista lauantaihin. Maanantaina meidät kuljetettiin ns. koulutaksilla Kakkaravaarasta ja Kontiovaarasta Käenkoskelle ja lauantaisin postiautolla menimme takaisin kotiin. Käenkosken koulu ja asuntola olivat jo siihen aikaan nykyaikaisia. Siellä olivat sähköt, kunnan keittiöt, makuutilat, sekä suihku- ja WC-tilat. Pojat nukkuivat alakerrassa kolmessa isossa huoneessa ja tytöt yläkerrassa vastaavasti. Koululla oli myös oma hiekkakenttä, jossa saattoi pelata jalkapalloa ja pesäpalloa. Talvella hiihtoladut lähtivät aivan koulun vierestä, ja niitä käytettiin ahkerasti. Talvella hiihdettiin jopa välitunnilla yksi lyhyempi latukierros.

Asuntolassa oli oma valvoja, jonka kotona oli jo televisio. Siitä päästiin katsomaan lastenohjelmia muutamana iltana viikossa. TV:t olivat silloin harvinaisia, eikä niitä meillä päin ollutkaan muiden kotona.

Käenkoski oli myös ruukkikylä, jossa ukkini isän isä oli ollut aikoinaan töissä. Myöhemmin hän siirtyi Möhkön ruukille ruukkimieheksi (*Ilomantsin historia, Erik Hummelholm*). Käenkosken ruukin alue ja joenvarsi olivat hienoja paikkoja.

Syväysjoen varressa ja sen alajuoksulla olevassa suvannossa pidettiin tukinuitossa tarvittavia välineitä. Myös uittomiesten kämppä oli Syväysjoen varressa lähellä koskea ja tietä. Aika usein kävimme alakouluaikana siellä koulukavereiden kanssa iltasella katselemassa maisemia ja laitteita ja viettämässä aikaa. Käenkoskelta Syväysjoki jatkoi matkaa edelleen Syväyskylän suuntaan laskien sieltä Koitereeseen.

Minulla oli yksi paikka, jossa kävin salaa. Se oli uuden koulun katto, jonne ei olisi saanut mennä. Sieltä näkyi Syväysjoki ja läheinen suoalue, jonka läpi se virtasi kohti Koiteretta. Siellä minä piirsin muutaman kuvan, jotka olivat näytteillä koulun seinälläkin. Toisella luokalla ollessani osallistuin vuosittaiseen koulujen väliseen piirustuskilpailuun ja sain silloin ensimmäisen palkinnon. Siitä lähtien opettajat esittivät, että menisin Helsinkiin Ateneumin taidekouluun opiskelemaan taiteilijaksi. Tätä jatkui aina siihen asti, kunnes täytin 15 vuotta ja koulunkäyntini kansakoulussa päättyi Ilomantsin kirkonkylässä. Valitettavasti meillä ei ollut kunnolla varaa edes jokapäiväiseen ruokaan tuohon aikaan, saati sitten Ateneumin taidekouluun tai edes keskikouluun Ilomantsissa.

Tasavaaran kotiini saatiin aika varhain kylän ensimmäinen lankapuhelin. Kyläläiset kävivät soittamassa sillä asioitaan usein aika myöhäänkin illalla. Kun joku jätti meille soittopyynnön, hän usein halusi, että se tieto viedään kylälle pyydetylle henkilölle mahdollisimman pian. Minä jouduin usein viemään näitä soittopyyntöjä kylän väelle. Pi-



Lyijykynäpiirrokseni Paalasmaan luontoa esittävästä lehtikuvasta, jonka tein 12-vuotiaana.


simmät etäisyydet olivat kuuden kilometrin luokkaa ja viestit piti viedä kelistä ja ajasta riippumatta. Käytin tähän hommaan polkupyörää tai suksia.

Piirtämisen lisäksi minua olivat kiinnostaneet aivan pienestä pitäen kaikenlaiset laitteet kuten kellot, radiot, gramofonit ja myös levyt. Kelloja tutkiskelin tarkkaan ja purin niitä osiin sekä katselin radioita ja otin niiden putkia pois paikoiltaan. Kysyin aina vanhemmilta ihmisiltä, missä laulaja on ja mistä hänen voi nähdä laulavan. Mutta koskaan en saanut kysymyksiini vastausta. Kun olin kymmenen vanha, kysyi kummieni minulta mitä haluan tehdä tulevaisuudessa. Sanoin että ehkä kelloseppä tai radiomies. Kelloseppäasia unohtui pikkuhiljaa. Mutta radiomiesasia kiinnosti, koska naapurikylällä oli radionkorjaaja, joka oli todennäköisesti saanut taitonsa sodan aikana radioiden kanssa toimiessaan. Minä halusin aloittaa nuo radioiden korjaushommat myös.

12-vuotiaana sain ensimmäisen kidekoneeni toimimaan ja kuulin ensimmäiset äänet, jotka tulivat radioaaltoja pitkin minulle kuulokkeeseen. Sitten sain käsiini Osmo A. Viion (1963) "*Nuorten Radiokirja*"-teoksen, jonka kautta tutustuin radiotekniikan mysteereihin ja asioihin syvällisemmin. Tämän jälkeen minun ei enää tarvinnut miettiä tulevaa ammattiani. Radioharrastukseni haasteena kuitenkin oli, että minun piti aina matkustaa yli 100 kilometriä Joensuuhun hakemaan komponentteja radiovastaanottimieni rakentamista varten.

Tuohon radiohommaan liittyy vielä yksi episodi. Yritin 12-vuotiaana päästä opiskelemaan *Kansanvalistuskirjeopistoon* radiotekniikkaa, sähkötekniikkaa ja matematiikkaa,

mutta hakemukseeni vastattiin, että olen liian nuori tuohon hommaan. En antanut periksi, vaan 14-vuotiaana aloitin opinnot ja kävinkin useamman kurssin lävitse. Tämäkään ei ollut helppoa toimintaa, sillä tehtyäni vastaukset lähetettyihin kysymyksiin ja matematiikan laskuihin valmiiksi, minun piti postittaa ne *Kansanvalistuskirjeopistolle*. Odotin postiautoa, annoin kirjeen postipojalle merkkeineen tai maksoin postimaksun siinä antotilanteessa. Sitten odottelin jälleen postitse tehtävien hyväksyntää, jonka jälkeen tein taas seuraavat tehtävät. Internetiä ei ollut tuolloin olemassa, eikä edes ideaa, että asiat voitaisiin hoitaa vaikka radioverkkojen avulla. Ennen ammattikouluun pyrkimistäni minä olin suorittanut nuo kansanvalistuskirjeopiston kurssit, joista oli hyötyä ammattikouluun opiskelijaksi hyväksymiselleni.



Opiskelu on yrittämyyden merkki Eteempään pyrkivä mieli on paras suositus

KANSANVALISTUSSEURAN KIRJEOPISTO

PERUSTETTU 1920
KOULUHALLITUKSEN TARKASTUKSEN ALAINEN OPPILAITOS

★

TODISTUS

A a r n e H u m m e l h o l m


syntynyt heinä kuun 4 päivänä 1949, on opitossamme kirjallisesti suorittanut allamainitun kurssin ja on hänen tietonsa siinä arvosteltu seuraavasti:

Kursi	Arvostelu
Sähkötekniikan alkeet	Tyydyttävä (8)

Opettaja Eino Saloranta, dipl.-insinööri

Kurssiin kuuluvat teokset: Kallio-Heino, Sähkötekniikan alkeet.

Helsingissä touko kuun 5 päivänä 19 65


 Vilho Malkki
Opiston johtaja

Opiston arvosanat ovat kiitettävä (10-8), tyydyttävä (8-7) ja vältävä (6-0)

1000365 I.L.

Kansanvalistusseuran kirjeopiston kurssin "Sähkötekniikan alkeet" todistukseni.

Urheilua harrastin aivan pienestä pitäen. Tein itse korkeushyppytelineet ja -rimat, seiväs-hyppytelineet ja seipään sopivasta ohuesta puusta. Pituushyppyä varten tein omat piikkarit, joissa piikit oli tehty sopivan pituisista nauloista. Kilpailuissa niitä en käyttänyt. Talvella tein hiihtolatuni itse meidän pelloillemme ja läheisten mäkien rinteille.

Käenkosken koulu osallistui koulujen välisiin yleisurheilu- ja hiihtokilpailuihin joka vuosi. Olin niissä mukana, koska olin nopea juoksemaan ja nopea myös hiihtämään. Myös pitkillä matkoilla voitin ikäiseni pojat. Voitin myös Raja-Karjalan koululaiskisoissa palkintoja kolmiottelussa ja hiihdossa. Mutta sitten 15 ikävuoden paikkeilla isommaksi kasvaneet kaverit menivät ohii, enkä enää pärjännyt esimerkiksi kuulakilpailuissa.

Lapsuudessani noilla korpikyillä oli hieno tapa tehdä talkoina töitä, jolloin kyläläiset auttoivat toisiaan esimerkiksi viljan puinnissa. Kylällä oli yhteinen puimakone ja dieselkäyttöinen kone sitä pyörittämässä. Kukin talo sai käyttää sitä vuorollaan. Viljojen korjuu- ja puintityöt tehtiin talkoilla. Muiden talojen väki tuli apuun korjaamaan viljaa ja puimaan viljaa luoksemme ja kuhunkin taloon vuoron perään. Meillä itsellämme ei ollut traktoria tai hevosta käytössä, joten ilman apua kaikki olisi jouduttu tekemään käsin, kuten niitto, heinien seipäille laitto, kuivien heinien latoon kanto, viljojen leikkaaminen sirpeillä ja lyhteiden ja kuhilaiden teko. Ilman talkooväkeä emme olisi pystyneet saamaan karjallemme heinää tai leipämme tekemiseen jauhoja.

Lapsuuteen liittyy vielä eräs tapahtuma, joka liittyy lehmiin. Kun Outokummun serkkuni halusi opetella lypsämään lehmiä, minä halusin sen tietysti myös oppia. Lypsimme useamman kerran ja veimme maitotonkat puroon niille varattuun syvänteeseen, jossa virtasi kylmä lähdevesi. Aamuisin veimme maitotonkat tienvarteen maitolaiturille odottamaan maitoautoa, joka keräsi ne kyytiinsä. Tämä lypsämään opettelu oli tarpeen, kun ennen 12 ikävuottani äitini joutui sairaalaan, eikä meillä ollut silloin lisäksi muita ihmisiä Tasavaarassa asumassa. Jouduin silloin päivittäin ruokkimaan ja lypsämään lehmät, hoitamaan maitotonkkien viemisen maitolaiturille ja ajamaan sitten pyörällä lähes 8km:n matkan Käenkosken kouluun ja päivän päätteeksi takaisin kotiin hoitamaan navetta-työt.

Sotakorvauksiin liittyen myös kaikki koululaiset joutuivat heti koulujen loputtua keväällä metsään puiden siemennys- ja istutustöihin. Minäkin olin noissa siemennys- ja istutustöissä sekä myöhemmin vanhempana metsätöissä ja tukinajossa joka kesä aina 16 ikävuoteen asti. Viimeisimmän työkeväen aikana opiskelin tukkikämppien nurkissa matematiikkaa ja äidinkieltä, millä valmistelin itseäni ammattikoulun radio- ja tv-asentajalinjan pääsykokeita varten, jotka pidettiin Joensuussa. En ollut käynyt keskikoulua ja tuolloin oli viimeinen mahdollisuus päästä kansakoulupohjalta ammattikouluun haluamalleni linjalle, mistä seurasi vähän paineita. Keskikoulun käymiseen meillä ei olisi ollut varaa mitenkään, koska Ilomantsissa tuohon aikaan koulu ja myös viikkojen asuminen kirkonkylässä maksoivat. Lämpäsemäni kirjeopiston kurssit osoittivat sitten minulla olleen riittävät pohjatiedot ammattikoulun aloittamista varten.

Syyskesällä 1965 minun, metsätyömiehen taival Ilomantsin korpimailla päättyi. Tarjosin metsuritovereilleni eräänä elokuun perjantaina pullakahvit meidän silloisen raivaus-

alueemme reunalle tehdyllä nuotiolla. Sanoin kavereilleni, että ensi maanantaina lähdän Joensuuhun ammattikouluun ja pistän vesurini liiteriin odottamaan, jos joku sitä tarvitsisi vielä. Ei ole tainnut tarvita.

Ammattikoulu

Ammattikoulumatkani Joensuussa alkoi 1965 elokuussa kestäen 1968 kevääseen asti. Se oli minun ensimmäinen kokemukseni asua kodin ulkopuolella ja kaupungissa yksikseen. Tasavaarassa käyneet poliittiset puhujat olivat aiemmin kertoneet, että lainaa saa helposti opiskeluja varten. Kuitenkin mennessäni pankkiin sitä pyytämään, rahaa ei annettu, koska meillä oli kolme lehmää. Ne kuulemma antoivat niin paljon maitoa, että siitä saadulla rahalla selviäisin. Se raha tarvittiin kuitenkin tilan kuluihin ja siellä elämiseen, opintoihini se ei riittänyt. Minun täytyi mennä kesälomilla metsätöihin. Tein päivällä metsätöitä ja heinätöitä ja kotitilan työt tein illalla ja yöllä. Vaihtoehtoja ei paljon ollut, jos meinasin selvitä hengissä ja jatkaa opiskelua.

Jo alkuvaiheessa paljastui, että jo ammattikoulussa radiotekniikka oli haasteellinen oppiaine. Me jouduimme laskemaan radiovastaanottimien eri asteet ja niissä olevien komponenttien sähköiset toiminnot ohjaustoimintoihin aivan komponenttien sisällä kulkevien elektronien ja aukkojen määriä myöten sekä piirtämään tarkkoja kytkentäkaavioita laitteista. Useinhan kävi niin, että komponentit lämpenivät liikaa vauriotilanteissa ja vikatilanteissa, eikä niiden arvosta silloin saanut selvää. Korjattaessa meillä tuli kuitenkin olla näkemys siitä minkälaisia ja kuinka suuria komponenttien arvot olivat ajatellen oikeanlaisten korvaavien osien asentamista vikaantuneiden tilalle.

Valmistimme työharjoittelussa ammattikouluaikana tilauksesta sähköurkuja ja vahvistimia orkestereille, sekä kirkonkelloja pienille kirkkoille. Korjasimme harjoitustöiden yhteydessä myös asiakkaiden radioita ja televisioita. Lopputyönämme oli toimivan superheterodyne radiovastaanottimen rakentaminen, sen kytkentäkaavan piirtäminen ja eri asteiden tarvitsemien komponenttien laskeminen. Kaikki harjoitustyön komponentit, jotka voitiin tehdä käsin, tehtiin myös käsityönä. Näitä olivat mm. muuntajat ja kelat.

Ammattikoulu loppui vuonna 1968 ja sain sieltä päästötodistuksen yhteydessä suosituksen teknilliseen opistoon. Valitettavasti minulla ei ollut tuolloin vielä keskikoulutodistusta, joka olisi tarvittu tietoliikennepuolelle opiskelemaan pääsyyn. Pyrkijöitä oli paljon ja vain noin joka kymmenes pääsi opiskelemaan tietoliikennepuolelle. Ammattikoulun loputtua minulle tarjottiin instrumentiasentajan harjoittelijan paikkaa Enosta, jonka otin vastaan syksyllä 1968

Armeija

Kutsu armeijaan Riihimäelle tuli vuonna 1969 ja sille tielle jäin.

Alokasaika alkoi Riihimäen varuskunnassa. Sähkötyöskokeiden perusteella pääsin radiopuolelle ja ns. armeijan älykkyyskokeen kautta haluamalleni suuntaradiopuolelle

viestikouluun. Alokasajan jälkeen minun armeijani oli melkein ohi, koska viestikoulussa opetus oli aivan kuten missä tahansa oppilaitoksessa. Opetus oli myös korkeatasoista, koska opettajina toimivat ns. pitkän linjan asiantuntijat. Heillä oli vielä kokemusta myös sodanajan radiotoiminnasta. Kiitoksia heille vielä näin jälkepäin, missä he sitten ovatkin, erittäin hyvästä opetuksesta. Sotilaspuolen koulutus sisältyi myös opetukseen.

Viestikouluajajolta jäivät mieleeni myös lauantaiamujen 10 kilometrin mittaiset suunnistuskilpailut ennen lähtemistämme koteihimme viikonlopun viettoon. Kurssimme päättyessä olin kurssini priimus, mutta en kuitenkaan vielä päässyt viestikoulusta reserviupseerikouluun, vaan minun piti jäädä vielä palvelukseen viestijoukkoihin. Minulle avautui paikka Riihimäen viestirykmentin korjaamolta, jossa aloitin heti työt saamani kuntoisuusloman jälkeen. Ilmoittautuessani palvelukseen viestikorjaamon johtaja Koli-ma totesi nimeni liian vaikeaksi ja hankalaksi muistaa. Nimestäni tehtiin silloin tuohon ympäristöön soveltuva, uusi ja huvittava versio: "*Hummeli*".

Viestikorjaamolla korjasin kaikkia viestijoukkojen käytössä olevia radio- ja kaapelijärjestelmälaitteita, joita he käyttivät kentällä. Ylennyksen kersantiksi sain kuukautta ennen palvelukseni päättymistä. Tämä vähensi minun palveluvelvoitteitani komppaniassa. Hyödynsin tämän mm. lenkkeilemällä enemmän varuskunnan lähimaastoissa.

Palvelusaikani päättyessä yllätys oli suuri, kun minut kutsuttiin keskustelemaan viestikeskuskorjaamon yksikön johtajan, Toivo Hemmingin kanssa. Hän pyysi minua töihin Riihimäen varuskunnan viestikeskuskorjaamon linkkikorjaamolle asentajaksi. Työt saatoinkin aloittaa heti ja sanoin ottavani tehtävän vastaan. Kävin viikonlopun aikana kotonani vaihtamassa vaatteet ja palasin Riihimäelle toukokuussa 1970.

Minulle oli lähetetty kutsu myös Uimaharjun tehtailta tulla töihin, mutta kohtalo puuttui peliin ja kirje oli mennyt väärään osoitteeseen. Mikäli olisin saanut sen ajoissa, olisin jatkanut instrumenttialan asiantuntijana tehtäillä.

Nyt matkani radiolinkkiteknikan ja tietoliikenneverkkojen ihmeelliseen maailmaan alkoikin toden teolla Riihimäen viestikeskuskorjaamolla linkkiasentajana heti varusmiespalveluksen loputtua.

Aluksi päivitin, kunnostin ja korjasin kentällä käytettäviä kenttäviestijärjestelmien laitteita. Mutta pian tehtäväni laajeni koskemaan myös silloisen kiinteän televerkon linkki-, kanava- ja järjestelmälaitteita. Jouduin myös tekemään kiinteän televerkon viestiasemilla korjaus-, käyttöönotto- ja asennustöitä, uusien järjestelmien asennuksia sekä laajennustöitä. Jouduin lisäksi tekemään kentällä määräaikaismittauksia, joihin kuului laitteissa olevien putkien mittaukset ja uusimiset. Laitteiden piti toimia varmasti tilanteessa kuin tilanteessa 24/7/365. Ne olivat osa erittäin kriittistä tietoliikenneverkkoa ja sen kautta tarjottavia johtamisyhteyksiä.

Keskuskorjaamolla vastuullani oli tuolloin laajimmillaan eri valmistajien noin 50:n erilaisen radiolinkki-, kanava- ja järjestelmälaitteen ylläpito, korjaaminen ja päivittäminen. Osasta laitteista ei ollut edes kytkentäkaavioita, minkä takia jouduin ne itse piirtämään. Jouduin laskemaan myös tarvittavien komponenttien arvoja ja tilaamaan niitä keskusvarastolta, jotta heikoksi menneet laitteet saataisiin kuntoon. Puolustusvoimille

annettiin tuolloin usein laitteita, jotka eivät kelvanneet siviilipuolelle tai joista ei ollut käyttöä siviilipuolen verkoissa.

Työurani aikana korjasin lukuisia laitteiden tyyppivikoja ja huonosti suunniteltuja osakokonaisuuksia. Noiden tiedonsiirtoverkon laitteiden testaamista varten minulla oli useampi testipenkki, joissa yksiköitä saattoi testata toimivassa kokonaisuudessa, vaikka yhteyden päästä-päähän eri osakokonaisuuksittain. Joskus rakensin tuollaisen testipenkin erillisistä yksiköistä itse kasaan. Testipenkkejä käytettiin myös koulutustarkoituksiin alueella toimivien asiantuntijoiden (*alueteknikot ja aluemiehet*) kouluttamiseksi ja mittausmenetelmien opettamiseksi. Keskuskorjaamolla ollessani pääsin kouluttamaan viestikoulun suuntaradiolinjan opiskelijoille suuntaradiotekniikkaa.

Eräs suuri haaste tuon ajan korjaamotoiminnassamme oli, ettemme saaneet tarvittavia tai riittävän laadukkaita mittalaitteita ja analysaattoreita hankittua, jotta radioteknisiä asioita ja niihin liittyviä haasteita olisi voinut tutkia perusteellisemmin. Minulla oli onneksi hyviä ystäviä tutkapuolella, joiden mittalaittevarastoista kävin aina tarvitsemani lainaamassa. Kaikkia asioita ei tarvinnut mitata omien virityksien avulla.

Opiskelin myös tutkatekniikkaa Riihimäen sähköteknillisessä oppilaitoksessa vuonna 1976 syksyllä iltalukion ohella, jolloin tutkatekniikka tuli tutuksi ja auttoi huomioimaan myös tutkajärjestelmät radiolinkkiratkaisuja suunniteltaessa.

Riihimäen iltalukio

Vuonna 1972 syksyllä aloitin iltakoulun käymisen Riihimäen iltalukiossa. Se oli kovaa aikaa. Aamulla lähdin töihin korjaamolle ja sieltä päästyäni Riihimäen iltakoululle opiskelemaan. Illalla myöhään oli tehtävien tekoa ja lukemista aamupuolelle yötä. Tätä tein ensiksi kolme vuotta saadakseni keskikoulun todistuksen käteeni. Olin ottanut keskikoulun niin vakavasti, että varmasti pääsisin jatkamaan opiskeluaani heti teknillisessä opistossa. Tulin kuitenkin toisiin ajatuksiin ja jatkoin iltalukioon heti seuraavana syksynä, jotta pääsisin yrittämään lukiopohjaiseen teknilliseen opistoon Helsingissä. Samaan aikaan tein töitä myös kentällä joutuen olemaan paljon pois koulusta. Kävin tenteissä Riihimäellä junalla tai autolla ja palasin yöllä takaisin kulloisellekin työmaalle. Iltalukion käyminen onnistui ja pääsin ylioppilaaksi 1978 keväällä. En pystynyt heti jatkamaan ja pyrkimään teknilliseen opistoon, koska minulta olivat unirytmit menneet aivan sekaisin. Oli hengenlähtö lähellä. Piti odottaa aina vuoteen 1980, kunnes pyrin teknilliseen opistoon ja pääsin sisään. Vuoden 1981 tammikuussa aloitin opinnot Helsingin teknillisessä oppilaitoksessa. Työn ohella olin tehnyt myös alemman tason mekaanikkotutkinnon (*PAKTO*) 1980 ja ylemmän tason ammattitutkinnon 1981.

Vaikka meninkin opiskelemaan teknilliseen oppilaitokseen Helsinkiin, jatkoin radiolinkkikorjaamolla töitani aina lomien aikana vuoden 1983 loppuun asti. Opintojen päätyttyä yli kolmekymmentä kurssikaveriani otettiin tuolloin töihin Nokialle ohjelmistotehtäviin mm. digitaalisten keskusten ohjelmistojen koodaukseen. Minun kohtalonani oli kävellessäni kurssini loppupuolella Helsingin rautatieasemalla koulusta kotiin, että

vastaani tuli tuttuja riihimäkeläisiä upseereita, joilla oli minulle töitä tarjolla. Töitä olisi heidän mukaansa tiedossa riittävästi, mutta palkkaa ei pystyittäisi paljon maksamaan. Otin kutsun vastaan ja aloitin työt Pääesikunnan viestiosastolla/johtamisjärjestelmäosastolla, tietoliikenneyksikössä Katajanokalla vuoden 1984 alussa. Siitä alkoi pitkä taival Puolustusvoimien pääesikunnan viestiosastolla aina vuoden 2009 kesään asti. Työpaikkani sijainti edellytti päivittäisiä junamatkoja Riihimäen ja Helsingin välillä.

Noihin aikoihin ajoittui myös perheen perustaminen ja rakkaiden tyttärieni syntymät, mikä toi elämäni monenlaista iloa, mutta myös uudenlaista vastuuta. Työnkuvan ja perhe-elämän yhdistäminen ei aina ollut helppoa.

Jo vuonna 1970 oli minulle kotiin asennettu lankapuhelin, jonka avulla minut oli hälytetty viankorjauksiin iltaisin ja viikonloppuina työajan ulkopuolella. Minut haettiin kotiovelta ja noudin tarvittaessa mittalaitteet keskuskorjaamolta. Tätä jatkui aina tuonne vuoden 2000 vaihteen tienoille saakka. Myöhemmin minulle soitettiin usein jostakin johtokeskuksesta suoraan ja pyydettiin apua tai menemistä viankorjaukseen paikan päälle. Tämä helpottui vasta kun perustettiin Tietoliikenneverkko-osasto.

Pahimpia tapauksia kohdallani oli Estonia-laivan uppoamistilanne, jolloin minut haettiin kotoa hälytyksen saatua. Jo autossa ollessani minun piti varmistaa, että kaikki tuolla alueella johtamisessa tarvittavat ja viranomaisten väliset yhteydet toimivat puolustusvoimien vastuun osalta. Muuta ei voinut silloin tehdä. Totuuden valkeneminen lukuisien ihmishenkien menetyksistä ja kärsimyksistä oli tuskallista.

Tämä tapaus erityisesti osoitti miten kokonaisuuksien hallinta ja siihen liittyvä osaminen on tärkeää, jotta akuuteissakin tilanteissa kyetään reagoimaan riittävän nopeasti toimintojen käynnistämiseksi ja onnistumiseksi.

Vuoden 1984 alussa pääesikunnan viestiosastolle tuli valtavan laaja, monien asioiden tarkastelua ja selvittämistä, sekä aivan uusien tekniikoiden käyttöönottoa vaativa tehtävä. Tarkoituksena oli digitalisoida koko puolustusvoimien viestintäverkko kaikkine palveluineen, suojata digitaaliset laitteet sähköisesti riittävän hyvin täyttämään myös äärimmäisten poikkeusolojen vaatimukset sekä kaikki fyysiset rakenteet vastaamaan myös äärimmäisten poikkeusolojen vaatimuksia. Aikaa kaiken tekemiseen annettiin neljä vuotta.

Tietoliikenneverkon kehittämisen osalta oltiin Suomessa matkalla jo oikeaan suuntaan. Käytössä oli jo digitaalisia radiolinkkejä ja PCM-kanavalaitteita monilla yhteyksillä. Laitetoimittajana oli yleensä Nokia.

Annetussa tehtävässä oli tärkeää saada selkeä tilannekuva sisältäen eri toimintoihin liittyvät asiakokonaisuudet uhkakuvineen. Haasteina olivat rahoitus, suojarakentamistarpeet, uudet laitetekniikat, automaattisen digitaalisen keskustekniikan käyttöönotto korvaamaan käsivälitteiset keskuksat, välittäjät, digitaalisten vaihteverkkojen käyttöönotto, omien ryhmäsalaamislaitteiden kehittäminen, pakettiverkon käyttöönotto, huoltovarmuuteen ja väestösuojaan liittyvät asiat, sekä varautuminen, varmistaminen ja poikkeustilanteiden huomioiminen kaikessa suunnittelussa ja kehittämisessä. Digitalisoinnin yhteydessä jouduimme kehittämään myös oman ryhmäsalaamislaitteen johtuen maailmanpoliittisesta tilanteesta. Kaikki työskentely edellytti lukuisia palaveriteita ja seminaareita.

ja eri ryhmien ja puolustushaarojen kesken.

Alkuvaiheen jälkeen olin mukana kehittämässä Suomen ensimmäistä merivalokaapelia 1985 alkaen ja yhdistelmäkaapelia viimeisten saarten liittämiseksi mantereen sähköverkkoihin ja tietoliikenneverkkoihin. Tässä työryhmässä toimi viisi henkilöä puolustusvoimien puolelta ja kaksi henkilöä Nokian Kaapelin puolelta. Nokia myi myöhemmin valokaapelituotantonsa kansainväliselle yritykselle. Olin tekemässä 1990-luvulla myös liikkuvien joukkojen käyttöön tarkoitettua yksimuotokenttävalokaapelia, jota käytettiin maailmalla rauhanturvaoperaatioissa tarvittavissa tietoliikenneverkoissa.

Insinööritutkinto

Insinööriyöni tein 1983 Helsingin teknillisessä opistossa radiolinkkien yhteysvälisuunnittelusta ja laskentamenetelmistä. Se perustui silloisen radiolaboratorion tekemiin etenemismittauksiin usealta alueelta Suomessa. Noihin mittauksiin perustuvaa laskumenetelmää tarvittiin kipeästi, koska ensimmäisten digitaalisten radiolinkkien toimivuus ei ollut hyvällä tasolla ja rakennetut yhteysvälit olivat auttamattomasti liian pitkiä. Haastetta lisäsi vielä ryhmäsalaamislaitteiden käyttöön ottaminen, joiden vuoksi yhteysvälien virhesuhteiden piti olla riittävän hyviä ja mahdollisten radioyksiköiden vaihtotilanteiden riittävän ajoissa tapahtuvia. Koska tuolloin käytössä olevissa vaihtolaitteissa ei ollut minikäänlaista puskurointia, jouduimme korjaamaan mm. antennien korkeuseron aiheuttaman kulkuaikeeron laittamalla viivelinjoja radiolinkkien kantataajuusosien yhteyteen. Kyse oli nanosekuntien tarkkuudesta.

Radiolinkkijänteet aiheuttivat melkoisen keskustelun ja polemiikin, koska ei ollut helppo saada johtajia uskomaan, kun ne olivat liian pitkiä yhteysvälilaskelmien ollessa väärin laskettuna tai perustuen parametreiltään väriin arvoihin. Suomen ilmasto-olosuhteet ja radioaaltojen eteneminen ei ollut ilmeisesti selvillä tarpeeksi hyvin. Vasta kun Raimo Kalevi Uolevi Laine teetätti oikeanlaisia etenemismittauksia, saatiin todelliset arvot selville. Jouduimme rakentamaan lisää väliasemia pitkille yhteysväleille ja se puolestaan maksoi rahaa. Mutta muu ei auttanut, jos haluttiin, että kriittiset järjestelmät toimisivat moitteettomasti kaikissa ilmastollisissa olosuhteissa ryhmäsalaamislaitteiden kanssa. Tässä työssäni auttoi myös se, että varusmiespalveluksessa oli käyty radiolinkkien yhteyksien yhteysvälilaskelmat lävitse ja testattu milloin kenttätoimintaan tarkoitetut radiolinkit tulivat kriittisille yhteyksille ja yhdistivät kenttäjoukot kiinteään televerkon palveluihin ja eri johtamispaikkoihin noiden yhteyksien avulla/kautta. Toinen hyödyntämäni kurssi oli aikoinaan käymäni tutkakurssi sähköteknillisellä koululla Riihimäellä, jossa käsiteltiin myös aika perusteellisesti radio- ja tutka-aaltojen etenemismalleja ja etenemistä. Myöhemmin pystyin uusien ohjelmien avulla vielä tarkistamaan noita yhteysvälilaskelmia. Aiemmin tekemiemme laskelmien ja tuon uuden ohjelman laskemien arvojen välillä ei ollut kuin alle 1 dB:n eroja yhteysvälien vaimennusarvoissa. Laskin useita yhteysvälejä todistaakseni tuon meidän aikaisempien laskelmiemme paikkansapitävyyden.

Yksi haasteellinen tilanne tuli, kun yritimme hankkia sovitulta toimittajalta sovitus-

muuntimia digitaalisiin kanavalaitteisiimme kenttäpuhelimien ja -laitteiden liitännää varten. Emme saaneet tuolloin valmistajan edustajia vakuuttuneiksi tuotteessa havaitsemistamme puutteista. Todistaaksemme väitteemme todeksi, toteutimme hankintainsinööri Pentti Pikkutuvan kanssa testin sotaharjoituksessa. Kaikki saamamme kotimaiset muunninkortit tuhoutuivat kentällä, eivätkä ne osoittautuneet siten kelvollisiksi puolustusvoimille käyttöönotettaviksi. Tästä seurasi valmistajalle isoja taloudellisia tappioita, mutta turvallisuudellemme isoa edistystä.

Diplomi-insinöörin tutkinto

Aloitin opinnot teknillisessä korkeakoulussa syksyllä 1997 matematiikan kertauskursseilla Otaniemessä, Dipolissa ja kokeiden perusteella pääsin jatkamaan korkeakoulun puolelle opintojani. Tuo koulutus kuului ns. Disko-koulutukseen ja siellä opiskeli melkoinen määrä Nokialla töissä olevia insinöörejä. Tein erikoistyöni 1997–1998 ja diplomityöni 1999–2000. Diplomityöni yhteydessä hyödynsin IEEE:n (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) materiaaleista DWDM-tekniikkaa (*Dense Wavelength-Division Multiplexing*) käsitteleviä artikkeleita, koska Suomesta tästä asiasta ei saanut riittävästi teknistä tietoa. Vuonna 2000 liityin IEEE:n jäseneksi. Korkeakoulupintojeni jälkeen jatkoin työtäni puolustusvoimien ja turvallisuusviranomaisten tietoliikenneverkkojen ja palveluiden kehittämien parissa ja kyberturvallisuusasioiden parissa. Olin mukana kokonaisarkkitehtuuryössä ja niiden ohjeistuksien tekemisessä, sekä tietoturvallisuusratkaisuihin ja ohjeistuksiin liittyvissä töissä.

Väitöskirjatyö

Junamatkoillani osalleni on sattunut monia, elämänkulkuuni merkittävästi vaikuttavia kohtaamisia. Paitsi että minulle tarjottiin työpaikkaa puolustusvoimilla rautatieasemalla, tapasin myös nykyisen vaimoni junassa. Uuden avioliiton myötä v. 2011 muutin asumaan Tampereelle, jolloin työmatkani piteni. Väitöskirjan tekeminen lähti sitten liikkeelle eräänä kesäaamuna v. 2017 työmatkallani Tampere – Helsinki-junassa, jossa tapasin entisen työkaverini Martti Karin, jolle kerroin pian tapahtuvasta eläköitymisestäni. Hän esitteli minut professori Pekka Neittaanmälle Jyväskylän yliopistosta, jonka kanssa aloimme keskustella väitöskirjan tekemisestä. Väitöskirjatyön aloittamiseen liittyen jouduin tekemään kirjatentit, jotka käsitelivät tuon ajan keskeisiä tekniikan osa-alueita ja kokonaisuuksia. Sen lisäksi tarvitsin väitöskirjan kokoamiseen riittävän määrän kirjoittamiani tieteellisiä artikkeleita.

Vuoden lopulla teinkin ensimmäisen artikkelini esitettäväksi kesän 2018 ECCWS-konferenssissa Osllossa. Seuraavana vuonna laadin ja esitin kaksi uutta artikkelia Coimbran ECCWS2019 konferenssissa, jossa voitin ensimmäisen palkinnon Ph.D-ryhmässä esitykselläni "*E-health systems in digital environments*". Toinen tuolloin julkaistu oli "*Undersea Optical Cable Network and Cyber threat*", joka käsittelee merivalokaapelien kyberuhkia.

Arktista aluetta koskeva artikkelini hyväksyttiin julkaistavaksi NATO-kirjassa vuonna 2019. Tämän jälkeen tarvittava määrä artikkeleita väitöskirjan kirjoittamista varten olikin valmiina.

Kirjoittamista varten kävin lukuisia, antoisia ja opettavia keskusteluja väitöskirjaohjaajani, prof. Neittaanmäen kanssa. Olen suunnattoman kiitollinen, että hän sai minut kiinnostumaan tieteen tekemisestä ja lupautui myös toimimaan ohjaajanani.

Väitöstilaisuus pidettiin Jyväskylän yliopiston, Agoran tiloissa, joulukuussa 2019. Valvojana toimi prof. Pekka Neittaanmäki ja muut työn seuraajat olivat prof. Timo Hämäläinen, prof. Martti Lehto ja dosentti Tuija Kuusisto Jyväskylän yliopiston Informaatiotekniikan osastolta. Väitöskirjan tarkastajina toimivat prof. Heikki Hämäläinen, Aalto yliopistolta ja prof. János Sztrik, Debrecen yliopistosta, Unkarista. Vastaväittäjänä toimi dosentti Rauno Pirinen, Maanpuolustuskorkeakoululta.



Väitöstilaisuus, vastaväittäjä Dosentti Rauno Pirinen vasemmalla, valvoja professori Pekka Neittaanmäki keskellä ja itse väittelijä oikealla.

Väitöstilaisuus oli mieleenpainuva ja myös hyvähenkinen. Tilaisuus jännitti etukäteen paljonkin, koska en ollut aikaisemmin ollut väitöstilaisuuksissa mukana tapahtumia seuraamassa, eikä minulla ollut siten näkymää eikä tuntemusta tilaisuuden etenemisestä eikä menettelyistä. Lisäksi jännitystä lisäsi vastaväittäjäni kertoessaan lukeneensa väitöskirjani monta kertaa lävitse ennen tilaisuutta.

Tutkimustyön jatkaminen

Väitöskirjani jälkeen olen jatkanut tutkimustyötä kyberturvallisuuden, kvanttilauksen (*kiinteät- ja mobiiliverkot*), virtualisoitujen ja viipaloitujen verkkojen sekä virtuaalisen

todellisuuden kyberturvallisuushaasteiden parissa huomioiden tulevaisuuden metaverse-toimintaympäristöt. Olen osallistunut vuosittain ECCWS-konferensseihin ja esittänyt laatimiani artikkeleita niissä. Lisäksi olen ollut mukana IEEE: n järjestämissä konferensseissa, jotka ovat käsitelleet 5G- ja 6G- tekniikoita, sekä osallistunut tulevaisuuden verkkotekniikoita käsitteleviin konferensseihin. Koska olen IEEE: n jäsen, saan sen kautta kirjallista materiaalia tekniikan kehittymisestä ja tulevista suunnista, sekä viimeisimmistä tutkimustuloksista. Osallistun myös usein ITU-T (*The International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector*) webinaareihin, joissa käsitellään tekoälyn käyttöä ja ratkaisuja. Mahdollisuuksien mukaan luen lisäksi "*Inside Quantum Technologies*"- sivustoja, mikä on sen hintavuuden takia haasteellista ilman organisaation tukea.

Seuraan myös NIST (*National Institute of Standards and Technology*) ja ENISA (*European Union Agency for Cybersecurity*) työryhmien tuloksia, 5Gpp (*The 5G Infrastructure Public Private Partnership*) ja 3Gpp (*The 3rd Generation Partnership Project*) työtä ja kehityssuunnitelmia, sekä niiden organisaatioiden standardointityötä.

Lisäksi käyn lävitse ja tutkin NICT (*National Institute of Information and Communication Technology, Japan, Tokio*, <https://www.nict.go.jp/en/about/location.html>) sivustoja, julkaisuja ja tutkimusraportteja, joissa esitellään tulevaisuuden teknisiä kehityssuuntia ja tarvittavia teknologioita pitkälle tulevaisuuteen. Yhtenä keskeisenä alueena tutkimuksissa ovat kvanttitekniikkaan liittyvät kuvaukset.

Uusin tutkimustyö, johon osallistun Jyväskylän yliopiston ryhmässä, liittyy merivalokaapelien ja muiden meren kautta kulkevien laitteiden ja järjestelmien suojauksien tutkimiseen ja kehittämiseen EU-hankkeessa "*VIGIMAREE*". Hanke käynnistyy syyskuussa 2024 ja siihen osallistuu useamman Euroopan maan yliopistoista ja korkeakouluista tutkijoita, sekä yritysten edustajia.

Tutkimuksessa ja kehittämisessä tehtävä kokonaisarkkitehtuurityö on ollut tärkeä osa työtäni aivan sen alkuvaiheista lähtien, jolloin piirsin tietoliikenneverkkojen ja tarvittavien ympäryslaitteiden kytkentäkaavoja yksittäisten johtojen tarkkuudella päästä päähän. Arkkitehtuurimalliksi tulivat 2000- luvun alussa kokonaisarkkitehtuurikuvaukset, kuten NATO- arkkitehtuuri (*NATO Architecture Framework Version 1 – NAFv1*), jonka versiokehitystä seuraan edelleen. Lisäksi käytössä oli Togaf (*The Open Group Architecture Framework*), johon pohjautuu mm. Suomen julkisen hallinnon kokonaisarkkitehtuurikehikko JHS (*Julkishallinnon Suunnitteluprosessit*). Tällä hetkellä seuraan uudempaa versiona Dragon1 Open EA -metodin (<https://www.dragon1.com/help/Dragon1-Open-EA-Method>) kehittymistä. Se sisältää työkaluja riski- ja kyberturvallisuusanalyysien tekemiseen, tekoälyn käyttöön, sekä taloushallinnon asioiden tarkasteluun. Yhtenä osakokonaisuutena se mahdollistaa myös digitaalisen kaksosen käyttömahdollisuuden tehtyjen ratkaisujen optimoimisessa.

Väitöskirjani sivulla 31 (*kuva 7*) esittelen tutkimuksen ja kehittämisen aikajänteitä, tutkimusyklejä sekä ennusteiden tekemistä, mitkä kaikki tekijät tulisi pitkäjänteisesti huomioida yhteiskunnassa yritysten tai viranomaisten strategioiden sisällöissä ja tulevaisuuden budjetoinneissa. Näihin tulevaisuustutkimuksiin ja -analyysiin hyödynsin usei-

den tutkimuslaitoksien ja yliopistojen tutkimusmateriaaleja. Välitavoitteet olivat tärkeänä osana ennusteita. Niiden avulla laitoksien on mahdollista laatia strategisen suunnitelman päivitykset, uudet välitavoitteet ja lopulliset tavoitetilat. Tein 2014 tavoitetilan 2035 kokonaisarkkitehtuurikuvauksen, joka perustuu kokonaisuudessaan kvanttitekniologian käyttöön käyttäjäliitynnöistä lähtien sisältäen älykkäät päätelaitteet ja liityntä-, reuna- ja runkoverkot aina palvelinhotelleihin asti virtualisoiduissa, viipaloiduissa ja virtuaalisen todellisuuden huomioivissa tulevaisuuden tietojärjestelmien toimintaympäristöissä. Tässä yhteydessä voidaan puhua tavoitetilan ratkaisusta kuten Universal Network, jonka on esittänyt NICT (*NICT*, <https://www.nict.go.jp/en/quantum/roadmap.html>) tai Kvantti-Internet nimikkeiden alla toimivasta kokonaisuudesta. Silloin olemme täysin kvanttimaailman kanssa tekemisissä.

Väitöskirjani sivulla 47 (*kuva 16*, <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/66753>), kuvaan QFD-mallin (*Quality Function Development*) (*QFD Institute*, <https://www.qfdi.org>) avulla asiakaslähtöiselle tuotteelle kehitettyä palvelua, jonka avulla tarkastellaan, määritellään ja analysoidaan erilaisia riippuvuuksia, riskejä, uhkia ja vaikuttavuuksia. Samaa QFD- mallia minua oli ohjattu käyttämään vuosien 2010–2015 aikana esitellessäni arvioitiryhmälle näitä tekijöitä viranomaisten toimintaympäristöissä alkaen fyysisistä rakenteista palveluketjujen päähän saakka palveluineen. Mallia käytetään edelleen rakennusteollisuudessa, autoteollisuudessa ja kyberturvallisuusanalyseissä.

Edellä kuvaamani menetelmät ovat tutkimushankkeissani käytössä ja niitä olisi mielestäni tullut käyttää sekä turvallisuussyistä että palvelujen yhteensopivuuden ja kustannustehokkuuden toteuttamiseksi myös SOTE-palveluiden optimoinnissa mm. fyysisten tilojen ja rakenteiden, sekä tietojärjestelmien osalta.

Ajankohtaisesti teen merivalokaapelihankkeen lisäksi tutkimusyhteistyötä yritysryhmässä, joka on hakemassa ulkomaista rahoittajaa tulevaisuuden toimintaympäristöihin ja kvanttitekniikkaan soveltuvien pääte- ja verkkolaitteiden kehittämiseksi em. laaja-alaiset vaikuttavuusarviot huomioiden.

Väitöskirjaani liittyvissä seminaariesityksissä olen kuvannut myös mm. tietoliikenneverkkojen kokonaisuuksia ja eri osa-alueiden keskinäistä toimintaa huomioiden äärimmäiset poikkeusolosuhteet. Usein kuulen kuitenkin sanottavan, että esityksieni kuvat ovat aivan liian laajoja.

Tämä herättää huolen, onko kokonaisuuksien hallinta ja ymmärtäminen vielä tänä päivänäkin monissa yhteyksissä aivan liian haasteellista ja taitajat vähissä. Tarkasteleeko kukaan näissä asiayhteyksissä mitä tehdyt ratkaisut saattavat aiheuttaa nyt ja myöhemmin tulevaisuudessa yhteiskuntaamme? Ajattelevatko yritykset yhä enemmän vain omia voittojaan?

Lopuksi

Syntymäkotini on nykyään perheeni kesäpaikka Ilomantsissa. Käymme siellä marjastamassa ja vaeltamassa, nauttimassa maisemista ja karjalaisesta ruokaperinteestä, kuten sultsiinoista ja erilaisista "piiroista".

Mietin usein, miten tänne Ilomantsin korpiseuduille rakennettiin 1960-luvulla sähkölinjoja ajattelematta tulevaisuutta. Tasavaaran torppammekin menetti sen vuoksi ukkini tekemän hienon savusaunan, jota aiemmin oli käytetty syksyisin myös viljojen kuivaamiseen ja puintiin. Rakennuksen tuhoamisen lisäksi metsää jouduttiin kaatamaan mailtamme noin 600 metrin pituudelta ja 20 metrin levyiseltä alueelta. Uhraukset osoittautuivat täysin turhiksi. Vuonna 2022 sähkölinjan linjausta muutettiin asianmukaisesti tienvarressa kulkevaksi. Muutoksen jälkeen istutimme vaimoni kanssa puretun sähkölinjan pohjalle uudet kuusen taimet menetettyjen tilalle. Vanhaa savusaunaa ei kuitenkaan voida saada takaisin.

Sähkölinjojen kulun harkitsematon valinta oli hyvä esimerkki siitä, miten tärkeää olisi suunnitella asiat kunnolla, kokonaisuus ja pitkä aikajänne huomioiden. Noista keskeisistä asioista olen pyrkinyt pitämään huolta myös omassa työssäni urani aikana.

Toinen vastaava esimerkki tulee tuolta merellisistä toimintaympäristöstä. Merialueille asennettavia tietoliikennejärjestelmiä varten 1990-luvulla tehdyt yhdistelmävalokaapelit sisälsivät sekä tietoliikenteen tarvitsemat valokaapelit että sähkönsiirtoon tarkoitettut kuparikaapelit saman yhden vaipan sisällä.

Saariston asukkaille heidän tarvitsemansa tietoliikenneyhteydet ja sähköliittymät toimitettiin tämän ratkaisun avulla mahdollisimman vähän ympäristölle vahinkoja aiheuttaen. Tällä ratkaisulla olisi aivan hyvin voinut hoitaa myös tuolloisten haja-asutusalueiden tietoliikenneyhteyksien rakentamisen, saaden sähkönsyötöt taloihin samassa ojassa metsää kaatamatta. Se olisi ollut myös ilmastoystävällistä. Tuolloin en kuitenkaan ollut osallisena noissa uudistuksissa, eikä niitä ohjattu kokonaisvaltaisesti. Teleoperaattoreiden osalta tuollaista yhteistoimintaa jo harjoitettiin. Tarkkaan suunnitellut maakaapeliratkaisut parantavat turvallisuutta, palvelevat monenlaisiin poikkeusolosuhteisiin varautumista ja järjestelmien ja toimintojen varmistamista.

Kulttuuriperinnön ja vanhan rakennuskannan suojelun huomioimista olen pitänyt laajemmaltikin tärkeänä.

Rauta-aika elokuvaa varten (*Kultainen, Sampo, Lemminkäinen, Pitkä talvi*) kerättiin Ilomantsin kyliltä aikoinaan vanhoja puurakennuksia, joiden hirsiiä käytettiin kulisseiaksi elokuvaa varten. Rauta-aikaa kuvattiin myös Siitarinvaaralla, runonlaulaja -Mateli Kuvialattaren kotipihassa. Valitettavasti elokuvaa varten tehtyjä rakennelmiakaan ei jätetty nähtäväksi jälkipolville. Elokuvan tekoon meni niin ikään ukkini aikanaan rakentama hirsiaitta. Minä en ukkiani koskaan ehtinyt näkemään, joten henkilökohtaisestikin hänen kätensä työt olisivat olleet minulle tärkeitä.

Ilomantsin Pappilanvaarassa on vielä säilyneenä ukkini isoisän n. 1860 (*Ilomantsin historia*) rakentama vanha riihi. Se meni ajan myötä huonoon kuntoon, mutta saatiin

kunnostettua monien vaiheiden ja ponnistelujen jälkeen vuonna 2022, koska sen lopulta todettiin olevan osa Ilomantsin kulttuurimaisemaa. Itsekin olin aktiivisena osallistujana ja pienenä rahoittajanakin kunnostushankkeessa mukana. Riihi on siis edelleen osa kaudista Ilomantsin kylän perinnumaisemaa muistuttaen minua, lapsiani ja nyt myös lapsenlapsiani heidän esi-isästään. Museovirasto on määritellyt Valtakunnallisesti merkittävät rakennetut kulttuuriympäristöt RKY. (https://www.rky.fi/read/asp/r_kohde_det.aspx?KOHDE_ID=1097). Tuolta listalta löytyvät myös tämä Ilomantsin pappilanvaara ja sen riihi.



Ilomantsin pappilan vanha riihi kunnostettuna Ilomantsin kulttuurimaisemassa. Taustalla näkyvät Ilomantsin järvi ja kuvan vasemmassa laidassa evankelisluterilainen kirkko. Ilomantsin ortodoksinen kirkko jää riiehen taakse piiloon.

Korpimailla oleminen ja kulkeminen ovat vaikuttaneet minun tapaan ajatella koko elämäni ajan. Olen maalannut ja piirtänyt menneiden vuosien aikana Pohjois-Karjalan maisemia eri vuodenaajoilta väreineen ja sävyineen. Naarvasta näkyvät Koitere ja sen saaret ovat ikuisesti painuneet sieluni syvyyksiin, eivätkä ne sieltä lähde koskaan pois. Myös Koli-vaara näkyy Naarvasta katsoen horisontissa, mikä näkymä kuvautuu mielessäni upeana maisemana. Ilomantsissa on minulle monia muitakin unohtumattomia kylä- ja järvimaisemia.

Näin jälkeenpäin ajatellen voin vain olla onnellinen, että olen saanut asua ja kasvaa lapsuuteni ja nuoruuteni ajan sanomattoman kauniiden maisemien ja koskemattomien korpimaiden keskellä.

Uskonkin, että elämäkokemukseni ja yhteyteni luontoon ovat voimakkaasti vaikuttaneet ja vaikuttavat ajatteluuni etsiessäni tieteestä vastauksia ja ratkaisuja tehokkaan ja turvallisen, mutta luontoa ja kulttuuriperimää säästävän teknologian kehittämiseen.



Naarvan vaaralta avautuva maisema.



Vaimoni kanssa Kolin maisemassa.



Promootiokulkue.



Promovoitu tohtori.

■ ■ ■



Jouni Pöyhönen, Insinöörieversti (evp), FT

Syntynyt 1954 Hankasalmella

FT vuonna 2020 Jyväskylän yliopistossa

Tutkijatohtori Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnassa.

JATKUVAN OPPIMISEN POLULLA – VIELÄ ILMAVOIMISTA YLIOPISTOON

Lapsuuteni ja nuoruuteni kasvuympäristön muodosti Hankasalmen kirkonkylän koulu-
lyhteisö, johon kuului kunnan koulukeskuksena osat alakoulusta aina lukioon asti. Lähes kaikki koulun työntekijät, niin opettajat kuin muukin koulun henkilöstö, asuivat koulun välittömässä läheisyydessä. Isoimmat koulurakennukset sekä niiden läheisyydessä sijainneet opettajien työsuhteasunnnot olivat lapsuuteni ja nuoruuteni ajanjaksolla kuusi- ja seitsemänkymmentäluvulla vielä uusia tai uudehkoja. Molemmat vanhempani olivat töissä tässä yhteisössä. Isäni toimi kiinteistöjen talonmiehenä ja äiti koululla siivoojana.

Asumme vuodesta 1959 lähtien tuolloin valmistuneessa koulurakennuksessa, johon talonmiehen perheelle oli varattu asunto. Koulu yhteisössä vallitsi tiivis päivittäinen kanssakäyminen kaikkien kesken. Se oli nuoria opintielle kannustava ja muutoinkin siinä kuvastui yhteisöllisyys ja auttavaisuus. Lapsuuden ja nuoruuden leikki- ja harrastekaverit oli koulun pihapiirissä niin sanotusti "*omasta takaa*". Toki muitakin lähialueen samanikäisiä oli mukana touhuissamme ja kouluympäristön meille tarjoamissa harrastusmahdollisuuksissa. Yhteisöä pystyi luonnehtimaan monella tapaa laajaksi ja tuolloin jopa nykyaikaiseksi sekä monipuoliseksi kasvuympäristöksi. Olenkin monesti jälkikäteen ajatellut, että siitä saaduilla kokemuksilla on ollut varmasti osaltani hyötyjä myöhemmissä elämän eri vaiheissa, joista seuraavaksi joitakin otsikon mukaisia esimerkkejä.

Peruskoulun yläaste aloitti Hankasalmella kokeilukouluna 1967, yhtenä harvoista paikkakunnista koko maassa. Se tarkoitti kohdaltani kunnalliseen keskikouluun hakeutumisen muuttumista monia eri valintoja mahdollistavaksi koulutukseksi uusimuotoisessa koulussa. Yksi valinnainen aine oli kone- ja sähköoppi, jonka valitsin lukujärjestykseeni.

Ehkäpä juuri tuo valinta ja aineen mielenkiintoisuus vaikuttivat lopulta ratkaisevasti siihen, että ammattitavoitteeksi muodostui sähköalaan liittyvä insinöörin ammatti. Siksi päätinkin hakeutua jo peruskoulun viimeisellä luokalla teknilliseen opistoon. Tuolloin opiskelupaikan pystyi varaamaan, jos onnistui pääsykokeissa. Paikan varaaminen tarkoitti sitä, että opiskeluoikeus oli mahdollista saada vasta, kun oli hankkinut alalta kahdeksantoista kuukauden työharjoittelun kokoon. Opiskeluoikeus muodostui siten näiden kah-

den ehdon täytyttyä. Ilmoittauduin peruskoulun jälkeen lukioon, mutta olin hakeutunut myöhempiä opiskeluja ajatellen myös Pieksämäen ammattikoulun keskikoulupohjaiselle Radio- ja TV-tekniikan linjalle. Kun tieto valinnasta Pieksämäelle tuli, niin lukio sai jäädä, sillä tuo koulutushan toi vaadittavan työharjoitteluajan ja siten mahdollisti toisen ehdon täyttymisen pääsystä insinööriopintoihin.

Polku niihin ei kuitenkaan ollut osaltani aivan suoraviivainen. Aluksi en päässyt edes valintakokeisiin, koska uusimuotoista todistustani peruskoulusta ei ymmärretty keskikoulun todistukseksi. Lopulta asia selvisi ja pääsin myös pyrkimään insinööriopintoihin, mutta pääsy onnistui vasta Jyväskylän teknillisessä oppilaitoksessa suoritetun teknikkokoulutuksen jälkeen. Ammattikoulu toi nimittäin myös tarvittavan työharjoitteluajan teknikkokoulutukseen ja sinne sainkin opinto-oikeuden heti ammattikoulun ja sitä seuranneen varusmiespalveluksen jälkeen.

Insinööriopintojen vuoro tuli samaisessa Jyväskylän teknillisessä oppilaitoksessa teknikkotutkinnon ja Puolustusvoimissa sotilasteknikkona tehdyn lyhyen, hiukan yli vuoden mittaisen työkakson jälkeen. Kaikissa edellä mainituissa koulutuspaikoissa elektroniikan opetus oli sen kehityskaaren ja myöhemmin digitalisaatioon liittyvää ja siten ajankohtaista. Ammattikoulussa esimerkkinä siitä oli silloinen väritelevisiotekniikan kehitys ja siihen liittyvä elektroniikka, jota koulussa opetti muun muassa Saloran TV-tehtaalla aiemmin pääsuunnittelijana toiminut insinööri. Teknikkokoulutuksessa puolestaan ajankohtaista oli digitaalitekniikka logiikkapiireineen. Koulutus sisälsi muutoinkin paljon elektroniikkaan liittyvää opetusta.

Lisäksi oppilaitoksen ja yrityskentän välisestä yhteistyöstä hyväksi esimerkiksi sopii se, että soveltavaa elektroniikkaa opettivat silloisen Valmetin mittaritehtaan suunnitteluinsinöörit. Insinööriskoulutuksessa esimerkkinä tekniikan kehityksen ajankohtaisuudesta voidaan pitää erityisesti mikroprosessoritekniikkaa, sillä sen yleistyminen oli tuolloin juuri saamassa läpimurtonsa. Koulutuksessa oli oleellista myös eri ohjelmointikielien opiskelu aina konekielitasolta korkeamman tason ohjelmointikieliin asti. Oppilaitoksen ja yrityskentän välisestä yhteistyöstä voi tässä yhteydessä mainita esimerkiksi Valmetin paperikoneitehtaan kanssa tehty yhteistyö. Saimme nimittäin opetusta paperikonesuunnitteluun liittyvästä tekniikasta Valmetin suunnitteluinsinöörien toimesta.

Sain insinöörin paperit Jyväskylän teknillisestä opistosta, sen Mittaus- ja säätötekniikan linjalta, keväällä 1981. Sen jälkeen alkoi yhtenäinen työura Puolustusvoimissa ja siitä yli kolmekymmentä vuotta Ilmavoimissa kestäen vuoden 2014 syyskuun loppuun asti.

Aluksi työtehtävät liittyivät uusien valvontajärjestelmien tietokonetekniikan ohjelmisto- ja laitetason käyttöönotto- ja ylläpitotöihin. Seuraavassa vaiheessa nuoren insinöörin vastuulle tuli ilmavalvontatutkajarjestelmiin liittyvää järjestelmävastuuta edellä mainittujen tehtävien osalta. Myöhemmin työtehtävät liittyivät ilmavalvontajärjestelmien suorituskyvyn rakentamiseen eri hankintaprojekteissa. Niissä uusimman tekniikan ratkaisut sekä toimiminen kansainvälisten yritysten kanssa muodostivat taas uuden työssä oppimisen ympäristön.

Puolustusvoimat huolehti edellä mainittuihin tehtäviin liittyvistä laite- ja järjestelmä-

koulutuksista ja tuki muun muassa hankintaprojekteissa toimimista projekti- ja kielikoulutuksin. Aiemmin tekniikasta saamani koulutus tuki hyvin näihin eri tehtäviin liittyneitä osaamisvaateita. Edellä mainituissa tehtävissä työuraa kului jonkin verran yli kolmasosan.

Seuraavana olikin vuorossa organisaation esimiestehtävät ja niissäkin taas uusi oppimisen paikka. Tuolloin mieleen tuli ajatus osaamispuhjan laajentamisesta vastaamaan työuran jatkovuosien tarpeita. Hakeuduin ja pääsinkin *Teknilliseen korkeakouluun Tuotantotalouden* osastolle opiskelemaan organisaatioiden liiketoiminnan kehittämistä ja johtamista pääaineena logistiikka. Opiskelua oli mahdollista suorittaa työn ohessa ja niin kuuden vuoden kuluttua sain Otaniemestä diplomi-insinöörin paperit ja niiden opiskeluvuosien aikana hyödyllistä oppia työuran jatkovuosille Ilmavoimien eritasoisissa esimiestehtävissä. Lisäksi esimiestehtävien hoitoa tuki Puolustusvoimien työurakoulutus, jota oli muun muassa eri yhteyksissä saatu toiminnan- ja laadunhallinnan koulutus. Työura Puolustusvoimissa vastasikin monessa mielessä otsikon tekstiä – *"Jatkuvan oppimisen polulla"*.

Toinen osa otsikkoa – *"Vielä Ilmavoimista yliopistoon"* – muodostui todelliseksi yllätysmahdollisuudeksi, kun ajatukset olivat jo eläkkeelle siirtymisessä. Pakollinen eroamisikä oli tulossa vastaan Ilmavoimien tehtävistä syksyllä 2014. Olin tuolloin keväällä seuraamassa virkatehtävien puitteissa Jyväskylän ammattikorkeakoulun uudessa kyberturvallisuuslaboratoriossa järjestettävää Puolustusvoimien harjoitusta. Samaa harjoitusta oli myös seuraamassa yliopiston kyberturvallisuuden koulutusta ja tutkimusta IT-tiedekunnassa kehittävä ja silloin dosenttina toiminut Martti Lehto, jonka tunsin jo pitkältä ajalta yhteisistä palveluvuosista Ilmavoimien eri organisaatioissa. Tapaamisessa tuli esille oman eläköitymiseni ajankohdan läheisyys ja mietintä tulevasta ajasta ja sen käyttämisestä ehkä muuhunkin kuin eläkearkeen. Martin välitön ehdotus oli, että tule pyrkimään jatko-opiskelijaksi yliopiston kyberturvallisuuden koulutusohjelmaan. Eipä ollut moinen mahdollisuus käynyt mielessä ja oli siten osaltani yllättävä, mutta ei se myöskään aivan mahdottomalta kuulostanut. Niinpä ensimmäinen reaktioni oli kysyä, onko jatko-opiskelupaikkani mahdollisesti pois joltain nuoremmalta tutkijakoulutukseen halukkaalta. Martin vastaus oli, että jatko-opiskelu ei ole ikään sidottua eikä sisällä opiskelijakiintiötä. Tämän jälkeen asia tuntui helpolta hyväksyä. Seuraavaksi pohdin hakeutumista edelleen, kehitin suunnitelmaa tutkimusaiheesta ja pääsyhakemusta. Vuoden 2015 keväällä hain tiedekuntaan jatko-opiskelijaksi suunnitelmieni pohjalta ja sain opiskeluoikeuden jatko-opintoihin jo tulevalle opintovuodelle.

Kyberturvallisuudesta oli vuonna 2013 julkaistu ensimmäinen *kansallinen strategia* ja sen toteutussuunnitelma. Yliopistossa oli tiedekunnan dekaanin Pekka Neittaanmäen aloitteesta jo aiemmin aloitettu kyberturvallisuuden koulutus- ja tutkimusohjelman kehittäminen tukemaan kansallista kyberosaamista. Ohjelmasta oli samalla tullut myös osa yliopiston strategiaa tavoitteita vuosille 2015–2019. Sen kehittämisestä ja johtamisesta oli vastuussa professori Martti Lehto.

Koulutusosion konkreettinen aloittaminen maisteriohjelmana alkoi vuonna 2014. Sen eri kursseihin jatko-opiskelijatkin saattoivat hakeutua. Vuoden 2015 keväällä alkoi myös

laaja kansallinen kyberturvallisuuden tutkimushanke CIRP (*Critical Infrastructure Resiliency and Protection*), johon pääsin osa-aikaiseksi projektitutkijaksi tiedekunnan tutkijaryhmään.

Omalta osaltani puitteet olivat siis valmiit vuonna 2015 kyberturvallisuuden opiskeluun ja tutkimukseen. Todella mielenkiintoiset vuodet kohti väitöstilaisuutta olivat edessä. Väitöskirjan aihealueeksi oli muodostunut kansalliseen turvallisuuteen oleellisesti liittyvän *kriittisen infrastruktuurin organisaatioiden kyberturvallisuuden hallinnan* tutkiminen johtamisen ja kehittämisen näkökulmista. Sen ohjauksesta vastasivat professorit Martti Lehto, Rauno Kuusisto ja Pekka Neittaanmäki. Jatko-opiskelu ja väitöskirjan valmistelu sisälsivät tulevien viiden vuoden ajan eri kurssien suorittamista, seminaareja, konferensseja sekä projektitutkijan työtä useissa eri tutkimushankkeissa. Tutkimushankkeista kirjoitettiin raportteja, kirja- ja tutkimusartikkeleita. Osasta tutkimusaineistoa tehtiin myös julkaisuja tiedekunnan julkaisukantaan.

Tutkimushankekokonaisuuksista kirjoitettiin kansainvälisiin konferensseihin artikkeleita, joita kävin myös niissä esittelemässä. Osasta vertaisarvioituista artikkeleista sekä muista julkaistuista tutkimusaineistoista muodostui siten myöhemmin väitöskirjan tutkimuksellinen osuus. Voinkin näin jälkikäteen painottaa osallistumisen tärkeyttä yliopiston tarjoamiin tutkimushankkeisiin osana väitöstutkimusta. Se voi olla monta kertaa jopa ehdoton edellytys saada tutkimustyöhön konkreettista tutkimusaineistoa. Omalta osaltani olen tästä mahdollisuudesta erityisesti kiitollinen tiedekunnalle.

Väitöskirjan kirjoittaminen oli vuorossa jatko-opintojen ollessa jo lopuillaan ja tutkimusraporttien sekä -artikkelien ollessa jo merkittävimmiltä osiltaan koossa. Väitöstutkimuksen tutkimusmenetelmänä oli *pehmeä systeemimetodi systeemiajatuista* hyödyntäen. Se tuntui hyvin sopivan *kriittisen infrastruktuurin* toimijoiden ja kybermaailman laajan verkottuneen käsitteen muodostaman alueen tutkimukseen, jossa ihmiset toimijoina, eri toiminnalliset prosessit järjestelmineen ja niiden sisältämän digitalisaation mukanaan tuoma teknologia esiintyvät yhtenä kokonaisuutena. Infrastruktuuri toimijoinen onkin siten järjestelmien muodostama järjestelmä ja laajimmillaan se on toisiinsa kytkettyjen infrastruktuurien verkosto. Sen toiminnalliseen luonteeseen kuuluvat kompleksisuus ja teknillinen monimutkaisuus.

Väitöskirjan kirjoittamisesta muodostuikin lopulta hyvin innostava prosessi. Väitöskirjan aiheen nähtyään Pekka Neittaanmäki esitti, että kirjoittaisin väitöskirjani suomeksi. Lopulta artikkeliväitöskirjasta muodostuikin eräänlainen *hybridiväitöskirja* sisältäen laajahkon suomenkielisen osuuden tutkimuskokonaisuuden esittämiseksi sekä vertaisarvioitua konferenssiartikkelit tutkimustuloksineen tukemaan kokonaisuutta. Väitöskirjan muodostaminen toimivaksi kokonaisuudeksi oli erityisen mielenkiintoinen tehtävä ja sen kirjoittamisesta muodostui *"koukuttava prosessi"*. Väitöstilaisuus oli elokuussa 2020, jolloin koronaepidemian rajoitukset olivat osin vielä voimassa. Se tarkoitti muun muassa tilaisuuden osallistujamäärän rajoittamista ja sen esittämistä myös etäyhteydellä oleville kuulijoille. Jälkeenpäin sain hyvää palautetta siitä, että etäyhteys oli mahdollistanut yhden ohjaajan, osan sukulaisista, monien ystävien ja tuttuuden mukanaolon tilaisuudessa.

Otsikko "*Vielä Ilmavoimista yliopistoon*" oli siis tuottanut jatkuvan oppimisen polulla väitöskirjan, tohtorin arvon sekä tiedot ja taidot tutkijana toimimiseksi. Olenkin saanut olla edelleen tiedekunnassa osa-aikaisena tutkijatohtorina, ja siten hyödyntää sekä kehittää myös väitöskirjan tuloksia eri tutkimushankkeissa osana Martti Lehdon vetämää kriittisen infrastruktuurin kyberturvallisuuden tutkimusryhmää. Olemme edelleen kirjoittaneet tutkimushankkeista artikkeleja konferensseihin ja muihin alan tieteellisiin julkaisuihin.

Jatkuvan oppimisen polku on siten vielä jatkunut osaltani yliopistossa. Tämän kirjan otsikon mukaista tavoitetta, lisätä tutkijakoulutettujen huippuosaajien määrää koulutusmahdollisuuksia edistämällä, voidaankin pitää merkittävänä osana *jatkuvan oppimisen eri polkuja* ja erityisesti niiden huipentumana. *Jatkuvan oppimisen polut* mahdollistavat yksilöiden tietojen päivittämisen tehtävien vaatimusten mukaiseksi alati kehittyvillä työmarkkinoilla ja niiden sisältämässä teknologiaympäristössä. Koulutusjärjestelmän dynaamisuus ja sen hyödyntäminen yksilöinä palvelee lopulta koko yhteiskuntaa.



Kuvassa väitöstilaisuus on ohii. Vasemmalla vastaväittäjänä toiminut Henry Sivusuo sekä allekirjoittaneen lisäksi tilaisuuden kustoksena toiminut Martti Lehto ja tilaisuutta mukana olloaan kunnioittanut Pekka Neittaanmäki.

9 YHTEISTYÖKUMPPANIEEN PUHEENVUOROJA

Tutkijakoulutuksen keskeinen tehtävä on uusia avauksia ja luoda kansallisia ja kansainvälisiä verkostoja. Kun olin 1970-luvulla matematiikan opiskelija hankin Pertti Järvisen kirjan operaatiotutkimuksesta. Kirja ohjasi Pertin väitöskirjaan, joka käsitteli sanomalehtien jakeluauton reitin optimointia. Pertti sai sitten professuurin Jyväskylän yliopistosta mutta palasi kohta Tampereen yliopistoon, jossa hän on tehnyt yli 50 vuotisen uran yliopistokoulutuksessa. Hän kertoo *Luvun 9.1* kirjoituksessaan omia kokemuksiaan tutkijakoulutuksesta ja kehittämistarpeista.

Luku 9.2 käsittelee kognitiotiedettä ja professori Pertti Saariluoman alan kehitysvaiheita IT tiedekunnassa sekä tutkimusryhmän tavoitteita.

Luvussa 9.3 professori Michal Křížek kertoo pitkäaikaisesta yhteistyöstämme joka alkoi jo 1980-luvulla.



TIETOJÄRJESTELMÄTIETEEN PULMISTA

Pertti Järvinen

professori, Tampereen yliopisto

Johdanto

Kirjoitan ensin hiukan kokemuksiani elämän varrelta, niin sen perusteella on helpompi ymmärtää, mitä pulmia olen nähnyt tietojärjestelmätieteessä. Kävin klassillisen lyseon, joka antoi pitkittäis-näkemyksen, mitä kautta Suomen tieteessä on tultu tähän pisteeseen. Suomessa oli vain muutama tietokone 1960-luvun alussa. IBM:n ohjelmointikurssi ohjasi alalle. Menin kurssille ja ohjauduin sitä kautta Imatran Terästehtaalle 1963. Sinne hankittiin siihen aikaan moderni tietokone IBM 1401, jossa oli neljä levy-yksikköä muistilevyjen vaihtamiseksi. Ensimmäiseksi tein yksinkertaisia "lue-ja-kirjoita"-ohjelmia. Kun olin tehnyt niitä toistakymmentä, päädyin tekemään alkeellisen *raportti-generaattorin*, jolla vastaavan ohjelman sai tehtyä määrittelemällä ohjelman tarpeet. Imatran Terästehtaalla opin erityisesti teollisuuden prosesseista ja firman toiminnasta pää- ja tuki- sekä johtamistoimintoihin. Myös yhteydet joihinkin ulkopuolisiin tahoihin (*ostajiin, myyjiin, sähkön-toimittajaan sekä valvontaviranomaisiin*) tulivat jonkin verran tutuiksi.

Siirryin Tampereen yliopistoon, sen tietokeskukseen vuonna 1967. Toimin kolme vuotta tuntiohjaajana oma työni ohella. Prof. Seppo Mustonen oli tehnyt taulukointiohjelman, joka oli osittain samankaltainen raporttgeneraattorin kanssa. Prof. Mustonen laati tietokonekeskuksen asiantuntijoiden kanssa *SURVOn*. Se on tilasto-ohjelma, jota tarvitaan yhteiskuntatieteellisissä tutkimuksissa. Tein siihen yhden osan, mutta jouduin samalla tutustumaan erilaisiin yleisiin tilastometodeihin.

Miikka Jahnuainen oli Reino Kurki-Suonion kanssa aloittanut tietojenkäsittelyn yli-

opisto-opetuksen ensimmäisenä Pohjoismaissa 1965. Kun Jahnukainen lähti 1970 perustamaan Atk-instituuttia, niin Kurki-Suonio tuli kysymään minua opettamaan systeemin suunnittelua (*information systems, IS*). Tein sitä sittemmin yhdessä Hannu Kangassalon kanssa useita kursseja luoden. Kun yliopistossa voi edetä ylempiin opetusvirkoihin vain väitelleet, tein väitöskirjan jakeluauton reitin optimoinnista. Aiheen olin saanut paikalliselta lehdeltä. Väitöskirjan ongelma kuuluu operaatio-tutkimuksen alaan. Luulin silloin, että tietokoneen hyväksikäyttö tulisi painottumaan erilaisten tuotantoprosessien, kuten teräksen tuotannon, optimointiin. Siksi tein ensimmäisen suomalaisen oppikirjan, *Johdatus operaatiotutkimukseen, alalta*.

Tietojenkäsittelyn opetusta pyrittiin 1960-luvun lopussa aloittamaan lähes kaikissa Suomen yliopistoissa. Alan ensimmäiset vakinaiset professorit, "isot pojat", päättivät, kuka nuoremmista on heidän mielestään sopiva hoitamaan kunkin yliopiston tietojenkäsittelyn opetuksen ja tutkimuksen. Minusta näyttää jälkepäin, että minulle oli osoitettu Jyväskylän yliopisto. Toimin siellä 1974–75. Paikka oli siinä mielessä erikoinen, että siellä oli kaksi linjaa, *matemaattinen* ja *yhteiskunta-tieteellinen*, Aarni Perko oli vetämässä edellistä ja minulle tuli jälkimmäinen. Kun vaimolle ei löytynyt työpaikkaa Jyväskylästä, palasin Tampereelle entisiin opetustehtäviin.

Alkuvuodesta 1990 työhuoneeseeni tuli 15 vuotta aikaisemmin valmistunut maisteri ja vaati, että minun pitää järjestää jatkokoulutusseminaari. Epäröin kovin ja sanoin, että yhdellä ehdolla: Opiskelemme yhdessä, mitä ja miten tietojenkäsittelyä on tutkittu alan kärkelehdissä. Tästä lähti liikkeelle kv. artikkelien tiivistelmien teettäminen ja tekeminen. Silloinen tiedekunnan hallinto hyväksyi, että jatko-opiskelijan hyvästä 3–5 sivun suomenkielisestä tiivistelmästä sain antaa 1 opintopisteen suorituksen. Ensimmäiset 10 vuotta tri-opiskelija sai edellisessä seminaarissa valokopiot 3–4 artikkelista, joista sai tehdä (*jos tri-opiskelija halusi*) tiivistelmän ennen seuraavaa seminaaria. Minä opettajana jouduin aina tekemään tiivistelmän. Tri-opiskelijalle ja minulle tiivistelmien tekeminen oli vaativaa opiskelua. Samalla sekä jatko-opiskelijat että minä opimme, missä tieteellinen tutkimus IS-tieteessä menee.

Jokainen tri-opiskelija joutuu väitös-tutkimuksessaan valitsemaan ongelmaansa sopivan metodin. Siksi rupesin keräämään tietoa metodeista. Vaimoni, joka oli aikuiskasvatuksen professori, auttoi minua siinä. Ensimmäinen kirja tai moniste "*Tutkimustyön metodeista*" on vuodelta 1994. Kirja sai lopullisen jäsenyöksensä pari vuotta myöhemmin, kun March ja Smith (1995) olivat julkaisseet tutkimuksen jäsenyöksen. Se koostuu kahdesta osasta *luonnontieteellisestä* ja *suunnittelu-tieteellisestä*. Edellinen jakautuu edelleen kahtia: *teorian testaaminen* ja *uuden teorian luonti*. Myös jälkimmäisessä on kaksi puolta: *rakentaminen* ja *arviointi*. Nuo jäsenyökset osoittautuivat hyvin tärkeiksi ja tarpeellisiksi, kun halutaan tutkia oikein (*engl. rigor*). Tein englanninkielisen version, *On research methods*, 1999. Englanninkielistä kirjaa on paljon käytetty Pohjoismaissa ja Australiassa. Uusimmat lähes identtiset suomen- ja englanninkieliset versiot ovat vuosilta 2011 ja 2012.

Tampereen yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto yhdistyivät 2019. Alusta lähtien uudessa Tampereen yliopistossa oli jännitteitä. Uusi ICT-tiedekunnan dekaani (*jon-*

ka yliopiston pääosin ulkopuolisista koostuva hallitus valitsi) oli opiskellut ja työskennellyt teknillisen yliopiston puolella. Samalla maassa oli hallitus (*valtioneuvosto*), joka halusi säästää yliopisto-opetuksessa. Syystä, jota en ole koskaan saanut tietää, uusi dekaani lopetti jatkokoulutusseminaarini 2020. Seuraavana vuonna dekaanin työpari päätti, ettei tri-opiskelija enää saanut tiivistelmien tekemisestä opintopisteitä. Jälkimmäinen perusteli päätöstään iälläni (*koska olin melkein yhtä vanha kuin hänen dementoitunut isänsä*).

Ainoaksi asiaksi minulle jäi, kun halusin edistää yliopiston asiaa oli ruveta tekemään julkaisuja. Tein toisen väitöskirjani 2021 ja esitin siinä joitakin täydennyksiä eri metodien ohjeisiin. Ehkä vielä tärkeämpää oli kaksi seikkaa: Ensiksikin kriittisestä tutkimuksesta oli IS:n tieteellisessä ykkös-lehdessä esitetty 10 vuotta aikaisemmin artikkeli, jossa oli useita virheitä, eikä niitä ollut kukaan vielä korjannut. Yritin tehdä sen. Toiseksi toimintatutkimuksesta oli esitetty kolmen artikkelin sarja, jossa korostettiin teorian merkitystä. Kirjoittajat tarjosivat kahta teoriaa. Osoitin, ettei ole mahdollista luoda ainakaan toista noista teorioista (*instrumental*). - Jäin vielä pohtimaan, mitä oikeastaan toimintatutkimus on. Siitä kerron seuraavassa osassa.

Vanhentunut käsitys toimintatutkimuksesta

Suomenkielisen Wikipedian mukaan (2024-08-01) "*Toimintatutkimus on pääosin laadullisen tutkimuksen suuntaus, jolla pyritään kehittämään kohteena olevaa organisaatiota sen toimintatapoihin vaikuttamisen kautta.*" Hallinnon Tutkimus -lehden tutkimukset painottavat julkiseen hallintoon sekä yritysten ja järjestöjen hallintoon kohdistuvaa tutkimusta. Yleensä tutkimuksen kohde korostaa sitä, että "*tutkitaan oikeaa asiaa*", metodologian valinta (*tässä toimintatutkimus*) taas painottaa sitä, että "*tutkitaan oikein*". Tämä tutkimus keskittyy siihen, että toimintatutkimusta tehtäisiin oikein. Wikipedian määritelmä jatkuu "*Toimintatutkimuksessa on keskeistä vaikuttamisen pyrkimys ja toisaalta tutkijan osallistuminen toimintaan ja mukanaolo organisaation arkipäivässä.*"

Yllä poimitussa toimintatutkimuksen määritelmässä on kuitenkin pieniä puutteita. Ensiksikin toimintatutkimus ei ole laadullinen tutkimus, vaikka määritelmä niin väittää. Syynä on se, että laadullinen tutkimus olettaa tutkimuksen kohteen olevan tutkimus-hetkellä tasaantuneessa tilassa. Kuitenkin Wikipedian määritelmän mukainen kohde on organisaation kehittäminen (*siis muuttaminen*) eikä organisaation tasaantunut tila.

Toiseksi määritelmän mukaan organisaation kehittämiseen vaikutetaan *toimintatapojen muuttamisen kautta*. Ketkä sitten vaikuttavat toimintatapojen muuttamiseen? Organisaatio voi kutsua avuksi akateemisen tutkijan tai jos omassa joukossa on ongelman ratkaisemiseen pystyvä tutkija, niin hänet rekrytoidaan tekemään tutkimusta. Yleensä organisaatio kutsuu tutkijan joko yliopistosta, ammattikorkeakoulusta (*AMK*) tai tutkimuslaitoksesta. Lisäksi organisaatio valitsee paikallisista työntekijöistä muutaman tutkimusprojektiin.

Toisinaan toimintatutkimusprojektin aloitteentekijänä voi olla tutkija. Hän voi pyytää organisaatiolta lupaa toimintatutkimuksen suorittamiseen ko. organisaatioissa. Tällöinkin organisaatio luvan antajana on toimintatutkimuksessa keskeisessä roolissa. Siksi voidaan

hyvin perustein olettaa, että organisaatio haluaa toimintatutkimuksen onnistuvan.

March ja Smith (1995) erottelivat kaksi tutkimussuuntausta, joita kutsuivat nimillä *luonnon-* ja *suunnittelutieteellinen*. Edellinen pyrkii vastaamaan tutkimuskysymykseen: *Millainen tietty reaali maailman osa on?* Jälkimmäinen taas vastaa kysymykseen: *Voidaanko tietty reaali maailman muuttaa tietyn/toisenlaiseksi?* Näistä kahdesta tutkimustyyppistä edellistä tutkijat käyttävät useammin kuin jälkimmäistä. Usein mainitaan esimerkkinä Burrellin ja Morganin laajasti yhteiskuntaa koskeneet tutkimukset. Mutta myös IS-tutkijat ovat selvittäneet, millaista on tietyn IT-laitteen käyttö käytännössä. Molemmissa tapauksissa oleellista on se, että tutkijat olettavat tutkittavan kohteen olevan *tasaantuneessa tilassa*. Tutkimuksen (*myös IS-tutkimuksen*) tulos on silloin hyvä, jos reaali maailman osan kuvaus vastaa todellisuutta (*truth*).

Pekka Neittaanmäen ohjaamista väitöstutkimuksista osa koskee sitä, *millainen IT-maailman osa on*. Mutta suurin osa koskee kuitenkin ongelmia: *Voidaanko tietty reaali maailman osa muuttaa IT:n avulla toisenlaiseksi?* Tällöin on kyse muutoksesta, joka yleensä pyritään saamaan aikaan organisaatioissa joko omin voimin tai yhden tai parin akateemisen tutkijan avulla. Kun tutkimuskohteena on muutos, niin sellaista tutkimuskohdetta ei voi lähestyä tasaantuneen tilan olettamuksella. Valitettavasti vanhassa toimintatutkimuksen määritelmässä suositetaan laadullista tutkimusta, joka sisältää tasaantuneen tilan olettamuksen eikä muutosolettamusta.

Olemme tutkijatoverini Raimo Hälisen kanssa ajatelleet, että projektiryhmän, joka toiminta-tutkimusta tekee, tulee projektin alussa keskustella ja sopia muutoksen tavoitteesta ja halutun lopputuloksen hyvydestä. Haluamme, että koko organisaatio on sitoutunut tavoitteeseen. Jos tähän ei päästä, esitämme, että toimin tutkimus hanke lopetetaan heti.

March ja Smith esittivät aikanaan, että toimintatutkimuksen hyvyttä kutsuttaisiin sanalla hyödyllisyys (*utility*). Vaikka tavoitteeseen päästäisiin, mutta jäädään jälkeen projektin alussa asetetusta projektin hyvydestä, organisaatio voi päättää, ettei muutosta oteta käyttöön.

Katsomme, että toimintatutkimus on hyvä tutkimustyyppi, kun silloin tutkijat varmasti pääsevät kosketuksiin reaali maailman kanssa. Meitä ei vakuuta, kun 2–3 vuoden opiskelijat vastaavat tietohallinnon johtamista koskevaan kyselytutkimukseen. Pidämme parempana, että sellainen tutkimus tehdään todellisissa organisaatioissa. Tässä mielessä näemme, että toimintatutkimus tarjoaa oivan mahdollisuuden. Lisäksi, kun organisaatio usein maksaa toimintatutkimuksesta sille aiheutuneet kulut, niin organisaatiolla tulee olla toimintatutkimuksessa päätösvalta.

Voimme sanoa, että perinteinen tutkimus olettaa tasaantuneen tilan ja katsoo taaksepäin, mutta toimintatutkimus pyrkii muutokseen ja alkutilasta haluttuun hyvyyden tilaan. Toimintatutkimuksia on monia erilaisia, mutta kaikilla niillä on usein seuraavat ominaisuudet: 1) yhdessä sovittu tavoite, 2) joku *“hyödyllisyys”* mitta, 3) organisaatio päättää, 4) tulosta ei voi yleistää. Viimemainittu tarkoittaa, että kukin toimintatutkimusprojekti on omanlaisensa, eikä sen tulosta siksi voi yleistää.

Miksi IS-systeemien rakentaminen on vaikeaa?

Esittelen tässä kohdassa seikkoja, jotka vaikeuttavat tietojärjestelmien rakentamista ja tutkimista. Tietokoneiden alkuaikoina jokaisella isommalla yrityksellä ja laitoksella oli oma osasto, joka suunnitteli ja toteutti tarvittavan uuden tietojärjestelmän. Nykyään osa tietojärjestelmistä, sen ohjelmisto tehdään IT-palvelutalossa ja sovitetaan yrityksessä käyttöön. Tämä johtuu siitä, että melkein joka organisaatiossa on samanlaiset tukitoiminnot (*talous-, henkilöstö ja laitehallinnot*), ja myös päätoiminnoista hankinta ja *myynti/markkinointi* ovat samanlaisia. Yritykset ja laitokset eroavat vain *valmistus- ja/tai palvelutoimintojen* osalta. Tuotteiden ja palveluiden osalta IT-palvelutaloon ei kerry osaamista tästä päätoiminnoista niin paljon kuin muista toiminnoista.

IT-palvelutalon kannattaa tehdä jonkin toiminnon IS-sovellus niin yleiseksi, että se sopii useammalle asiakkaalle. Silloin sovellus ei sovi erittäin hyvin millekään yritykselle. Lisäksi internet on lisännyt organisaatioyksiköiden verkottumista niin, ettei aina tiedetä, mitkä ovat organisaation rajat.

Viimemainittu tapaus on osoitus siitä, ettei enää voida sanoa, että IS-systeemien rakentaminen, käyttö, huolto ja tutkiminen aina tapahtuisi organisaation sisällä. Lisäksi on tullut uutta henkilö-kohtaista teknologiaa, kuten kännykät, joissa pyörii samanlaisia IS-sovelluksia, tietosysteemejä kuin yritysten ja laitosten tietokoneissa. Kolmijako: yksilö-*organisaatio-yhteiskunta* ei enää erottele, että tietosysteemeitä ja niiden tutkimusta tapahtuisi vain organisaatioon.

Äskeinen verkostoitumiseen perustuva esimerkki on työnjaosta, joka usein näkyy uuden tieto-systeemien käytön vaikeutena. Tällöin työnjako koskee IT-palvelutaloa ja ostajaorganisaatiota. Kumpikin käyttää samasta ilmiöstä osittain eri kieltä. Ostajayritys ei ymmärrä IT-talon ohjelmistossa käyttämää kieltä. Kun yrityksellä puolivuosisataa sitten oli oma IT-osasto, niin sen työntekijät olivat ajan kuluessa oppineet ymmärtämään yrityksen (*toimialan*) kieltä. Silloin ei tullut em. kieliongelmiä niin usein kuin yrityksen ulkopuolelta hankitun ohjelmiston käytön kanssa.

Myös prof. Neittaanmäellä ja hänen tri-opiskelijalla on työnjako, edellinen ohjaa ja jälkimmäinen tekee. Neittaanmäki on luultavasti monesti huomannut, ettei tri-opiskelija heti ymmärrä, mitä Neittaanmäen käyttämät tieteen termit tarkoittavat. Myös Neittaanmäellä saattaa olla ensin hiukan vaikeuksia ymmärtää tri-opiskelijan kuvatessa taustaansa ja toimialaansa.

Palaan vielä uuden IT-teknologian käyttöönottoon organisaatiossa. Oli sitten kyse ensimmäisestä IT:n käyttökerrasta tai olemassa olevan IT-järjestelmän päivittämisestä, niin teko hyvin luultavasti muuttaa entistä työnjakoa. Kun mainittu muutos koskee jonkin tehtävän suorittamisen siirtämistä ihmiseltä IT:lle, niin se samalla vaikuttaa yhden tai useamman työntekijän toimeen, Silloin työnjako muuttuu uudistetun IT:n käyttöönoton vuoksi. Se voi johtaa myös henkilöiden keskinäisen työnjaon tarkistamiseen. Huomataan, että uudistetun IT:n hyödyntäminen vaikuttaa enemmän tai vähemmän henkilöorganisaatioon.

Lopuksi

Olen tässä tekstissä kuvannut, millaisia haasteita näen prof. Neittaanmäen vaativassa työssä olleen ja vielä tulevan, kun katson hänen toimintaansa omien "*silmälasiensa*" läpi. Kun tieteelliset IT-laitokset Suomessa ovat pieniä ja kun tri-opiskelijoiden aiheet ovat kovin monelta eri toimialalta, vaaditaan ohjaajalta venymistä. Kiitän häntä valtavasta ja tuloksia tuottaneesta työstä sekä toivotan onnistumisia jatkossa.

S. March, G. Smith: Design and natural science research on information technology, Decision Support Systems. 15 (1995), 251-266.

■ ■ ■

MY TWENTY YEARS OF COLLABORATION WITH PEKKA NEITTAANMÄKI ON NUMERICAL ANALYSIS

Michal Krížek, FT, Institute of Mathematics, Czech Academy of Sciences, Žitná 25, 115 67 Prague 1, Czech Republic

Here I briefly describe my collaboration with Pekka Neittaanmäki from the University of Jyväskylä (*Finland*) during the period 1982–2001. We published 2 research monographs, 4 conference proceedings, and more than 20 scientific papers. Most of them investigate various features of the finite element (*FE*) method, in particular, FE-approximation of divergence-free vector functions, superconvergence, mesh generation, and FE-solution of nonlinear elliptic problems.

A Few Important Historical Facts

I met Pekka Neittaanmäki in 1982, when he visited our Institute of Mathematics of the Czechoslovak Academy of Sciences in Prague. During his visit we found that we work on similar topics concerning approximation of divergence-free functions and Maxwell's equations. He published several papers on that with Jukka Saranen (*e.g. in Numerische Mathematik in 1981*) and I worked on an analogous paper which appeared in RAIRO Analysis Numérique in 1983. So we decided to work jointly on Friedrichs' inequalities for Maxwell's equations which resemble the well-known Korn's inequalities for linear elasticity problem. This collaboration led to our first paper [7], where we established a necessary and sufficient condition for the validity of Friedrichs' inequalities.

In 1983, Pekka invited me to the University of Jyväskylä in Finland. During this stay he told me that his student M. Könkkölä found on computer an interesting numerical phenomenon. It arises from averaging the gradients of linear finite elements around nodal points when solving the Poisson equation with Dirichlet boundary conditions.

The resulting piecewise linear gradient field yields a better approximation order in the L^2 -norm than the original piecewise constant gradient field. Later I found a mathematical proof of this phenomenon and visited the Czech leading numerical analysts Professor Miloš Zlámal in Brno to discuss with him possible applications. He told me that he got similar results at Gaussian points and that the observed higher order convergence is called superconvergence. Then I wrote with Pekka the paper "*Superconvergence phenomenon in the finite element method arising from averaging gradients*" which was published in Numerische Mathematik in 1984 (see [8]) and later got over 100 citations.

We continued our collaboration on interior approximation of divergence-free functions. This topic has a lot of practical applications in numerical solution of Maxwell's equations and fluid flow problems, and the equilibrium finite element method for solving elliptic boundary value problems. We have developed an algorithm which enables us to construct finite element basis functions which have small supports and which are exactly divergence-free. Our joint paper "*Internal FE approximation of spaces of divergence-free functions in three-dimensional domains*" (see [14]) was published in the International Journal for Numerical Methods in Fluids in 1986. Several other articles on this topic further include [9, 10, 13, 20].

Then we concentrated on investigation of various superconvergence phenomena in numerical solution of partial differential equations, see e.g. [11, 12, 15, 17, 18, 19, 23, 29]. In our survey paper "*On superconvergence techniques*" [16], we introduced a general definition of superconvergence and presented several easily computable higher order techniques. This paper got over 200 citations, see users.math.cas.cz/~krizek/cv.html.

Our Monographs and Proceedings

In 1990, we have already collected a lot of material for writing our first research monograph [1] "*Finite Element Approximation of Variational Problems and Applications*" which was published in Longman (GB). It is a practical guide to the theory and application of the finite element method for solving various problems of mathematical physics. We have over 100 citations on [1]. This monograph extends the standard material on the finite element theory to cover our recent specialized results in this field such as: superconvergence, FE-approximation to hyperbolic systems, nonlinear problems, bifurcation problems, and dimensional reduction. Its first half is concerned with the solution of elliptic problems such as variational formulation in Sobolev spaces, discretization by finite elements, approximation of a curved boundary, numerical integration, assembling of stiffness matrices, and solving the resulting system of algebraic equations. The second part of this monograph is concerned with the FE-approximation of time-dependent problems, contact problems in linear elasticity, Maxwell's and Helmholtz's equations, and eigenvalue problems. Special emphasis is placed on solving nonlinear problems with monotone operators.

In 1993, we organized in Jyväskylä together with Rolf Stenberg a large international conference: Finite Element Methods: Fifty Years of the Courant Element. Its proceedings

[2] with more than 500 pages appeared in Marcel Dekker (*New York*) 1994. There is also the well-known 1943 paper by Richard Courant who is supposed to be the founder of the finite element method for multidimensional problems. The first two plenary speakers were Ivo Babuška from USA and Miloš Zlámal from the Czech Republic. The main advantage of the finite element method at present is that the whole computational process can be essentially automated; including the following steps:

- 1) preprocessing of input data,
- 2) generation of triangulations,
- 3) assembling FE-matrices,
- 4) solving discrete problems,
- 5) postprocessing of output data,
- 6) a posteriori error estimates,
- 7) graphical illustration of results.

In 1996, we have got a lot of further material to write our second monograph [3]: *Mathematical and Numerical Modelling in Electrical Engineering: Theory and Applications* which was published in Kluwer (*The Netherlands*). The main aim of this book is twofold. First, it shows engineers why it is useful to deal with, for example, Hilbert spaces, imbedding theorems, weak convergence, monotone operators, compact sets, when solving real-life technical problems. Secondly, mathematicians will see the importance and necessity of dealing with material anisotropy, inhomogeneity, nonlinearity and complicated geometrical configurations of various electrical devices, which are not encountered when solving academic examples with the Laplace operator on square or ball domains. Our monograph contains mathematical and numerical analysis of several important technical problems arising in electrical engineering such as computation of magnetic and electric field, nonlinear heat conduction and heat radiation in large transformers and rotary machines, semiconductor equations, Maxwell's equations and optimal shape design of electrical devices.

In 1996, we organized in Jyväskylä again with Rolf Stenberg a large international conference *Finite Element Methods: Superconvergence, Postprocessing, and A Posteriori Estimates*. Its proceedings [4] appeared in Marcel Dekker (*New York*) in 1998. During the development of the finite element method, it has been found that the rate of convergence of finite element approximations at some exceptional points in the domain exceeds the optimal global rate if finite element partitions have some regular geometric structure. Most papers in [4] deal with superconvergence of the finite element method.

In 2000, we organized another international conference: *Finite Element Methods: Threedimensional Problems*, whose proceedings [5] were published Gakkotosho (*Tokyo*) in 2001. There are many algorithms for generating triangulations of two-dimensional domains. However, partitions of complicated three-dimensional domains into tetrahedra, pentahedra (*pyramidal and prismatic elements*), hexahedra is still a challenging problem.

Therefore, the topics of the conference included generation of three-dimensional unstructured meshes, local and adaptive mesh refinements, Delaunay triangulations, three-dimensional curved and mortar elements, graphics for three-dimensional problems, etc. In our last joint conference *"Conjugate Gradient Algorithms and Finite Element Methods"* we celebrated 50 years of the conjugate gradient method which was invented by Magnus R. Hestenes and Eduard Stiefel in 1952. Its proceedings [6] edited together with Ronald Glowinski and Sergey Korotov appeared in Springer (*Berlin*) in 2004. There is no doubt that the two above-mentioned methods have deeply influenced – not to say revolutionized – the way one solves complicated problems from science and engineering. Note that at their birth both methods were considered no more than scientific curiosities: finite element methods were seen as just particular cases of the Ritz–Galerkin method, whereas conjugate gradient methods were viewed as something between iterative methods and direct methods for their finite termination properties. Nevertheless, Jan Brandts in [6] states that both the finite element method for elliptic partial differential equations, and the conjugate gradient method for linear systems with symmetric positive definite system matrix, are instances of *Ritz–Galerkin projection* on a finite dimensional subspace.

Our Further Joint Topics

In [21], we present a new variational formulation of a second order elliptic problem with the pure Neumann boundary conditions. This formulation does not require any quotient spaces and is advisable for finite element approximations.

In the paper [22], we investigate a nonlinear elliptic partial differential equation with homogeneous Dirichlet boundary conditions. The problem describes, for instance, a stationary heat condition in nonlinear inhomogeneous and anisotropic media. For finite elements of degree $k \geq 1$ we prove the optimal rate of convergence $O(h^k)$ in the Sobolev H^1 -norm and $O(h^{k+1})$ in the L^2 -norm provided the true solution is sufficiently smooth. Our considerations are restricted to domains with polyhedral boundary. In [26] we examine also a nonlinear radiation condition.

The paper [24] introduces a simple post-processing technique when solving the system of linear algebraic equations $Ax = b$ with a nonsingular matrix using the classical iterative methods such as the Gauss-Seidel method. We prove that this technique accelerates the convergence of iterations. Its efficiency is demonstrated on a system arising from a finite element approximation of a second order elliptic boundary value problem.

In [25], we present an algorithm for a construction of strongly regular families of triangulations for planar domains with a piecewise curved boundary. Some suitable additional properties of the resulting triangulations are considered as well.

In 2000, we started with Pekka a completely new topic, namely, multiobjective programming. In our paper [27], we examine new second-order necessary conditions and sufficient conditions which characterize nondominated solutions of a generalized constrained multiobjective programming problem. The vector-valued criterion function as well as

constraint functions are supposed to be from the class $C^{1,1}$. Second-order optimality conditions for local Pareto solutions are derived as a special case.

Our last paper [30] was published in *Mathematics of Computation* and received almost 100 citations. We proved that a discrete maximum principle holds for continuous piecewise linear finite element approximations for the Poisson equation with Dirichlet boundary conditions also under a condition of the existence of some obtuse internal angles between faces of tetrahedra of triangulations of a given space domain. This result represents a weakened form of the acute type condition for the three-dimensional case, see also [28].

Finally, I would like to emphasize that Pekka was an excellent researcher with wide interests connected mainly with real-life technical problems. Our common interest in numerical solving various mathematical problem helped me a lot. I would like to point out that I was also adjunct adviser of Pekka's two PhD. students Sergey Korotov and Liping Liu who successfully defended their thesis at the University of Jyväskylä.

Acknowledgments. The author is indebted to Lawrence Somer for valuable suggestions. Supported by RVO 67985840 of the Czech Republic.



Karel Segeth, Michal Krížek, and Pekka Neittaanmäki at the University of Jyväskylä in 2001.



Participants of the conference Finite Element Methods: Superconvergence, Postprocessing and A Posteriori Estimates held at the University of Jyväskylä in 1996.



Chuanmiao Chen, Michal Křížek, Pekka Neittaanmaki, Qun Lin, and Yinquin Huang at the University of Jyväskylä in 1996.



Participants of the conference Finite Element Methods: Three-dimensional Problems held at the University of Jyväskylä in 2000.



Participants of the conference dedicated to the 50th birthday of Pekka Neittaanmäki held at the University of Jyväskylä in 2001.



Participants of the conference Finite Element Methods: Three-dimensional Problems held at the University of Jyväskylä in 2000.



From the left: Emil Vitásek, Miroslav Krbeč, Karel Segeth, Pekka Neittaanmäki with the Bolzano medal, and Michal Křížek at the Czech Academy of Sciences in Prague in 2002.



Celebrating the 50th birthday of Michal Křížek in Prague in 2002.



Participants of the conference dedicated to the 60th birthday of Pekka Neittaanmäki at the lake Jyväsjärvi in 2011.

References

- [1] M. Křížek, P. Neittaanmäki: Finite Element Approximation of Variational Problems and Applications, Pitman Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics vol. 50, Longman Scientific & Technical, Harlow; copublished in the United States with John Wiley & Sons, New York, 1990, 239 pp., ISBN 0-582-05666-7.
- [2] M. Křížek, P. Neittaanmäki, R. Stenberg (*eds.*): Finite Element Methods: Fifty Years of the Courant Element, Proc. Conf., Univ. of Jyväskylä, 1993, LN in Pure and Appl. Math. vol. 164, Marcel Dekker, New York, 1994, 504 pp., ISBN 0-8247-9276-9.
- [3] M. Křížek, P. Neittaanmäki: Mathematical and Numerical Modelling in Electrical Engineering: Theory and Applications (*with a foreword by I. Babuška*), Kluwer Academic Publishers Dordrecht, 1996, 300 pp., ISBN 0-7923-4249-6.
- [4] M. Křížek, P. Neittaanmäki, R. Stenberg (*eds.*): Finite Element Methods: Superconvergence, Post-processing, and A Posteriori Estimates, Proc. Conf., Univ. of Jyväskylä, 1996, LN in Pure and Appl. Math. vol. 196, Marcel Dekker, New York, 1998, 348 pp., ISBN 0-8247-0148-8.
- [5] P. Neittaanmäki, M. Křížek (*eds.*): Finite Element Methods: Three-dimensional Problems, Proc. Conf., Univ. of Jyväskylä, 2000, GAKUTO Internat. Ser. Math. Sci. Appl., vol. 15, Gakkotosho, Tokyo, 2001, vi + 340 pp., ISBN 4-7625-0424-6.
- [6] M. Křížek, P. Neittaanmäki, R. Glowinski, S. Korotov (*eds.*): Conjugate Gradient Algorithms and Finite Element Methods, Scientific Computation, Springer-Verlag, Berlin, 2004, xv + 382 pp., ISBN 3-540-21319-8.
- [7] M. Křížek, P. Neittaanmäki: On the validity of Friedrichs' inequalities, *Math. Scand.* 54 (1984), 17–26.
- [8] M. Křížek, P. Neittaanmäki: Superconvergence phenomenon in the finite element method arising from averaging gradients, *Numer. Math.* 45 (1984), 105–116.
- [9] M. Křížek, P. Neittaanmäki: Finite element approximation for a div-rot system with mixed boundary conditions in non-smooth plane domains, *Apl. Mat.* 29 (1984), 272–285.
- [10] P. Neittaanmäki, M. Křížek: Conforming FE-method for obtaining the gradient of a solution to the Poisson equation, *Efficient Solutions of Elliptic Systems, Proc. of a GAMM-Seminar (ed. W. Hackbusch)*, Kiel, 1984, Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1984, 74–86.
- [11] P. Neittaanmäki, M. Křížek: Superconvergence of the finite element schemes arising from the use of averaged gradients, *Accuracy Estimates and Adaptive Refinements in Finite Element Computations*, Lisbon, 1984, 169–178.
- [12] M. Křížek, P. Neittaanmäki: A phenomenon arising from the use of harmonic and biharmonic elements, *Research Report 5/1984*, Univ. of Technology, Lappeenranta, 1984, 11 pp.

- [13] M. Křížek, P. Neittaanmäki: Solvability of a first order system in three-dimensional nonsmooth domains, *Apl. Mat.* 30 (1985), 307–315.
- [14] M. Křížek, P. Neittaanmäki: Internal FE approximation of spaces of divergence-free functions in three-dimensional domains, *Internat. J. Numer. Methods Fluids* 6 (1986), 811–817.
- [15] M. Křížek, P. Neittaanmäki: On a global superconvergence of the gradient of linear triangular elements, *J. Comput. Appl. Math.* 18 (1987), 221–233.
- [16] M. Křížek, P. Neittaanmäki: On superconvergence techniques, *Acta Appl. Math.* 9 (1987), 175–198.
- [17] P. Neittaanmäki, M. Křížek: Postprocessing of a finite element scheme with linear elements, *Numerical Techniques in Continuum Mechanics, Proc. of a GAMM-Seminar (ed. W. Hackbusch and K. Witsch)*, Kiel, 1986, Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1987, 69–83.
- [18] P. Neittaanmäki, M. Křížek: On $O(h^4)$ -superconvergence of piecewise bilinear FE-approximations, *Proc. of the Second Internat. Symposium on Numer. Anal., Prague, 1987 (ed. I. Marek)*, BSP Teubner (*Teubner-Texte zur Mathematik, Band 107*), Leipzig, 1988, 250–255.
- [19] M. Křížek, P. Neittaanmäki: On $O(h^4)$ -superconvergence of piecewise bilinear FE-approximations, *Mat. Apl. Comput.* 8 (1989), 49–61.
- [20] M. Křížek, P. Neittaanmäki: On time-harmonic Maxwell equations with nonhomogeneous conductivities: Solvability and FE-approximation, *Apl. Mat.* 34 (1989), 480–499.
- [21] M. Křížek, P. Neittaanmäki, M. Vondrák: A nontraditional approach for solving the Neumann problem by the finite element method, *Mat. Apl. Comput.* 11 (1992), 31–40.
- [22] L. Liu, M. Křížek, P. Neittaanmäki: Higher order finite element approximation of a quasilinear elliptic boundary value problem of a non-monotone type, *Appl. Math.* 41 (1996), 467–478.
- [23] M. Křížek, P. Neittaanmäki: Bibliography on superconvergence, *Proc. Conf. Finite Element Methods: Superconvergence, Postprocessing and A Posteriori Estimates*, Marcel Dekker, New York, 1998, 315–348.
- [24] M. Křížek, L. Liu, P. Neittaanmäki: Postprocessing of Gauss-Seidel iterations, *Numer. Linear Algebra Appl.* 6 (1999), 147–156.
- [25] S. Korotov, M. Křížek, P. Neittaanmäki: On the existence of strongly regular families of triangulations for domains with a piecewise smooth boundary, *Appl. Math.* 44 (1999), 33–42.
- [26] M. Křížek, L. Liu, P. Neittaanmäki: Finite element analysis of a nonlinear elliptic problem with a pure radiation condition, *Applied Nonlinear Analysis (Proc. Conf. devoted to the 70th birthday of Prof. J. Nečas, Lisbon, 1999)*, Kluwer, Amsterdam, 1999, 271–280.

- [27] L. Liu, P. Neittaanmäki, M. Křížek: Second-order optimality conditions for nondominated solutions of multiobjective programming with $C^{1,1}$ -data, *Appl. Math.* 45 (2000), 381–397.
- [28] S. Korotov, P. Neittaanmäki, M. Křížek: On discrete maximum principle for tetrahedral elements satisfying a weakened acute type condition, *Proc. Third European Conf. on Numer. Math. and Advanced Applications, ENUMATH 99*, Univ. of Jyväskylä (eds. P. Neittaanmäki et al.), World Sci. Publishing, Singapore, 2000, 587–592.
- [29] M. Křížek, L. Liu, P. Neittaanmäki: On harmonic and biharmonic finite elements, *Proc. Conf. Finite Element Methods: Three-dimensional Problems*, Univ. of Jyväskylä, 2000, GAKUTO Internat. Ser. Math. Sci. Appl., vol. 15, Gakkotosho, Tokyo, 2001, 143–151.
- [30] S. Korotov, M. Křížek, P. Neittaanmäki: Weakened acute type condition for tetrahedral triangulations and the discrete maximum principle, *Math. Comp.* 70 (2001), 107–119.

■ ■ ■



Pertti Saariluoma



Rebekah Rousi

KOGNITIOTIEDE

Pertti Saariluoma tutkimusjohtaja, *Rebekah Rousi* apulaisprofessori VaY, *Tuomo Kujala* apulaisprofessori JY, *Johanna Silvennoinen*, yliopistonlehtori JY



Tuomo Kujala



Johanna Silvennoinen

Vuosituhanen vaihtuessa Jyväskylän yliopistoon perustettiin IT-tiedekunta. Silloinen Jyväskylän yliopiston vararehtori Pekka Neittaanmäki oli asiassa aktiivinen, ja tuli jossakin vaiheessa tapaamaan Pertti Saariluomaa Helsingin yliopistoon. Päämääränä oli saada kognitiotiede osaksi uutta Jyväskylän yliopiston IT-tiedekuntaa,

jotta se voisi vastata kansainväliseen kilpailuun myös tältä osin. Pari vuotta myöhemmin silloisen Teknillisen korkeakoulun rehtori tiedekuntaa arvioivassa lausunnossaan piti kognitiotiedettä merkittävänä vahvistuksena tiedekunnan profiilille.

Aluksi tutkimus ja opetustyö keskittyi käyttäjäystävällisen tietotekniikan ongelmiin. Tämä asia oli tullut yhteiskunnallisestikin merkittäväksi Nokian puhelinten myötä. Oli kehitettävä tuotteita, joita suuri yleisö kaikissa maissa kykeni ja halusi käyttää. Vastaava ihmisen ja teknologian vuorovaikutusproblematiikka oli kuitenkin merkittävä kaikkialla teollisuudessa. Ohjelmoijat, autoilijat ja paperikoneiden ohjaajat esimerkiksi tarvitsivat aivan kännykän käyttäjiä vastaavalla tavalla helposti käytettäviä ja miellyttäviä teknisiä työkaluja.

Keskeiseksi osaksi kognitiotiedettä nousi ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen suunnittelu ja suunnittelujajattelu yleensäkin, koska suunnittelu näkökulma yhdistää luontevasti eri tieteenalojen tuomia lisää ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen tutki-

mukseen ja teorioihin. Teoriapohjaamme vahvisti eksperttien ajattelututkimus. Kyse on viime kädessä uusien asioiden ja toimintatapojen kehittamisestä teknologiasuunnittelun ja innovaatioajattelun osana. Suunnittelu ja erityisesti suunnitteluajattelu nitoo yhteen erilaiset osaamisalueet uutta luovan toiminnan perustaksi.

Tärkeitä ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen suunnittelukysymyksiä ovat olleet käytettävyys ja sen muunnelmat kuten ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus, ihmisen ja teknisten systeemien toimintojen integroiminen ja yleisesti ottaen huomioonottaminen, että ihmiset osaavat käyttää tarvittavia laitteita. Päämääränä on esimerkiksi ollut se, että ihmiset eivät tee virheitä teknisiä laitteita käyttäessään ja aiheuta vahinkoa ympäristölle.

Toinen näkökulma ihmisen ja teknologian vuorovaikutukseen aukesi tutkittaessa ihmisten halukkuutta käyttää teknisiä laitteita. Osittain tämä liittyy edellä mainittuun kysymykseen, koska ihmiset eivät pidä vaikeasti käytettävistä laitteista. Asiaan liittyy kuitenkin myös muita näkökulmia. Tällaisia ovat esimerkiksi esteettiset kysymykset. Esineiden kauneus vaikuttaa niiden haluttavuuteen.

Haluttavuus toi esiin taiteen kokemisen tärkeyden. Tämän seurauksena syntyi kognitiotieteen ja taidehistorian välille monivuotinen yhteistyöprojekti. Tämä kasvoi kansainväliseksi projektiksi, jossa toisena aktiivisena osapuolena on *Granadan yliopiston piirustuksen laitos*. Taidehistorian alueella tutkimus on jatkunut aktiivisena. Sen seurauksena on esimerkiksi syntynyt espanjankielinen teos *Kalevalasta ja Kalevalan uusi nykyaikainen kuvitettu versio*.

Taidehistorian ja kognitiotieteen yhteisprojektista silmikoitui myös kognitiivisen ergonomian alueella tapahtuva ja yhä toiminnassa oleva aktiivinen yhteistutkimustoiminta. Tämä tutkimuksen Tämän tutkimuksen osatuloksena julkaistiin yhdessä VTT:n kanssa tehty ihmisen ja teknologian vuorovaikutussuunnittelua käsittelevä suunnitteluparadigma "*Life-based design*". Ajatukset koottiin Macmillanin (1/1) kustantamaan kirjaan *Saariluoma, Cañas ja Leikas (2016) Designing for life*. Uusimpia Granadan yliopiston kanssa tehdyn yhteistyön kansainvälisiä avauksia ovat olleet esimerkiksi ihmisten harhaiset ajattelumallit ilmaston muutosta selittävänä tekijänä sekä viimeisimpänä uutuutena sisältöperusteinen kognitiivinen ergonomia.

Kognitiotiede on osallistunut myös aktiivisesti tekoälyn suunnittelua koskevaan tutkimukseen. Kansainvälisestikin uusia paradigmoja ovat olleet esimerkiksi kognitiivinen mimetiikka ja inhimilliset digitaaliset kaksoset. Ensin mainitulla tarkoitetaan ihmisen ajattelututkimukseen perustuvaa tekoälykehitystyötä ja jälkimmäisellä digitaalisia malleja ihmisestä laitevuorovaikutustilanteiden osatekijänä.

Laajojen tekoälyjärjestelmien tulo yhä merkittävämmäksi osaksi ihmisen arkea muuttaa olennaisesti ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen suunnittelua. Tekoälyn säätely tulee jatkossa olemaan keskeistä yhteiskuntasuunnittelun näkökulmasta. Uuden superälykkään tekoälyn ja robotiikan tukeman yhteiskunnan kehittäminen edellyttää kokonaisvaltaista ajattelua, jossa ihmisten toiminnan suunnittelu on yhtä tärkeää kuin uusien teknologioiden kehittäminen.

Tässä tematiikassa on faktojen ja arvojen yhteen liittäminen tullut keskeiseksi. Tämä tietämys on periaatteessa käytettävissä tulevaisuuden arvoja kehitettäessä. Esteeksi muodostuu kuitenkin helposti ns. *Humen giljotiini*, joka väittää, että tosiasioista ei voi johtaa arvoja. *Humen giljotiini* on klassisen tieteen suuria ongelmia. Saariluoma (2020) ratkaisi kuitenkin ongelman osoittamalla, että ns. *Westermarckin etiikan ja diskurssietiikan* pohjalta on mahdollista johtaa tosiasioista arvopäämääriä (1/2). Tätä tietä on mahdollista raivata monia superälykkään yhteiskunnan ongelmia.

Superälykkään yhteiskunnan kehittäminen muuttaakin kognitiotieteen luonnetta. Ihmisen ja teknologian vuorovaikutusta on katsottava jatkuvasti laajenevasta perspektiivistä ennen kaikkea järkevien toimintamallien luomisena ja siihen liittyvien teknisten apuvälineiden kehittämisenä ihmisen toimintojen rakenteeseen perustuen. Tutkimuksen näkökulma on hiljalleen siirtymässä välittömästä käytöstä kohti älykkäiden teknologioiden tukemaa yhteiskunnallista toimintaa.

Teknologisten ratkaisuiden tulisi perustua tutkimustietoon ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksesta. Kognitiotieteen tutkimuksessa ja opetuksessa painotetaan argumentoivaa teknologiasuunnittelua pohjaamalla suunnitteluratkaisut tutkimustietoon ihmisen kognitiivisista ja affektiivisista prosesseista. Argumentoiva suunnittelu toimii myös pohjana kokemussuunnittelun ennustettavuudelle, joka on muotoutunut yhdeksi keskeisimmistä tutkimus- ja opetusaloista kognitiotieteessämme.

Kognitiotieteen tutkimusryhmän tutkimuksessa on viime aikoina kehitetty uusia laskennallisia menetelmiä ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen ymmärtämiseksi ja ennustamiseksi. Erityisen lupaava näkökulma ihmisen kognition toimintaan teknologiavuorovaikutuksessa on ns. *laskennallisen rationaalisuuden mallintaminen*, joka perustuu nobelisti Herbert Simonin ajatukseen ihmisestä rajoitetusti rationaalisenä toimijana (*bounded rationality*). Laskennallisten mallien avulla voidaan ennustaa ja simuloida käyttäjän tavoitteisiin pääsyä erilaisissa tehtävissä teknologiaa hyödyntäen, ja selvittää, miten teknologiset ratkaisut voisivat tukea tässä käyttäjää paremmin. Tutkimusryhmässä on kehitetty hiljattain myös muun muassa lupaavia laskennallisia menetelmiä auton kuljettajan tarkkaamattomuuden havaitsemiseen ja mittaamiseen luotettavalla tavalla sekä simuloituissa että todellisissa liikenneympäristöissä, koskien avustamatonta ja avustettua ajamista.

LÄHTEET

1. Saariluoma P, Cañas J, Leikas J. Designing for life: A human perspective on technology development, Springer 2016
2. Saariluoma P. Hume's guillotine resolved. In Culture and Computing - 8th International Conference, C&C 2020, Proceedings. (pp. 123-132). Springer, 2020.



10 TIETEEN UUDET PARADIGMAT JA TUTKIJAKOULUTUSTA TUKENEET UUDET KEHITTÄMISHANKKEET

Tutkijakoulutuksessa tulee ennakoida tulevaisuuden kehitystä ja väitelleiden valmiuksia vastata tulevaisuuden tutkijatarpeisiin. Tässä luvussa esitellään tutkimusmenetelmien uusiutumista perinteisestä teoreettisesta ja kokeellisesta tutkimustavasta hyödyntämään tietokoneiden ja ohjelmistojen sekä digitalisaation ja tekoälyn mukaan tuomia uusia mahdollisuuksia.

Luvussa 10.1 käsitellään laskennallisten tieteiden synnyttämiä uusia tieteen paradigmoja. *Luvussa 10.2* esitellään kognitiivisen tekoälyn tuomia uusia mahdollisuuksia. *Luvussa 10.3* esitellään SOTE-IT-tekoilyhanketta, jonka tavoitteena on ollut kouluttaa tutkijoita kansallisen SOTE-uudistuksen tarpeisiin. *Luvussa 10.4* esitellään kyber-alan kehittämishanke joka loi pohjan uuden kyber-alan maisteri- ja tohtoriohjelman aloittamiselle.

10.1 TIETEEN KOLMAS JA NELJÄS PARADIGMA

Perinteisesti tutkimusmenetelmät on jaettu kahteen luokkaan: teoreettiseen ja kokeelliseen tutkimukseen. Laskennallinen tiede edustaa kolmatta tieteen paradigmaa, jossa on mallipohjainen ja datapohjainen laskennallinen lähestymistapa. Neljänneksi paradigmaksi on noussemassa suurien datamassojen käsittely (*Big Data Analyses*).

Teoriapohja tulee matematiikasta, insinööritieteistä, jossa hyödynnetään laskennallisten tieteiden metodologiaa, tietojärjestelmätieteistä ja kognitiotieteestä. Kokeellinen tausta tulee Jyväskylän yliopiston eri tieteenaloista (*biologia, fysiikka, kemia, nano- ja materiaalitieteet, kasvatustiede, liikuntatieteet, psykologia, kielitieteet, taideaineet, historia*). Laskennallisten tieteiden pohjana ovat sovellettu matematiikka, simulointi, numeriiikka, optimointi, signaalinkäsittely ja neurolaskenta. Big Data pohjautuu isojen tietomassojen kokoamiseen, luokittelemiseen ja tallentamiseen.

Laskennallisessa tieteessä kyetään tutkimaan ilmiöitä, joita ei voi tutkia tai ymmärtää perinteisellä teoreettisella tai kokeellisella metodilla suuren datamäärän sekä ilmiöiden laajuuden ja kompleksisuuden vuoksi.

10.1.1 Laskennallinen tiede – tieteen kolmas paradigma

Kuten edellä todettiin laskennallinen tiede edustaa tieteen kolmatta paradigmaa. Siinä tietokoneen avulla simuloidaan reaali maailman ilmiöitä tai tilanteita, joita reaali maailmassa ei välttämättä vielä ole. Suomen osalta on tapahtunut nopea murros tutkimusparadigmojen asettelussa. Lähes kaikilla tieteen aloilla tehdään tutkimusta laskennallisilla menetelmillä kokeellisten ja teoreettisten menetelmien lisäksi.

Nopea kehitys tietotekniikassa ja menetelmäosaamisessa mahdollistaa entistä monimutkaisempien ja realistisempien laskentamallien käyttöönoton eri alojen tutkimuson-

gelmien ratkaisemiseksi. Näin vähennetään tuntuvasti tarvetta suorittaa erilaisia kalliita kokeita. Laskennallisten tieteiden menetelmillä voidaan hakea ratkaisuja ongelmiin myös tilanteissa, joissa riittävän tarkan ratkaisun saaminen perinteisillä keinoilla ei onnistu. Laskennalliset tieteet mahdollistavat tutkimus- ja innovaatio toiminnassa sekä yritysmaailmassa tuloksia, joita ei tähän asti ole ollut mahdollista saavuttaa.

10.1.2 *Big data-analyysi – tieteen neljäs paradigma*

ICT 2015 työryhmä [1] toteaa: *"Digitaalisessa maailmassa informaation ja tallennetun tiedon määrä on valtava. Kun yhdistetään älykkäästi ja reaaliajassa näennäisesti turhaa tietoa, pystytään luomaan täysin uudentyyppistä, toimialojen rajoja rikkovaa tietoa. Big data on maailmalla kuuma tutkimuksen ja soveltamisen kohde. Big data liittyy läheisesti muihin Suomen kriittisiin avainosaamisalueisiin. Tietoliikenteen osajoina olemme perinteisesti käsitelleet suuria datamääriä. Suurimmaksi ongelmaksi big data tiedon soveltamisessa ja tietojen avaamisessa toimijat kokevat, että organisaatioilla ei ole riittävästi asiantuntemusta. Organisaatiot tarvitsevat tähän osaajia ja koulutusta."*

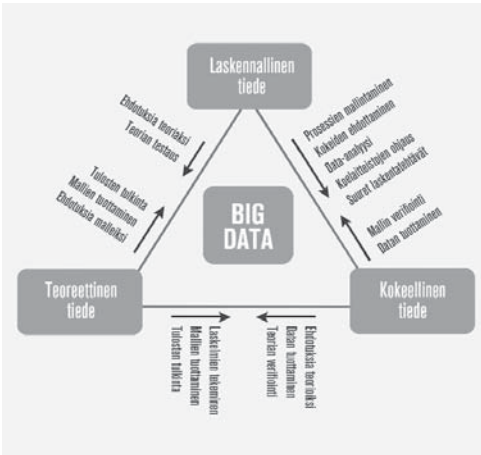
Big data -tutkimusmenetelmien kehitys tuo eri tieteenalojen tutkijoille parempia mahdollisuuksia tutkia erilaisia asioita ja löytää ongelmiin myös ratkaisuja. Big Data -tutkimuksen menetelmäkehityksen lisäksi on tärkeää ottaa huomioon monitieteisyys ja edistää eri tieteenalat ylittävää työskentelyä, muun muassa matemaatikkojen, tietojärjestelmätieteilijöiden ja yhteiskuntatieteilijöiden kesken.

Tiedon hyödyntäminen big data -menetelmien avulla vaatii useimmiten monen erityyppisen, perinteisesti eri alalle kuuluvan tiedon käyttöä ja yhdistelemistä. Samalla big datasta saadaan suurinta hyötyä, mikäli erilaista tietoa on käytettävissä. Big datan laajemmalla hyödyntämisellä haetaan useita selkeitä etuja niin yritysmaailmassa kuin julkisessa hallinnossa. Näitä mahdollisuuksia ja hyötyjä ovat muun muassa toiminnan optimointi ja siitä seuraavat säästöt, tarkemman tiedon saaminen päätöksenteon tueksi, tarkemman tilannekuvan muodostaminen, uusien mallien ja yhteyksien löytäminen mallintamalla, parempi asiakaspalvelu sekä tulevan ennustaminen.[3]

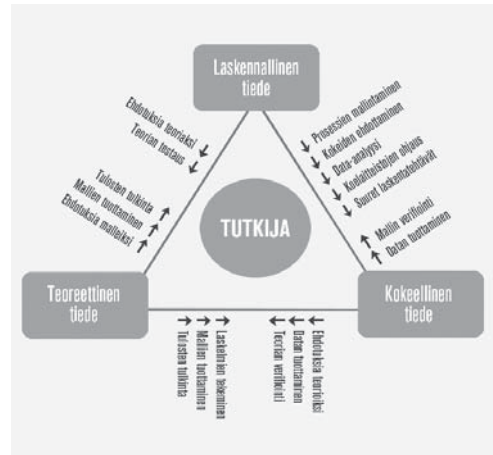
Nykyaikaisen analytiikan ja big datan omaksuminen osaksi jokapäiväistä työtä on keskeinen askel kohti tiedolla johtamisen yrityskulttuuria. Toimintaympäristön ja uuden teknologian jatkuva kehitys, esimerkiksi tallennuskapasiteetin halventuminen, vaatii omien kyvykkyyksien ja valmiuksien säännöllistä uudelleentarkastelua. Tiedon keruun ja analysoinnin tulee olla mahdollisimman luonteva osa organisaatioiden muuta toimintaa. [3]

Kuvassa 24 (s.187) on esitetty tieteen neljä paradigmaa, jotka toisiinsa liittyvinä ja vuorovaikutteisina muodostavat kiinteän kokonaisuuden ja täydentävät toisiaan.

Laskennallinen tiede voidaan kuvata iteratiivisena prosessina, joka alkaa tutkittavan ilmiön mallintamisesta ja päättyy tulosten tulkintaan ja arviointiin. Kompleksisten systeemien kyseessä ollen laskennallinen tiede sisältää data-aineistojen tai tarkasteltavan ilmiön analyysin, mallin rakentamisen, simulaation sekä lopuksi tulkinnan ja vertailun datan



Kuva 24. Tieteen neljä paradigmaa.



Kuva 25. Tieteen paradigmat tutkijan näkökulmasta

analysointituloksiin. Laskennallinen tiede kattaa myös menetelmät (*data-analyysi, mallintaminen, simulointi ja optimointi*) ja menetelmäkehityksen algoritmeineen ja ohjelmistoinaan. Tavoitteena on ratkaista haastavia tutkimusongelmia luonnontieteissä, teknillisissä tieteissä, yhteiskuntatieteissä ja humanistisissa tieteissä. [2].

[1] Työ- ja elinkeinoministeriö, 21 polkua Kitkattomaan Suomeen, ICT 2015 -työryhmän raportti 17.1.2013, <https://tem.fi/documents/1410877/2864661/21+polkua+kitkattomaan+Suomeen+04032013.pdf>

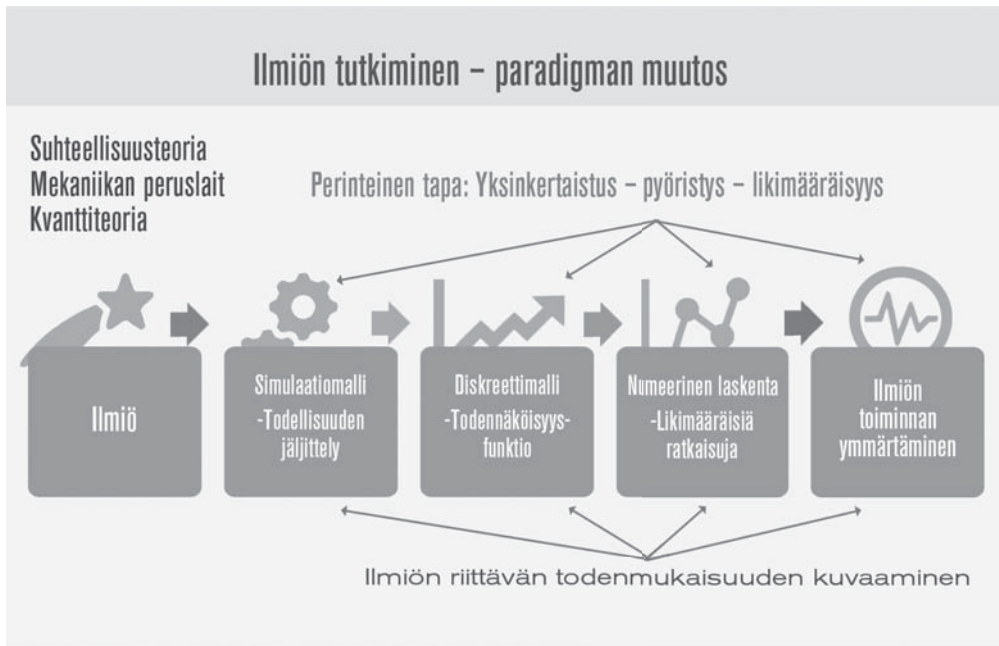
[2] Lehto, M., Neittaanmäki, P. IT-alan merkitys yhteiskunnassa ja tutkimus- ja innovaatiotoiminnan kehittäminen, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja 12/2014. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/45211>

[3] Big datan hyödyntäminen, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 20/2014, <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-407-4>

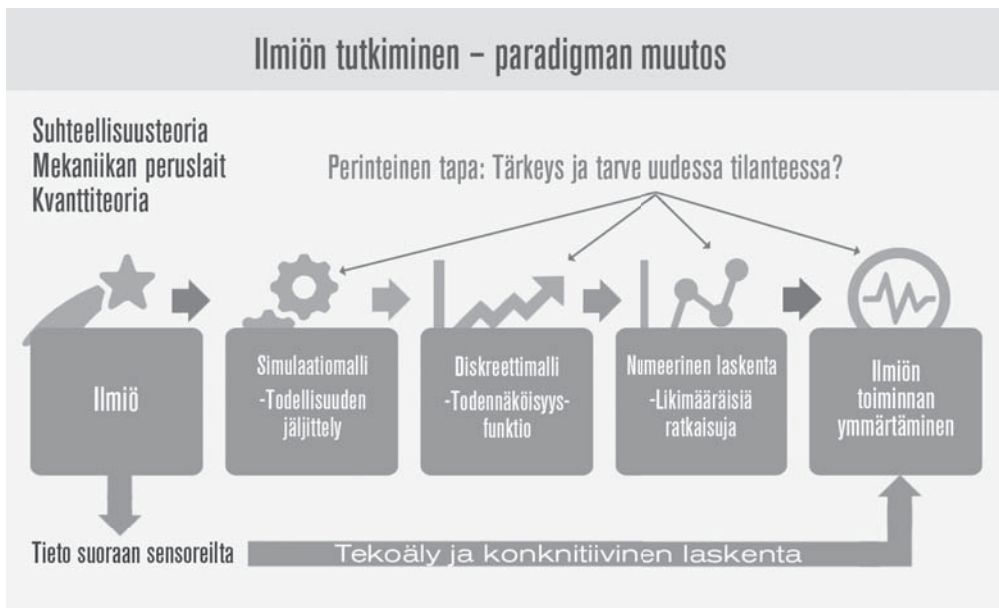
10.1.3 Laskennalliset tieteet tutkimustyön, tutkijan ja tiedeyhteisön näkökulmasta

Kognitiivinen laskenta (*cognitive computing*) jäljittelee ihmisen ajatteluprosessia tai ihmisen ja laitteiden vuorovaikutusprosessia (*kuten ohjelmisto- ja teollisuusrobotit*). Kognitiivisessa laskennassa laskennallinen älykkyys tehostaa massiivisten tietoaisteistojen läpikäyntiä ja analysointia sekä objektiivisten näkemysten muodostamista. Teollisuusrobottien rinnalle tullut ohjelmistorobotiikka vaikuttaa työkuviin muuttumiseen ja arvontuotannon uusajatteluun.

Kuvissa 26 ja 27 hahmotetaan paradigman muutosta ilmiön tutkimuksessa. Tekoäly ja kognitiivinen laskenta nopeuttavat ilmiön tutkimista.

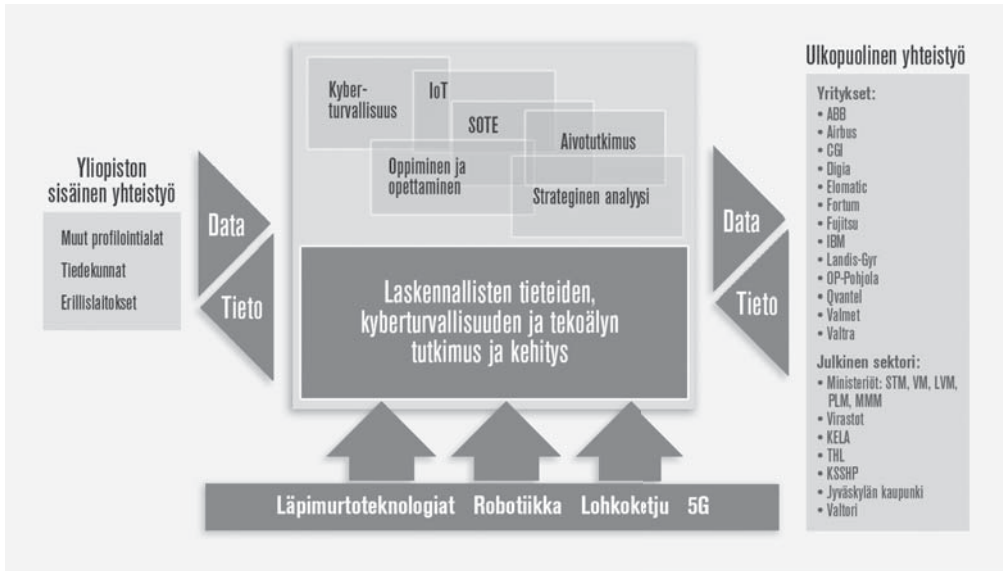


Kuva 26. Perinteinen tapa tehdä kokeellista tutkimusta

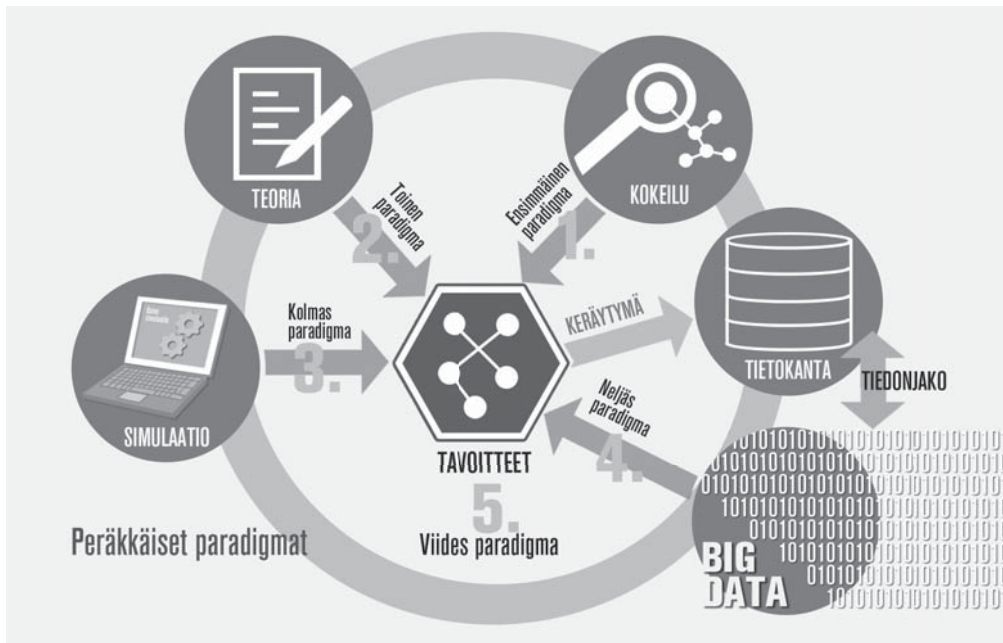


Kuva 27. Tekoälytuettu tapa tehdä kokeellista tutkimusta

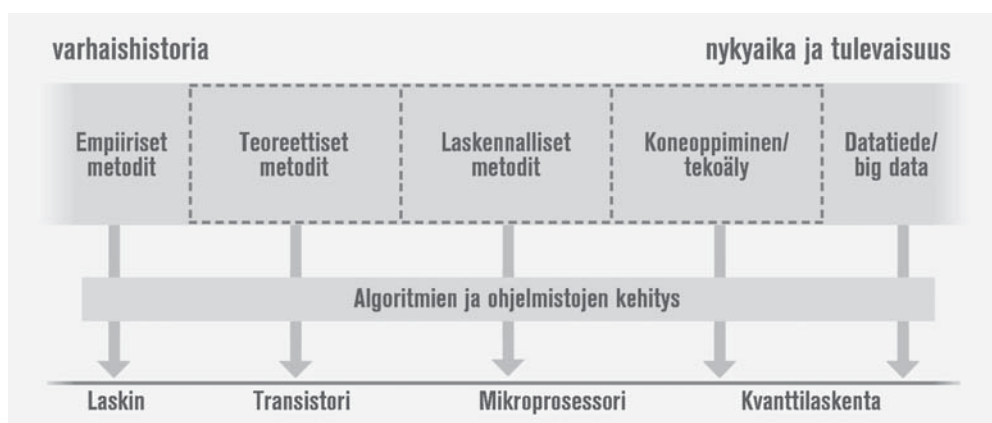
Kuvassa 28 eritellään JY:n IT-tiedekunnan laskentaympäristö sekä verkostot. Kuvassa 29 havainnollistetaan laskentateknologian ja eri menetelmäteknologioiden kehitystä. Laskenta-algoritmit ovat kehittyneet hyödyntämään eri laskentalaitteita taskulaskimesta kvanttitietokoneeseen. Kuvassa 30 (s.190) havainnollistetaan laskentalaitteiden ja -menetelmien kehitystä.



Kuva 28. Tutkijan monet mahdollisuudet. Eri tutkimusmenetelmien vuorovaikutus tiedeyhteisössä



Kuva 29. Menetelmäteknologioiden ja laskenta-algoritmien kehitys.



Kuva 30. Laskentalaitteiden ja -menetelmien kehitys

10.2 KOGNITIIVINEN TEKOÄLY

Kognitiivinen tekoäly on ohjelmisto, joka yrittää ajatella ja oppia jäljittelemällä ihmisen aivojen toimintaa. Se käyttää luonnollisen kielen prosessointia (*Neuro-Linguistic Programming - NLP*) ja koneoppimista (*Machine Learning - ML*) yrittääkseen ymmärtää kyselyjen takana olevia ihmisen aikomuksia ja antaa relevantteja vastauksia. Tällaiset vastaukset ovat tulosta valtavien tietomäärien analyysistä, ja ne tuotetaan ihmisten käyttämällä kielellä. Kognitiivista tekoälyä käytetään yleisesti parantamaan ongelmanratkaisua, päätöksentekoa ja viestintää.

Kognitiivinen tekoäly eroaa RAG AI:sta (*Retrieval Augmented Generation Artificial Intelligence*). RAG on luonnollisen kielen käsittelytekniikka (*NLP*), joka yhdistää sekä haku- että generatiivisen tekoälyn (*retrieval- and generative-based artificial intelligence*) mallien vahvuudet. RAG AI voi tuottaa tarkkoja tuloksia, jotka hyödyntävät parhaalla mahdollisella tavalla olemassa olevaa tietoa, mutta voi myös käsitellä ja yhdistää tätä tietoa luodakseen erityisiä, kontekstittietoisia vastauksia, ohjeita tai selityksiä ihmisen kaltaisella kielellä sen sijaan, että vain tiivistäisi haetut tiedot. RAG AI eroaa generatiivisesta tekoälystä siinä, että se on generatiivisen tekoälyn yläjoukko. RAG yhdistää sekä generatiivisen tekoälyn että Retrieval AI:n vahvuudet. RAG eroaa myös kognitiivisesta tekoälystä, joka jäljittelee tapaa, jolla ihmisen aivot toimivat saadakseen tuloksia.

Mitä kognitiivinen tietojenkäsittely on ja miten se toimii?

Vaikka kognitiivisen tietojenkäsittelyn määrittelyssä näyttää olevan eroja, useimmat lähteet ovat yhtä mieltä siitä, että se on tietojenkäsittelytieteen ja kognitiivisen tieteen yhdistelmä – tekoälyn osajoukko, joka yrittää jäljitellä ihmisen aivojen toimintaa.

Kognitiivinen laskenta sisältää:

- Tekniikat, jotka perustuvat tekoälyn ja signaalinkäsittelyn taustalla oleviin tieteellisiin periaatteisiin ja jotka kattavat koneen itseoppimisen, ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksen, luonnollisen

kielen käsittelyn, tiedon louhinnan.

- Järjestelmät, jotka oppivat laajassa mittakaavassa, ovat vuorovaikutuksessa ihmisten kanssa luonnollisesti.

Kognitiiviset laskentajärjestelmät pystyvät syntetisoimaan tietoa eri tietolähteistä vastaakseen kyselyihin. Nämä järjestelmät ottavat ristiriitaiset todisteet ja kontekstin huomioon antaessaan vastauksia auttaakseen ihmisiä tekemään tietoisempia päätöksiä.

Kognitiivinen tietojenkäsittely vs. kognitiivinen tekoäly

Raja kognitiivisen tietojenkäsittelyn ja kognitiivisen tekoälyn välillä on usein hämärtynyt, ja termejä käytetään toisinaan vaihtokelpoisina. Molemmat kuuluvat laajaan luokkaan järjestelmiä, jotka on suunniteltu jäljittelemään ihmisen ajattelua. Molemmat käyttävät laajaa valikoimaa tekoälytekniikoita: luonnollisen kielen käsittelyä (*NLP*), koneoppimista (*ML*), syväoppimista (*Deep Learning - DL*), tiedon louhintaa, hahmontunnistusta ja muita. Mutta erot näiden kahden tekniikan välillä löytyvät niiden lopputavoitteista.

- Kognitiivinen tietojenkäsittely löytyy yleensä järjestelmistä, jotka on suunniteltu parantamaan ihmisen päätöksentekoa. Sen tavoitteena on luoda suhde ihmisten ja koneiden välille, jotta ihmiset voivat tehdä älykkäämpiä ja nopeampia päätöksiä.
- Kognitiivinen tekoäly ei kuitenkaan vain matkia ihmisen ajattelua, vaan voi myös toimia itsenäisesti. Sen tavoite on analysoida tietoa ja oppia siitä sekä tehdä päätöksiä ja suorittaa tehtäviä itsenäisesti – tarviten vähän tai ei lainkaan ihmisen tukea.

Kognitiivinen tekoäly voi tehdä omia päätöksiään, mutta kognitiivinen tietojenkäsittely auttaa ihmisiä tekemään tietoisempia päätöksiä.

Mitä eroa on tekoälyllä ja kognitiivisella tekoälyllä?

Tekoäly on kattotermi, joka viittaa järjestelmiin, joiden älykkyyks yleensä määritellään kuuluvaksi ihmisille. Tämä sisältää järjestelmät, jotka ratkaisevat ongelmia, kommunikoi luonnollisella kielellä, tunnistavat malleja ja oppivat kokemuksesta tai hankkimalla lisätietoja. Tekoälyn pitkäaikainen tavoite on suunnitella järjestelmiä, jotka pystyvät suorittamaan tehtäviä tai prosesseja, jotka muutoin edellyttäisivät ihmisen älyä.

Kognitiivinen tekoäly on tekoälyn alaluokka. Vaikka kognitiiviset tekoälyjärjestelmät käyttävät tekoälyä, kaikki tekoälyjärjestelmät eivät käytä kognitiivista tekoälyä. Näillä järjestelmillä on ihmisen kaltainen älykkyyks, ja ne voivat jäljitellä ihmisen aivojen toimintaa. Ne on suunniteltu ymmärtämään, oppimaan ja olemaan vuorovaikutuksessa ihmisen kaltaisilla tavoilla.

Taulukko 11 Kognitiivisen tekoälyn ja tekoälyn vertailu

Kognitiivinen tekoäly/tietojenkäsittely	Tekoäly
Kognitiivinen tietojenkäsittely keskittyy matkimaan ihmisen käyttäytymistä ja päättelyä monimutkaisten ongelmien ratkaisemiseksi.	Tekoäly lisää ihmisen ajattelua monimutkaisten ongelmien ratkaisemiseksi. Se keskittyy tarjoamaan tarkkoja tuloksia.
Se simuloi ihmisen ajatteluprosesseja löytääkseen ratkaisuja monimutkaisiin ongelmiin.	Tekoäly löytää malleja oppiakseen tai paljastaakseen piilotettuja tietoja ja löytääkseen ratkaisuja.
Se vain täydentää tietoa, jotta ihmiset voivat tehdä päätöksiä.	Tekoäly on vastuussa omien päätösten tekemisestä ihmisten roolin minimoimiseksi.
Sitä käytetään enimmäkseen aloilla, kuten asiakaspalvelu, terveydenhuolto, teollisuus jne.	Sitä käytetään enimmäkseen rahoituksessa, turvallisuudessa, terveydenhuollossa, vähittäiskaupassa, valmistuksessa jne.

Miten kognitiivista tekoälyä käytetään nykyään?

Kognitiivisen tekoälyn käyttötapaukset kehittyvät nopeasti. Tässä on esimerkkejä siitä, kuinka kognitiivista tekoälyä käytetään nykyään:

Itseohjautuvien autojen käyttö: Kognitiivinen tekoäly on autonomisten autojen perusta. Tällaiset ajoneuvot käyttävät tekoälyä ympäristönsä havaitsemiseen, päätösten tekemiseen ja navigointiin – kaikki ilman ihmisen puuttumista. Ne käsittelevät antureista peräisin olevia tietoja ihmiskeskisellä tavalla ymmärtääkseen, mitä kadulla tapahtuu, mukaan lukien muiden ajoneuvojen, jalankulkijoiden ja liikennemerkkien läsnäolo.

Kaupankäynnin automatisointi (rahoituspalvelut): Rahoitusallalla kognitiivista tekoälyä käytetään kaupankäyntijärjestelmien automatisointiin. Nämä järjestelmät analysoivat itsenäisesti markkina- trendejä, tekevät ennusteita ja tekevät kauppvoja ilman ihmisen väliintuloa. Koska kognitiivinen tekoäly voi reagoida markkinoiden muutoksiin nopeammin kuin ihmiset, on olemassa mahdollisuuksia tehdä parempia ja kannattavampia kauppvoja.

Sisällön luominen: Kognitiivista tekoälyä käytetään myös kirjoitetun materiaalin, kuten artikkeleiden, mainosten, tuotesivujen ja muiden digitaalisten ja paperisten materiaalien, itsenäiseen luomiseen. Mediaorganisaatiot käyttävät nyt kognitiivista tekoälyä kirjoittaakseen uutisia, jotka perustuvat suoriin tietoihin, kuten urheilutapahtumien tuloksiin tai talousraportteihin.

Älykotien hallinta: Moderneissa älykodeissa kognitiivinen tekoäly voi ohjata valaistusta, lämpötilaa ja turvajärjestelmiä kodinomistajan mieltymysten mukaan. Se voi jopa oppia asunnonomistajan käyttäytymisestä ja tehdä säätöjä automaattisesti mukavuuden parantamiseksi ja energian säästämiseksi. Kognitiivisen tekoälyn avulla on mahdollista vähentää energiankulutusta ja edistää planeetan vihreämpää kehitystä.

AI-pohjainen kyberturvallisuus: Voimme torjua kyberhyökkäyksiä käyttämällä tietoturvasalausta ja parannettua tilannetietoisuutta tekoälyn avulla. Tämä tarjoaa asiakirjan, datan ja verkon lukituksen älykkäällä hajautetulla tiedolla, joka on suojattu AI-avaimella.

Henkilökohtainen avustaja: Kognitiiviseen älykkyyteen perustuva ratkaisu oppii ja perustelee jatkuvasti ja voi samanaikaisesti integroida sijainnin, vuorokaudenajan, käyttäjätotumuksen, semanttisen intensiteetin, tarkoituksen, tunteen, sosiaalisen median, kontekstuaalisen tietoisuuden ja muita henkilökohtaisia ominaisuuksia.

Kognitiivinen analytiikka terveydenhuollossa: Teknologia toteuttaa ihmisen kaltaisia päättelyohjelmistotoimintoja, jotka suorittavat deduktiivisen, induktiivisen ja abduktiivisen analyysin biotieteiden sovelluksissa.

Tarkoituspohjainen NLP: Kognitiivinen älykkyys voi auttaa yritystä tulemaan analyttisemmäksi johtamisessa ja päätöksenteossa. Tämä toimii seuraavana askeleena koneoppimisesta, ja tekoälyn tulevat sovellukset ovat taipuvaisia käyttämään tätä loogisen päättelyn ja analyysin suorittamiseen.

Vaikka kognitiivisen tekoälyn optimaalisen toiminnan varmistamiseksi tarvitaan edelleen usein ihmisen valvontaa, nämä järjestelmät on ensisijaisesti suunniteltu tekemään päätöksiä ja toimimaan ihmisistä riippumatta.

Tekoälykirja ja tutkimusraportti

Siukonen T.; Neittaanmäki P., Mitä tulisi tietää tekoälystä, Docendo, 2019.

Neittaanmäki P., Lehto M. ja Savonen M., Maailma on muuttunut ja myös koulutuksen on muututtava, Tiedepolitiikka 2/2020, <https://journal.fi/tiedepolitiikka/article/view/98244/56129>

10.3 SOTE-IT-ALAN TUTKIMUSTA

IT-tiedekunnan terveydenhuollon alan tutkimusta on toteutettu vuodesta 2007 lähtien osana laaja-alaista tieteellisen laskennan tutkimusta. Tieteellisen laskennan perusideana on muodostaa kvantitatiiviseen analyysiin perustuvia matemaattisia malleja ja ongelmanratkaisutekniikoita sekä käyttää tietotekniikkaa eri tieteenalojen ongelmien ratkaisemiseen. Käytännössä ongelmanratkaisu tapahtuu tyypillisesti käyttämällä tietokonesimulatioita ja muita laskelmia kustannustehokkaalla ja turvallisella tavalla erilaisten ilmiöiden ja prosessien optimoimiseksi, ennustamiseksi, rekonstruomiseksi tai ymmärtämiseksi. Tässä yhteydessä tehtiin tutkimusta uusien kuvantamistekniikoiden kehittämiseksi syöväen aikaiseen havaitsemiseen, tarkkailuun ja ohjattuun hoitoon. Tutkimushanke koostui kolmesta kokonaisuudesta:

- SpectraMed: Optical biopsy to find cancerous cells via hyperspectral processing: kehitettiin hyperspektrikuvantamiseen pohjautuen järjestelmä, joka pystyy autonomisesti tunnistamaan iho-syöpätyyppejä ja rajaamaan ne kuvista.
- Automatic early detection of prostate cancer based on radioactive choline imaging: tutkittiin dynaamiseen PET/CT kuvantamiseen perustuvaa automaattista eturauhassyövän tunnistusmenetelmää.
- Fusion of different medical imaging modalities into a single coherent imaging information: tutkittiin kuvafuusiomenetelmää magneettikuville.

10.3.1 SOTE-IT-tutkimusta aloitetaan 2010-luvulla

Laajemmassa määrin SOTE-IT-alan tutkimus käynnistyi IT-tiedekunnassa vuonna 2014. Laadimme Tekesille strategisen tutkimusavauksen "*Kyberturvallinen älykäs palveluväylä 10+10*", jossa ideana oli mahdollistaa erittäin merkittävä muutos terveyden- ja sairaanhoidon palveluihin liittyvässä ICT- ja palveluliiketoiminnassa. Yhteinen palveluväylä ja sen validointi todentaisi eri toimittajille paremmat mahdollisuudet kehittää, tarjota ja toteuttaa yhteensopivia ratkaisuja.

Hankkeen tavoitteena oli lisätä tuottavuutta, saada säästöjä, parantaa palvelujen saataavuutta ja laatua sekä kasvattaa liiketoimintaa uuden teknologian ja innovatiivisten prosessien avulla. Tavoitteena oli saavuttaa 10% säästöjä ja vähentää 10% potilaskäyntejä.

Samana vuonna aloitimme ICT SOTE Keski-Suomi –ohjelman valmisteluhankkeen yhdessä KSSHP:n kanssa, jossa minun lisäksi mukana oli tiedekunnasta Jukka Valkonen ja KSSHP:stä Juha Kinnunen. Vuonna 2015 valmistuneessa loppuraportissa oli yhteenvedo Keski-Suomen SOTE-ICT:n kehittämisen kannalta olennaisista tekijöistä ja ehdotus kehittämistoimenpiteistä.

Marraskuussa 2015 laadittiin Jukka Valkosen johdolla suunnitelma kansalaisen älykkäästä SOTE-palvelualustasta, joka perustui keskeisimpiin muutosvoimiin SOTE-toimintaympäristössä. Tuolloin niitä olivat terveysteknologian kehitys, kuluttajien odotukset SOTE-palveluiden helppokäyttöisyydestä (*kuten pankkipalveluissa*), ennaltaehkäisevän toiminnan vaatimukset, sähköiset asiointipalvelut, genomisen datan määrän kasvu ja avoimen datan mahdollisuudet.

Tiedekunnassa jatkoimme edelleen vuonna 2016 SOTE IT-järjestelmien suunnittelua ja päädyimme viiteen keskeiseen tavoitteeseen:

1. Kommunikointi tapahtuu puhumalla.
2. Järjestelmät hyödyntävät uusinta tutkimustietoa tekoälystä, koneoppimisesta, konenäöstä, data ja prosessianalytiikasta ja kognitiivisesta tietojenkäsittelystä.
3. ICT-järjestelmä on toteutettu yleisesti saatavilla olevilla standardeilla, ohjelmointikielillä, tietojärjestelmillä ja tietokantaratkaisuilla.
4. Järjestelmät ovat kansallisesti yhteensopivat.
5. Järjestelmä hyödyntää Kelan ja Valtorin palveluita.

Pääministeri Juha Sipilän hallitusohjelmassa toukokuussa 2015 todettiin, että *"Sosiaali- ja terveydenhuollossa painopiste on ennaltaehkäisyssä, hoitoketjut ovat sujuvia, henkilöstö voi hyvin ja tietojärjestelmät toimivat.*" Hallitusohjelmassa kärkihankkeena oli myös *"Palvelut asiakaslähtöisiksi"*. Lisäksi ohjelmassa oli vahva digitalisaation edistämisen tavoite.

Tähän liittyen lähdimme suunnittelemaan, kuinka Keski-Suomi voisi toimia SOTE-IT-alan digitalisaation tutkimuskeskuksena. Elokuussa 2016 valmistui perussuunnitelma, jota laajennettiin seuraavana vuonna Jyväskylän kaupungin esitykseksi *"Kansallinen SOTE-IT-keskus Jyväskylään."*

10.3.2 Jyväskylän yliopisto edelläkävijä tekoälyn ja terveydenhuollon tutkimuksessa

IT-tiedekunnan ja IBM:n välistä yhteistyötä tiivistettiin vuodesta 2013. IBM:n yhteiskunta- ja yliopistosuhteiden johtaja Maarit Palon kanssa aloitimme yhteistyömuotojen tarkemman suunnittelun vuonna 2015. Yhteistyö tiivistyi, kun Jyväskylän yliopistosta tuli ensimmäinen suomalainen korkeakoulu IBM Watson University -ohjelmaan 28.8.2015.

Tässä ohjelmassa IBM ja Jyväskylän yliopisto solmivat kumppanuuden kognitiivisen tietojenkäsittelyn tuntemuksen ja osaamisen edistämiseksi Suomessa. Kumppanuuden tarkoituksena oli tutustuttaa yliopiston opiskelijat kognitiiviseen tietojenkäsittelyyn ja teknologian hyödyntämiseen opiskeluympäristössä. Saadun osaamisen ja kokemuksen myötä heillä oli valmiuksia vastata tulevaisuuden haasteisiin, joita esimerkiksi suuret datamassat ja niiden analysointi asettavat yhteiskunnalle ja liiketoiminnalle.

Yhteistyömme sai jatkoa, kun Tekes ja IBM solmivat joulukuussa 2016 yhteistyösopimuksen digitaalisen terveydenhoidon ekosysteemin kehittämisestä Suomessa. IBM perusti Suomeen kaksi osaamis- ja innovaatiokeskusta, kehittämään terveydenhoidon uudenlaisia palveluja ja digitaalisia ratkaisuja sekä tehostamaan kuvantamista. Yhteistyösopimus mahdollisti IBM:n ja Jyväskylän yliopiston hankkeen, jonka tavoitteena oli koulutuksen ja tutkimusyhteistyön monipuolistaminen digitaalisen tiedon hyödyntämisessä.

Tekoälyyn ja terveydenhuoltoon keskittyvän hankkeen ensimmäisessä vaiheessa *Value from Health Data with Cognitive Computing (VFH)* vuosina 2016–2017 tutkittiin, miten suomalaista terveysdataa voidaan saada nykyistä oleellisesti laajemmin hyötykäyttöön nopealla aikajänteellä. Tutkittiin IBM:n kehittämiä kognitiivisen tietojenkäsittelyn *Watson Health (WH)* ja *Watson Health Cloud (WHC)* -ratkaisuja pyrittiin soveltamaan Suomen digitalisaatioon pohjautuvaan uuteen älykkääseen SOTE-järjestelmään. Tavoitteena oli saada tietoa siitä, kuinka kognitiivisen tietojenkäsittelyn ratkaisut voivat edesauttaa kansallisessa saavuttamaan merkittävää toiminnan tehostumista, palvelujen parantumista ja kokonaissäätöjä kansallisessa digi-SOTE-ratkaisussa.

Hankkeen toisessa vaiheessa *Watson Health Cloud Finland (WHC)* vuosina 2017–2018 tutkittiin kognitiivisen tietojenkäsittelyn teknologian soveltumista osaksi Suomen terveysalan kehittämis- ja innovaatiotoiminnan kokonaisuutta. Tutkimuksen kohteita olivat kansallisten tietoaisteistojen tunnistaminen ja luettelointi, testiympäristön rakentaminen, tietojen anonymisointi, siirto, konversio ja testaus. Lopuksi johdollani rakennettiin jatku-

vaa kehitystyön tiekarttaa terveystietojen operatiiviselle analytiikalle kognitiivisen laskennan keinoin. Tässä yhteydessä arvioitiin eri tapoja yhdistää tietoaaineistot, kognitiivinen kyvykkyys sekä jo opetetut mallit. Eri lähestymistapojen tekniset, juridiset ja liiketoiminnalliset ulottuvuudet tuli analysoida kansainvälisten asiantuntijoiden tuella.

Tässä kaksiosaisessa hankkeessa olivat mukana IBM, Tekes/Business Finland, Sitra, Jyväskylän kaupunki, KSSH, KYS, HUS, Itä-Suomen yliopisto ja Keski-Suomen liitto. Hankkeeseen osallistui noin 50 tutkijaa ja pääaineopiskelijaa. Väitöskirjoja valmistui yli kymmenen ja pro gradu -tutkielmia lähes 30. Hankkeen tutkimusteemoja olivat:

- Sote-tietojen hyödyntäminen,
- Tekoäly terveydenhuollossa,
- Digitaaliset interventiot kansanterveyden edistämisessä,
- Tekoälyn soveltaminen,
- Tekoäly mielenterveyden edistämisessä ja syrjäytymisen ehkäisyssä,
- Tekoäly lääkehuollossa,
- Tekoäly ja kyberturvallisuus,
- Tekstianalytiikka.

Hankkeiden tuloksista kirjoitettiin neljä kirjaa, jotka julkistettiin 25.3.2019 pidetyssä seminaarissa:

1. Neittaanmäki P, Tuominen H, Äyrämö S, Vähäkainu P. 2019. Tekoäly ja terveydenhuolto Suomessa. Loppuraportti, Vol. 1. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/63324>
2. Lehto Martti, Pöyhönen Jouni, Lehto Miika, 2019. Kyberturvallisuus sosiaali- ja terveydenhuollossa, Loppuraportti, Vol. 2. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/63325>
3. Kaasalainen K, Ruohonen T. & Neittaanmäki P. 2019. Interventiot ja tekoäly terveydenhuollossa. Loppuraportti, Vol. 3. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/63326>
4. Neittaanmäki P, Lehto M, Ruohonen T, Kaasalainen K, Karla T. 2019. Suomen terveystieto ja sen hyödyntäminen. Loppuraportti, Vol. 4. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/63327>

10.3.3 Kansallisen SOTE-uudistuksen käynnistyminen lisäsi tutkimuksen tarvetta

Eduskunta hyväksyi keväällä 2019 lain sosiaali- ja terveystietojen (*sote*) toissijaisesta käytöstä. Laki mahdollistaa entistä tehokkaammin sosiaali- ja terveydenhuollon palveluinnassa syntyvien henkilötasoisien asiakastietojen sekä muiden terveyteen ja hyvinvointiin liittyvien henkilötietojen käytön tilastointiin, tutkimukseen, kehittämisen ja innovaatiotoimintaan, opetukseen, tietojohdantamiseen, viranomaisohjaukseen ja -valvontaan sekä viranomaisten suunnittelu- ja selvitystehtäviin. Tällöin tiedekunnassa tehtiin hankesuunnittelua, jossa tavoitteena oli ennakoita tulevien uusien asiakas- ja potilastietojärjestelmien (*APTJ*) mahdollisuuksia hyödyntää potilastietoa.

10.3.4 IT-tiedekuntaan muodostui merkittävä SOTE-IT-tutkimusryhmä

Tiedekunnassa jatkettiin tutkimusta uusien teknologioiden käytöstä hyvinvoinnin ja terveyden edistämisessä sekä terveydenhuollossa. Tutkimus- ja kehityshankkeissa pyrittiin systemaattisesti analysoimaan, kuinka uusia teknologioita hyödyntämällä voidaan tukea kansalaisten omaehtoista terveyden edistämistä, parantaa sote-alan palveluprosesseja sekä tehostaa toiminnan vaikuttavuutta.

Tutkimusaiheita olivat muun muassa

- Suomen terveysdata ja sen hyödyntäminen,
- SOTE-kulujen säästöpotentiaali IT:n avulla,
- Maakuntien SOTE-kulut,
- Terveydenhuollon prosessien tehostaminen IT:n avulla,
- Tietovirrat digitaalisissa SOTE-järjestelmissä,
- Terveyden edistämisen ja ennaltaehkäisyyn teknologiatuetut sovellukset,
- Yksilötason terveyden ja hyvinvoinnin koneoppimispohjaiset teknologiat,
- Digitaalinen patologia ja diagnostiikka,
- Palvelurobotit,
- Lohkoketjuteknologian hyödyntämismahdollisuudet,
- Kyberturvallisuus SOTE-ympäristössä.

Tutkimuksessa hyödynnettiin laskennallisia menetelmiä, kuten prosessien louhintaa, tapahtumapohjaista simulointia ja koneoppimista. SOTE-datan analyysia varten IT-tiedekuntaan rakennettiin suljettu laskentaympäristö. Tutkijoilla oli käytössään mm. tehokas IBM Power 9 tekoälytietokone. Mukana monitieteisessä tutkimusryhmässä oli informaatioteknologian, kognitiotieteen, lääketieteen sekä liikunta- ja terveystieteiden asiantuntijoita/tutkijoita.

Tutkimusraportteja

Hänninen K., Soikkeli J., (toim.). Hyvinvointialan uudet toimintamallit ja palvelukonseptit (*hoivavisio*) -hanke loppuraportti. Jyväskylän yliopisto. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja. No. 4/2013, <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/42282/978-951-39-5203-7.pdf>

Ruohonen T., Kuoremäki R., Soikkeli J., Haapamäki-Siikanen J. & Lehtiharju M. Kainuun sosiaali- ja terveydenhuollon kuntayhtymän (*Kainuun sote*) ja Jyväskylän yhteistoiminta-alueen terveyskeskus (*JYTE*) -kuntien paljon sote-palveluita käyttävien hoitotoiminnan analysointi sekä kehittäminen. Loppuraportti. Jyväskylän yliopisto 2016. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/51199/978-951-39-6754-3.pdf?sequence=1>

Niinimäki E., Pöyhönen J., Äyrämö S. & Neittaanmäki, P. Omadata terveydenhuollon tietointensiivisessä rakenteessa, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, No. 40/2017.

Äyrämö S. & Neittaanmäki P. (toim.) Koneoppimispohjaiset tekoälyratkaisut hyvinvointi- ja terveysso-

velluksissa, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, No. 42/2017.

Ojala T., Wirta E.-V., Äyrämö S., Kuopio T. & Pölönen I. Cell counting with gradient boosted convolutional neural networks. In S. Äyrämö & P. Neittaanmäki (Eds.), *Koneoppimis pohjaiset tekoälyratkaisut hyvinvointi- ja terveyssovelluksissa* (pp. 40-47). Jyväskylän yliopisto. 2017.

Rautiainen I., & Äyrämö, S. Predicting overweight and obesity in later life from childhood data: a survey. In S. Äyrämö & P. Neittaanmäki (Eds.), *Koneoppimis pohjaiset tekoälyratkaisut hyvinvointi- ja terveyssovelluksissa* (pp. 62-72). Jyväskylän yliopisto. 2017.

Rautiainen I., Joensuu L., Tammelin T., Kujala U. & Äyrämö S. Finding predictors of aerobic fitness level change in children and adolescents using machine learning. In S. Äyrämö & P. Neittaanmäki (Eds.), *Koneoppimis pohjaiset tekoälyratkaisut hyvinvointi- ja terveyssovelluksissa* (pp. 48-61). Jyväskylän yliopisto. 2017.

Niinimäki E., Pasanen K., Leppänen M., Vasankari T., Parkkari J. & Äyrämö, S. Determining risk factors for acute lower extremity injuries in team sports with lasso regression. In S. Äyrämö & P. Neittaanmäki (Eds.), *Koneoppimis pohjaiset tekoälyratkaisut hyvinvointi- ja terveyssovelluksissa* (pp. 34-39). Jyväskylän yliopisto. 2017.

Jauhiainen S., Forsman H., Äyrämö S. & Kauppi J.-P. Talent detection in soccer using a one-class support vector machine. In S. Äyrämö & P. Neittaanmäki (Eds.), *Koneoppimis pohjaiset tekoälyratkaisut hyvinvointi- ja terveyssovelluksissa* (pp. 19-23). Jyväskylän yliopisto. 2017.

Ruohonen T., Malmberg J., Juutilainen H., Niinimäki E., Lempinen A. & Neittaanmäki P. Sosiaali- ja terveystoiminnan kustannusten kasvun hillitsemisen arviointiraportti, Jyväskylän yliopisto, kesäkuu 2017.

Malmberg J., Juutilainen H. & Neittaanmäki P. Kalleimpien kansansairauksien selvitysraportti Jyväskylän yliopisto, kesäkuu 2017.

Lehto M. & Neittaanmäki P. Suomen terveysdataympäristö, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 35/2017. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/55990>

Neittaanmäki P. & Lehto M. Value from public health data with cognitive computing: loppuraportti, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 41/2017. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/56900>

Ruohonen T, Kuoremäki R, Kaasalainen K, Kilpi O. Asiakas on-line-hanke. Loppuraportti. Jyväskylän yliopisto, 2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/57062>

Vähäkainu P. & Neittaanmäki P. Digitaalinen terveys ja älykäs terveydenhuollon teknologia, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 43/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/89187>

Vähäkainu P. & Neittaanmäki P. Digitaalisista sairaaloista kognitiivisiin sairaaloihin, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 44/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/57671>

Vähäkainu P. & Neittaanmäki P. Tekoäly terveydenhuollossa, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 45/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/57682>

Vähäkainu P., Kärkkäinen S., Neittaanmäki P. Tekoälyä hyödyntävät ratkaisut ja mahdollisuudet mielen-terveyden häiriöissä, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 46/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/57685>

Vähäkainu P. & Neittaanmäki P. IBM-teknologioiden hyödyntäminen terveydenhuollossa, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 47/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/57686>

Vähäkainu P. & Neittaanmäki P. Terveydenhuollon alustat ja tekoäly, Informaatioteknologian tiedekun-

nan julkaisuja, 48/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/57688>

Neittaanmäki P. & Lehto M. Suomen kansalliset SOTE-tiedon lähteet ja tietojen hyödyntäminen, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 49/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/60560>

Alho T., Neittaanmäki P., Hänninen P., Tammilehto O. Palvelurobotiikka, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 50/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/60559>

Neittaanmäki P. & Kaasalainen K. SOTE-toimintojen tehostaminen IT:n avulla - Kehittämispotentiaali ja toimenpideohjelma, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 51/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/59204>

Ojalainen A. & Neittaanmäki P. Tekoäly terveydenhuollossa - katsaus Aasiaan, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 53/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/59206>

Ojalainen A. & Neittaanmäki P. Tekoäly Japanin terveydenhuollossa, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 52/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/59205>

Talvitie-Lamberg K., Silvennoinen M., Ala-Kitula A., Kärkkäinen S., Tyrväinen P., Kuoremäki R., Kinnunen P., Munnukka J., Allonen S., Puhilas P., Vähäkainu P. Tekoälyn soveltaminen terveydenhuollossa ja hyvinvoinnissa, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 54/2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/59207>

Pöyhönen J., Lehto Martti, Lehto Miikael, Kyberturvallisuus sairaalajärjestelmissä. Osa 2: Toiminnan kehittäminen, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 75/2019. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/88460>

Lehto M. & Neittaanmäki P. Suomen tekoälytuettu digitaalinen SOTE- ja koulujärjestelmä 2025. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja 84/2020. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/68925>

10.4 KYBERTURVALLISUUDEN TUTKIMUS JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON IT-TIEDEKUNNASSA

Tässä luvussa esitellään kyber- alan kehityshankkeita jotka loivat pohjan kyber- alan tutkimushankkeille sekä maisteri- ja tohtoriohjelmien aloittamiselle.

10.4.1. Toiminnan lähtökohhta

Nokia kertoi Jyväskylän toimipisteensä lakkauttamisesta 11. helmikuuta 2009, jolloin aloitettiin yt-neuvottelut. Sitten maaliskuussa Nokia ilmoitti sulkevansa Jyväskylän yksikön vaiheittain vuoden 2010 tammikuun loppuun mennessä. Nokialla oli tuolloin Jyväskylässä 320 työntekijää, joista valtaosa työskenteli tutkimus- ja tuotekehitystehtävissä ja vain 50:lle löytyi töitä yhtiön muissa toimipisteissä.

10.4.2. Kyberturvallisuuden tutkimuksen ja opetuksen perustan luominen vuosina 2009–2010



Martti Lehto professori, tutkimusjohtaja kyberturvallisuus

Tässä tilanteessa käynnistettiin kesällä 2009 kartoituksen turvallisuusalan kokonaisuudesta, keskisuomalaisesta turvallisuusmarkkina- ja -yritystilanteesta sekä tarvittavista tutkimus- ja koulutus-tarpeista. Tavoitteena oli selvittää, kuinka Nokialta vapautuvia osajia voitaisiin käyttää uusilla tutkimusaloilla. Selvitys valmistui 2.12.2009 ja sen edellyttämiä toimenpiteitä jatkettiin vuonna 2010. Martti Lehdon tekemän selvityksen mukaan Jyvässeudulla toimi monia kansallisia ja kansainvälisiä turvallisuusalan palveluiden ja teknologian tuottajia. Selvityksen mukaan alueen erityisiä osaamisalueita ovat langaton teknologia, informaatioteknologia, optroniikka ja mobiiliviranomaisviestintä. Informaatioteknologian alueella erityiseksi kehittämiskohteeksi esiin nousi informaatioturvallisuus.

10.4.3. Informaatioturvallisuuden kehittämisohjelma ja koulutuksen aloittaminen vuonna 2011

Selvitystöiden jatkoksi laitettiin liikkeelle Keski-Suomen turvallisuusalan kehittämisohjelman laatimisen. Martti Lehdon johdolla tehty kehittämisohjelma valmistui 12.8.2011. Selvitystyössä tehtyjen analyysien perusteella kyberturvallisuuden laaja-alainen kehittäminen nähtiin Keski-Suomen uutena alueellisenä innovaatioympäristönä. Tämän kokonaisuuden ympärille voitaisiin muodostaa laaja osaamisympäristö tuottamaan uusia innovaatioita ja liiketoimintaa. Osaamisympäristö yhdessä muiden turvallisuustoimijoiden kanssa voisi tuottaa erilaisia palveluita, joiden avulla voidaan kehittää sekä alan T&K- että yritystoimintaa maakunnassa.

10.4.4. Jyväskylän yliopiston ensimmäinen informaatioturvallisuustutkimuksen ja -koulutuksen kehittämissuunnitelma 2011

Jyväskylän yliopiston informaatioturvallisuustutkimuksen ja -koulutuksen kehittämissuunnitelma laadittiin rinnan Keski-Suomen turvallisuusalan kehittämisohjelman kanssa ja se valmistui 30.9.2011. Siinä määriteltiin kyberturvallisuutta tulevaisuuden tutkimus-alana, lähivuosien koulutustarjontaa, alan tutkimushankkeita ja tutkimusyhteistyötä. Raportissa kuvattiin yliopiston senhetkisiä vahvuuksia turvallisuusalan tutkimuksessa ja sitä, kuinka tutkimusta on rahoitettu ja tullaan jatkossa rahoittamaan. Raportissa esitettiin lisäksi informaatioturvallisuuskoulutuksen käynnistämissuunnitelma.

Turvallisuustutkimuksen ja -koulutuksen kehittämissuunnitelman perusteiden mukaisesti laadittiin Jyväskylän yliopiston informaatioturvallisuuden koulutusohjelma syksyllä 2011. Koulutusohjelma tuki alan tutkimusta sekä käynnissä olevia ja alkavia kehittämissuunnitelmia, joiden avulla Keski-Suomessa mahdollistettiin uusien tuote- ja palveluinnovaatioiden kehittäminen informaatio(*kyber*)turvallisuusosalalle.

10.4.5. Informaatioturvallisuuskoulutus alkoi syksyllä 2011

Informaatioturvallisuuden opetuksen ja tutkimuksen osa-aikaiseksi vastuuprofessoriksi kutsuttiin professori Rauno Kuusisto Puolustusvoimien teknillisestä tutkimuslaitoksesta. Aivan aluksi opetus- ja tutkimustyössä toimivat projektitutkija Martti Lehto josta tuli hieman myöhemmin kyber alan koulutuksesta ja kehitystyöstä vastannut professori sekä vierailevat professorit ja tutkijat mm. TelAvivin yliopistosta (*Amir Averbuch, Gil David, Nezer Zaidenberg*). Aluksi tarjonnassa oli kolme syventävää opintojaksoa yhteensä 15 opintopisteen laajuisina.

Informaatioturvallisuuden maisteri- ja jatko-opintotasoisten syventävien opintojen opintotarjontaa laajennettiin lukuvuonna 2012–2013 käsittämään 11 kurssia yhteensä 52–55 opintopisteen laajuisina. Oman opetushenkilöstön lisäksi käytettiin koti- ja ulkomaisia alan opettajia mm. Virosta, Israelista ja Yhdysvalloista.

Kyberturvallisuuden maisteriohjelma alkoi vuonna 2015. Sen tavoitteena on luoda opiskelijalle vankka osaaminen työskentelyyn kyberturvallisuuden kokonaishallinnan vaativissa johtamis- ja kehittämistehtävissä. Maisteriohjelmassa korostuvat kyberturvallisuuden suunnittelu, johtaminen ja kyberturvallisuusriskien hallinta niin johtamisen kuin teknologiankin näkökulmasta. Vuonna 2024 vahvistetussa opetussuunnitelmassa tarjonnassa on 20 opintokokonaisuutta.

Ensimmäisenä vuonna saatiin aloituspaikkoja yhteensä 68, jonka jälkeen sisäänotto oli 30 vuodessa, joka siitä kasvoi nykyiseen 45:een. Yhteensä tutkinto-ohjelmaan on otettu yli 400 opiskelijaa ja valmistuneita yli 300.

Kyberturvallisuuden jatkokoulutus alkoi heti toiminnan käynnistysvaiheessa. Ensimmäiset kyberturvallisuusaiheiset väitöskirjat valmistuivat jo vuonna 2014. Valmistuneita kyberalan tohtoreita on lähes 40.

10.4.6. Informaatio (kyber)turvallisuuden tutkimus käynnistyy

IT-tiedekunnassa oli jo vuodesta 2007 lähtien tehty laaja-alaista informaatioturvallisuuteen liittyvää tutkimusta. Tutkimusaloina vuosina 2007–2014 oli mm. suurien datamassojen analysointi, kriittisen infrastruktuurin suojaaminen, turvallisuusjohtaminen, mobiiliviestintä, monispektrikuvantaminen, tieto- ja kyberturvallisuusstrategian kehitysmenetelmät, tietoturvan johtaminen ja hallinta, turvallisten tietojärjestelmien kehitysmenetelmät sekä tietoturvakäyttötymisen ja -kulttuurin parantaminen.

Ensimmäinen uuden tutkimusalan tutkimushanke oli vuosina 2009–2012 toteutettu Scientific Innovation Product Concept (*SCOPE*) -hanke. Tässä Tekes-rahoitteisessa hankkeessa teemoina olivat kyberturvallisuus, kriisitilanteiden hälytysjärjestelmä, mobiililogistiikka ja viranomaisverkkojen alustaratkaisuihin liittyvien palveluiden rakenteiden ja tekniikoiden kehittäminen. Tavoitteena oli löytää uusia työuria Nokialta työttömiksi jääneille IT-alan ammattilaisille.

Jatkona tälle syksyllä 2012 aloitettiin Tekes-rahoitteinen Cyber Attacks Protection of Critical Infrastructures (*CAP*) -hanke, jossa kehitettiin innovatiivista tietojärjestelmien turvaamiseen liittyvää menetelmää. Menetelmä tutki tietomassoista epänormaaleja käyttäytymismalleja ja teki analyysin pohjalta päätelmiä havaintojen vakavuudesta tietojärjestelmän turvallisuudelle. Hankkeessa tutkittiin teknologioita, joiden avulla voidaan automaattisesti tunnistaa, havaita ja luokitella erilaisia haittaohjelmia. Teknologioilla voidaan suojata suuria ja keskikokoisia yrityksiä, tietoliikenneyrityksiä, mobiiliverkkoja, turvallisuusviranomaisten verkkoja ja infrastruktuuria sekä kriittistä infrastruktuuria kyberhyökkäyksiltä.

Muita laaja-alaiseen turvallisuuteen liittyviä Tekes-projekteja oli käynnissä vuosina 2011–2014 seuraavasti:

- Organizing and analyzing massive high dimensional datasets (*HIDE*),
- Intelligent Systems for Security Management (*ISSM*),
- Platform for Copyright Protection Using Off-the-Shelf Components (*TP*),
- Spektrikuvantamisen sovellukset kevyestä lennokista (*UASI*),
- Spektrikuvantamisen avulla tehtävä rikospaikkatutkimus (*SpeCSI*),
- Kyberturvallisuuden kehittäminen elektronisessa toimintaympäristössä,
- Truly-Protect - Platform for Copyright Protection,
- Big Data Analytics - Data-Driven Methods for Cyber Security,
- Organizing and analyzing massive high dimensional datasets.

10.4.7. INKA-hanke nostaa Jyväskylän kyberturvallisuustutkimuksen kärkeen

Innovatiiviset kaupungit (*INKA*) –ohjelma (2014–2017) oli valtion ja ohjelmaan hyväksytyjen kaupunkien välinen kumppanuusohjelma, jossa kaupungeilla oli merkittävä rooli uuden tyyppisten kehitysympäristöjen synnyttämisessä ja uusien liiketoimintaekosyste-

mien kehittämisessä.

Jyväskylän kaupunki sai koordinaatiovastuulleen INKA-hankkeen kyberturvallisuusteeman. Sen toteuttamisessa IT-tiedekunnalla oli keskeinen rooli. INKA-hankkeen visio on luoda Suomesta kansainvälisesti tunnustettu kyberturvallisuuden liiketoiminnan ja osaamisen sekä kyberuhkiin varautumisen maailmanlaajuinen edelläkävijä. Tavoitteena oli luoda kansallinen koulutuksen, tutkimuksen ja yritystoiminnan sekä kansainvälisen toiminnan yhteistyöverkosto, jonka avulla kehitetään alan osaamista ja liiketoimintaa, luodaan uusia alan yrityksiä ja saadaan ulkomaisia yrityksiä etabloitumaan Suomeen.

10.4.8. Cyber Trust -hanke aloitti kansallisen tutkimustoiminnan

Digilen johdolla muodostettiin vuonna 2014 laaja konsortio (*yli 30 organisaatiota*) Cyber Trust -hankkeen eri tutkimusaloille, joita olivat yksityisyyden suoja, verkkojen ja alustojen kyberturvallisuus sekä kyberturvallisuusuhkien hallinta. Tavoitteena oli uusi ennakoiva lähestymistapa kyberturvallisuuteen, joka perustuisi tietoon kyberuhkista, kyberhyökkäysten vaikutuksista sekä hyökkääjien motiiveista ja kohteista. Tämä noin 25 miljoonan euron hanke toteutettiin kahdessa vaiheessa vuosina 2015–2017. Jyväskylän yliopiston osuus muodostui seuraavista työpaketeista:

- Critical Infrastructure Resiliency and Protection, professori Pekka Neittaanmäki,
- Security Technologies and Secure Management for Future Networks, professori Timo Hämäläinen,
- Analysis, Detection and Mitigation of Advanced Threats, professori Jari Veijalainen,
- Privacy of Digital Personal Identities, professori Mikko Siponen.

10.4.9. Kyberprofiloituminen vahvisti yliopiston asemaa kyberyliopistona

Suomen Akatemia teki 29.5.2015 rahoituspäätökset yliopistojen profiloitumisen vahvistamiseksi. Uudella rahoitusmuodolla tuettiin yliopistojen valitsemia tutkimuksen vahvuusalueita. Jyväskylän yliopisto sai hakemansa 5,7 miljoonaa euroa vahvistaakseen profiiliaan kolmella strategiassa mainitulla tutkimuksen painoalalla. Yksi uusista avauksista oli informaatioteknologian tiedekunnan kyberturvallisuuden tutkimus. Kaksi muuta profiloitumisaluetta olivat monitieteinen oppimisen ja opetuksen tutkimus, sekä fysiikan laitoksen kiihdytinpohjainen aineen rakenteen tutkimus.

Jyväskylän yliopiston kyberturvallisuuden profiloituminen tuki ja vahvisti Suomen kyberturvallisuusstrategiassa ja sen toimeenpanosuunnitelmassa esitettyjä tavoitteita ja vahvisti Jyväskylän asemaa kyberturvallisuuden osaamis- ja innovaatiokeskittymänä.

Kyberturvallisuuden profiloituminen edisti monialaisen yliopistomme mahdollisuuksia poikkitieteelliseen tutkimukseen. Profiloituminen tuki myös monitieteistä oppimista ja oppimisympäristöjen kehittämistä ja siten kansainvälisesti merkittävän osaamiskeskittymän syntymistä Jyväskylään. Yliopiston vahva tilastotiede, tieteellinen laskenta ja tietojenkäsittely vahvistivat kyberturvallisuuden laaja-alaista tutkimusta myös ihmistieteel-

lisestä näkökulmasta. Profiloituminen edisti siten yliopiston informaatioteknologian ja inhimillisen toiminnan monitieteellistä tutkimusta. Profiloituminen mahdollisti tieteellisen laskennan, data-analyysin, tietotekniikan, kyberturvallisuuden ja digitaalisten palveluiden yhdistämisen tavalla, jolla voidaan ratkaista monitieteisiä sekä yhteiskunnallisesti että tieteellisesti merkittäviä digitalisoituvan yhteiskunnan ongelmia ja siten lisätään tutkimuksen vaikuttavuutta.

Kyberturvallisuuden profiloituminen tuotti vetovoimaisia ja monitieteisiä tutkimusympäristöjä yhteistyössä kansainvälisten yliopistojen ja yritysten kanssa. Näin kyberturvallisuuden tutkimus vahvistui ja lisäsi tiedekunnan tutkijoiden kansainvälistä liikkuvuutta ja tohtorikoulutusta.

10.4.10. Kansallista kyberturvallisuuden tilaa on tutkittu Jyväskylän yliopiston johdolla

Yliopisto oli mukana vuonna 2013 valmistuneen Suomen ensimmäisen kyberturvallisuusstrategian laadinnassa ja sen perusteella laaditun toimeenpano-ohjelman tuottamisessa.

Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunnan johdolla laadittiin vuonna 2016–2017 Valtioneuvoston kanslialle selvitys siitä, kuinka vuoden 2013 kyberturvallisuusstrategiassa asetettu tavoite *"Suomi on maailmanlaajuinen edelläkävijä kyberuhkiin varautumisessa ja niiden aiheuttamien häiriötilanteiden hallinnassa"* on saavutettu ja millainen Suomen kyberturvallisuuden tavoitetilän tulisi olla vuonna 2020. Tutkimushankkeessa tehtiin turvallisuustilanneanalyysi kyberturvallisuuden megatrendeistä, selvitettiin kyberturvallisuuden nykytila ja kehittämistarpeet julkisella ja yksityisellä sektorilla sekä analysoitiin kuuden maan kyberturvallisuuden nykytilaa ja sen kehittämistä. Tutkimuksen yhteenvedona esitettiin tunnistetut puutteet ja kehityskohteet kyberturvallisuuden tavoitetilän 2020 saavuttamiseksi.

Toimitetut kirjat

Lehto M. & Neittaanmäki P. (Edit.) *Cyber Security: Analytics, Technology and Automation*, Springer, Berlin, 2015. ISBN: 978-3-319-18302-2.

Lehto M. & Neittaanmäki P. (Edit.) *Cyber Security: Cyber power and technology*, Springer, Berlin, 2018. ISBN: 978-3-319-75307-2.

Lehto M. & Neittaanmäki P. (Edit.) *Cyber Security - Critical Infrastructure Protection*, Springer, Barcelona, 2022. ISBN 978-3-030-91292-5.

Tutkimusraportit

Neittaanmäki P., Lehto M. Huippunopea kiinteä laajakaistaverkko - informaatioteknologian strateginen infrastruktuuri-investointi, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisu, 13/2014.

Neittaanmäki P., Lehto M. Kyberturvallisuuden ja big data-analyysin tutkimus ja opetus, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisu, 15/2014.

Lehto M., Neittaanmäki Pekka, Neittaanmäki Petri. ICT-alan kehittäminen Keski-Suomessa - selvitys ICT-alan yrityksille Keski-Suomessa, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 16/2014.

Lehto M., Neittaanmäki P. Keski-Suomesta digikoulutuksen johtava maakunta: esiselvitys ja Master plan luonnos, Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 21/2015.

Lehto M., Neittaanmäki P. Laskennallisten tieteiden tutkimuksen ja koulutuksen kehittäminen. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 22/2016.

Vähäkainu P., Lehto M., Neittaanmäki P. Tekoäly ja kyberturvallisuus: raportti. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja, 60/2018.

Valtioneuvoston kanslia pyysi vuonna 2017 jatkotutkimusta, jonka tavoitteena oli määrittellä mitä kyberturvallisuuden strateginen johtajuus on ja miten sitä toteutetaan kokonaisturvallisuuden vastuomallissa, miten yleinen häiriötilanteiden hallintamalli toteutetaan laajoissa kyberturvallisuuden häiriötilanteissa, miten kyberturvallisuuden strateginen johtaminen on organisoitava ja millainen on valtionhallinnon kyberturvallisuuden johtamisen rakenne.

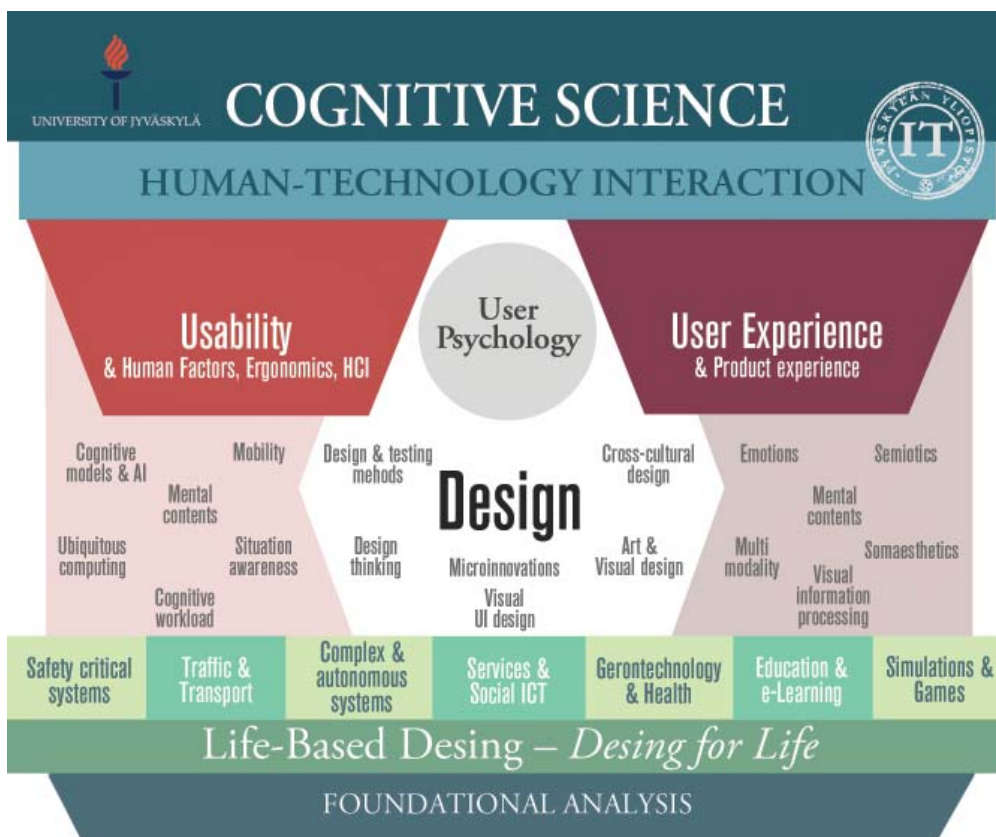
IT-tiedekunta on oli mukana myös vuoden 2019 Suomen kyberturvallisuusstrategian ja kehittämisohjelman laadinnassa. Valtion kyberturvallisuusjohtajan esityksestä IT-tiedekunnan johtama konsortio teki vuosina 2021–2022 kyberturvallisuuden koulutusohjelman muutostarpeiden tutkimuksen, jossa selvitettiin perusopetuksessa, lukioissa, ammattikouluissa, ammattikorkeakouluissa ja yliopistoissa sekä kolmannen sektorin piirissä annettavaa kyberturvallisuuden/tietoturvallisuuden/digiturvallisuuden opetusta. Lisäksi esitettiin kehittämisehdotuksia kullekin eri koulutussektorille.

Kansallisella tasolla tutkijat olivat mukana vuosina 2020–2023 valtiovarainministeriön johdolla toteutetussa HAUKKA-selvityksessä, jossa kuvattiin julkisen hallinnon digitaalisen turvallisuuden nykytila, tavoitetilä sekä keskeisiä ehdotuksia ja kehittämistarpeita. Tiedekunnan tutkijat ovat mukana myös vuoden 2024 kyberturvallisuusstrategian valmistelussa.

Hankehaun perusteella Opetus- ja kulttuuriministeriö rahoittaa vuosina 2022–2025 Jyväskylän yliopiston ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun koordinoimaa laajaa yhteistyöhanketta, jossa kootaan kyberturvallisuusalan korkeakoulutusta kehittävä, koordinoiva ja tarjoava kansallinen verkosto. IT-tiedekunta johtaa kahdeksan muun yliopiston verkostoa, jonka tavoitteena on laajentaa kansallista kyberturvallisuusopetusta virtuaaliyliopisto FITECH:n avulla.

10.4.11. IT-tiedekunnassa tehdään uutta luovaa tutkimusta

Tiedekunnan tutkimustoiminta on keskittynyt tutkimusryhmiin. Tutkimusryhmät toimivat neljän toiminta-alueen – tietojärjestelmätiede, laskennallinen tiede, tekniikka sekä koulutusteknologia ja kognitiotiede - alaisuudessa. Kyberalan tutkimusta ei ole keskitetty yhteen tutkimusryhmään, vaan sitä tehdään kaikilla toiminta-alueilla. Tutkimusteemoja ovat mm. kyberturvallisuusteknologioiden kehittäminen, kyberturvallisuuden johtami-



Kuva 31. Kognitiotiede sekä ihmisen ja teknologian vuorovaikutustutkimus Jyväskylän yliopistossa. (Johanna Silvennoinen)

nen, kriittisen infrastruktuurin suojaaminen, yksilön kyberturvallisuus ja kyberpuolustus.

Jyväskylän yliopiston turvallisuusalan tutkimustoiminnalla pyritään selvittämään kyberturvallisuuteen liittyviä toiminnallisia ja teknologisia mahdollisuuksia suunnitella ja kehittää ICT-järjestelmiä, liiketoimintaketjuja ja toimintaprosesseja siten, että hyödynnetään teknologian antama potentiaali, mutta samalla hallitaan teknologiaan ja informaation luotettavuuteen ja käytettävyyteen liittyvät riskit.

Kyberturvallisuuden tutkimus kattaa neljä tieteen perusparadigmaa: teoreettinen, kokeellinen, mallipohjainen laskennallinen ja datapohjainen laskennallinen lähestymistapa. Erityisesti on korostunut laskennallisten tieteiden ja dataintensiivisten menetelmien käyttö.

ERI TIETEENALAT

Tilastokeskus pitää yllä tieteenalaluokitusta (*Tieteenala 2010*):

- **Luonnontieteet**
 - o Matematiikka
 - o Tilastotiede
 - o Tietojenkäsittelytiede ja informaatiotieteet
 - o Fysiikka
 - o Avaruustieteet ja tähtitiede
 - o Kemia
 - o Maantiede ja ympäristötieteet
 - Geotieteet
 - Ympäristötiede
 - o Biotieteet
 - Ekologia, evoluutiobiologia
 - Biokemia, solubiologia ja molekyylibiologia
 - Kasvibiologia, mikrobiologia, virologia
 - Genetiikka, kehitysbiologia, fysiologia
 - o Muut luonnontieteet
- **Tekniikka**
 - o Arkkitehtuuri
 - o Rakennustekniikka ja yhdyskuntatekniikka
 - o Sähkötekniikka, automaatiotekniikka ja tietoliikennetekniikka, elektroniikka
 - o Konetekniikka ja valmistustekniikka
 - o Teknillinen kemia, kemian prosessitekniikka
 - o Materiaalitekniikka
 - o Lääketieteen tekniikka
 - o Ympäristötekniikka
 - o Ympäristön bioteknologia
 - o Teollinen bioteknologia
 - o Nanoteknologia
 - o Muu tekniikka
- **Lääketieteet ja terveystieteet**
 - o Peruslääketieteet
 - Biolääketieteet
 - Neurotieteet
 - o Kliiniset lääketieteet
 - Sisätaudit
 - Syöpätaudit
 - Naisten- ja lastentaudit
 - Neurologia ja psykiatria
 - Korva-, nenä- ja kurkkutaudit, silmätaudit
 - Kirurgia, anestesiologia, tehohoito, radiologia
 - o Hammaslääketieteet
 - o Terveystieteet
 - Terveystiede

- Kansanterveystiede, ympäristö ja työterveys
 - o Liikuntatiede
 - o Hoitotiede
 - o Farmasia
 - o Lääketieteen bioteknologia
 - o Oikeuslääketiede ja muut lääketieteet
- **Maataloustieteet ja metsätieteet**
 - o Maatalous- ja metsätieteet
 - Maataloustiede
 - Metsätiede
 - o Kotieläintiede, maitotaloustiede
 - o Eläinlääketiede
 - o Maatalouden bioteknologia
 - o Muut maataloustieteet
- **Yhteiskuntatieteet**
 - o Kansantaloustiede
 - o Liiketaloustiede
 - o Oikeustiede
 - o Sosiaalitieteet
 - Sosiologia
 - Sosiaali- ja yhteiskuntapolitiikka
 - o Psykologia
 - o Kasvatustieteet
 - o Valtio-oppi, hallintotiede
 - o Mediatieteet ja viestintätieteet
 - o Yhteiskuntamaantiede, talusmaantiede
 - o Muut yhteiskuntatieteet
- **Humanistiset tieteet**
 - o Filosofia
 - o Kielitieteet, kirjallisuus
 - Kielitieteet
 - Kirjallisuuden tutkimus
 - o Taiteiden tutkimus
 - Teatteri, tanssi, musiikki, muut esittävät taiteet
 - Kuvataide ja muotoilu
 - o Teologia
 - o Historia ja arkeologia
 - o Muut humanistiset tieteet



OHJAAMANI VÄITÖSKIRJAT

Taulukossa on esitetty ohjaamani väitöskirjat sekä oppilaiden ohjaamien väitöskirjojen eli jälkeläisten määrä. Jälkeläisiä voi olla useammassa polvessa.

Taulukko 12. Ohjaamani väitöskirjat ja ohjattavieni jälkeläiset (tilanne 9/2024).

Nimi	Yliopisto	Vuosi	Oppilaitteni ohjaamat väitöskirjat
<i>Ruotsalainen Keijo</i>	Jyväskylän yliopisto	1987	1
<i>Tiihonen Timo</i>	Jyväskylän yliopisto and Université de Nice-Sophia Antipolis	1987	32
<i>Hara Veikko</i>	Jyväskylän yliopisto	1988	3
<i>Laitinen Erkki</i>	Jyväskylän yliopisto	1989	2
<i>Mäkinen Raino</i>	Jyväskylän yliopisto	1989	9
<i>Hokkanen Veli-Matti</i>	Jyväskylän yliopisto	1990	
<i>Mäkelä Marko</i>	Jyväskylän yliopisto	1990	11
<i>Männikkö Timo</i>	Jyväskylän yliopisto	1990	1
<i>Salmenjoki Kimmo</i>	Jyväskylän yliopisto	1991	
<i>Tai Xue-Cheng</i>	Jyväskylän yliopisto	1991	11
<i>Eljendy Ahmed</i>	Jyväskylän yliopisto	1992	
<i>Hämäläinen Jari</i>	Jyväskylän yliopisto	1993	13
<i>Miettinen Markku</i>	Jyväskylän yliopisto	1993	
<i>Miettinen Kaisa</i>	Jyväskylän yliopisto	1994	20
<i>Santanen Jukka-Pekka</i>	Jyväskylän yliopisto	1994	
<i>Tarvainen Pasi</i>	Jyväskylän yliopisto	1994	2
<i>Hiltunen Kai</i>	Jyväskylän yliopisto	1995	
<i>Kärkkäinen Tommi</i>	Jyväskylän yliopisto	1995	39
<i>Murgu Alexandru</i>	Jyväskylän yliopisto	1995	
<i>Niemistö Antti</i>	Jyväskylän yliopisto	1996	

LIITE 2/s. 2

Nimi	Yliopisto	Vuosi	Oppilaittteni ohjaamat väitöskirjat
<i>Risku Pekka</i>	Jyväskylän yliopisto	1996	
<i>Rossi Tuomo</i>	Jyväskylän yliopisto	1996	3
<i>Heikkola Erkki</i>	Jyväskylän yliopisto	1997	2
<i>Hokkanen Joonas</i>	Jyväskylän yliopisto	1997	
<i>Korotov Sergey</i>	Jyväskylän yliopisto	1997	
<i>Liu Liping</i>	Jyväskylän yliopisto	1997	
<i>Toivanen Jari</i>	Jyväskylän yliopisto	1997	7
<i>Kuzmin Dimitri</i>	Jyväskylän yliopisto	1999	14
<i>Hirvonen Kullervo</i>	Jyväskylän yliopisto	2001	
<i>Saarinen Kari</i>	Jyväskylän yliopisto	2001	
<i>Smolianski Anton</i>	Jyväskylän yliopisto	2001	
<i>Akimov Vladimir</i>	Jyväskylän yliopisto	2002	
<i>Kovalainen Mikko</i>	Jyväskylän yliopisto	2002	
<i>Seyukova-Rivkind Ludmila</i>	Jyväskylän yliopisto	2002	
<i>Virtanen Pauli</i>	Jyväskylän yliopisto	2002	
<i>Saalisti Sami</i>	Jyväskylän yliopisto	2003	
<i>Dementieva Maria</i>	Jyväskylän yliopisto	2004	1
<i>Frolov Maxim</i>	Jyväskylän yliopisto	2004	
<i>Kalvin Viktor</i>	Jyväskylän yliopisto	2004	1
<i>Kujala Janne</i>	Jyväskylän yliopisto	2004	
<i>Solbakov Viatcheslav</i>	Jyväskylän yliopisto	2004	
<i>Kärkkäinen Kari</i>	Jyväskylän yliopisto	2005	
<i>Matyukevich Sergey</i>	Jyväskylän yliopisto	2005	
<i>Nevala Kalevi</i>	Jyväskylän yliopisto	2005	
<i>Kohvakko Natalia</i>	Jyväskylän yliopisto	2006	
<i>Turchyn Pavlo</i>	Jyväskylän yliopisto	2006	

LIITE 2/s. 3

Nimi	Yliopisto	Vuosi	Oppilaitteni ohjaamat väitöskirjat
<i>Zhovtobryukh Dmytro</i>	Jyväskylän yliopisto	2006	
<i>Ruohonen Toni</i>	Jyväskylän yliopisto	2007	1
<i>Gorshkova Elena</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	
<i>Kuznetsov Nikolay</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	17
<i>Laitila Erkki</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	
<i>Nousiainen Tuula</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	
<i>Pavlova Yulia</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	
<i>Pozharskii Alexey</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	
<i>Sarafanov Oleg</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	
<i>Valkonen Tuomo</i>	Jyväskylän yliopisto	2008	
<i>Kudryashova Elena</i>	Jyväskylän yliopisto	2009	
<i>Häkkinen Markku</i>	Jyväskylän yliopisto	2010	
<i>Pennanen Anssi</i>	Jyväskylän yliopisto	2010	
<i>Puurtinen Tuomas</i>	Jyväskylän yliopisto	2010	
<i>Jeronen Juha</i>	Jyväskylän yliopisto	2011	2
<i>Kuznetsova Olga</i>	Jyväskylän yliopisto	2011	
<i>Mali Olli</i>	Jyväskylän yliopisto	2011	
<i>Nikitin Sergiy</i>	Jyväskylän yliopisto	2011	
<i>Puranen Tuukka</i>	Jyväskylän yliopisto	2011	
<i>Skrypnyk Iryna</i>	Jyväskylän yliopisto	2011	
<i>Tuovinen Tero</i>	Jyväskylän yliopisto	2011	1
<i>Iqbal Ahmer</i>	Jyväskylän yliopisto	2012	
<i>Kabardov Muaed</i>	Jyväskylän yliopisto	2012	
<i>Kurkinen Erkki</i>	Jyväskylän yliopisto	2012	1
<i>Leskinen Jyri</i>	Jyväskylän yliopisto	2012	
<i>Vagaytsev Vladimir</i>	Jyväskylän yliopisto	2012	

LIITE 2/s. 4

Nimi	Yliopisto	Vuosi	Oppilaitteni ohjaamat väitöskirjat
<i>Wang Hong</i>	Jyväskylän yliopisto	2012	
<i>Zaidenberg Nezer</i>	Jyväskylän yliopisto	2012	5
<i>Kiseleva Maria</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	
<i>Pölönen Ilkka</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	5
<i>Saksa Tytti</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	
<i>Solovyeva Elena</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	
<i>Wolf Guy</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	
<i>Yuldashev Marat</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	
<i>Yuldashev Renat</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	1
<i>Zaretskiy Alexander</i>	Jyväskylän yliopisto	2013	
<i>Anjam Immanuel</i>	Jyväskylän yliopisto	2014	
<i>Kurki Matti</i>	Jyväskylän yliopisto	2014	
<i>Puupponen Hannu-Heikki</i>	Jyväskylän yliopisto	2014	
<i>Rajamäki Jyri</i>	Jyväskylän yliopisto	2014	1
<i>Salhov Moshe</i>	Jyväskylän yliopisto	2014	
<i>Shabat Gil</i>	Jyväskylän yliopisto	2014	
<i>Hyvönen Harri</i>	Jyväskylän yliopisto	2015	
<i>Kiperberg Michael</i>	Jyväskylän yliopisto	2015	
<i>Matculevich Svetlana</i>	Jyväskylän yliopisto	2015	
<i>Poretckii Aleksandr</i>	Jyväskylän yliopisto	2015	
<i>Rotbart Aviv</i>	Jyväskylän yliopisto	2015	
<i>Tirronen Maria</i>	Jyväskylän yliopisto	2015	
<i>Aleksandrov Konstantin</i>	Jyväskylän yliopisto	2016	
<i>Kuula Jaana</i>	Jyväskylän yliopisto	2016	
<i>Kyppö Jorma</i>	Jyväskylän yliopisto	2016	
<i>Mokaev Timur</i>	Jyväskylän yliopisto	2016	1

LIITE 2/s. 5

Nimi	Yliopisto	Vuosi	Oppilaitteni ohjaamat väitöskirjat
<i>Nakari Pentti</i>	Jyväskylän yliopisto	2016	
<i>Nokka Marjaana</i>	Jyväskylän yliopisto	2016	
<i>Resh Amit</i>	Jyväskylän yliopisto	2016	
<i>Gavriushenko Mariia</i>	Jyväskylän yliopisto	2017	
<i>Heikkinen Juh</i>	Jyväskylän yliopisto	2017	
<i>Naveed Kashif</i>	Jyväskylän yliopisto	2017	
<i>Stankevich Nataliya</i>	Jyväskylän yliopisto	2017	
<i>Wilén Lauri</i>	Jyväskylän yliopisto	2017	
<i>Keto Mauno</i>	Jyväskylän yliopisto	2018	
<i>Aizenbud Yariv</i>	Jyväskylän yliopisto	2019	
<i>Eskelinen Matti</i>	Jyväskylän yliopisto	2019	
<i>Hummelholm Aarne</i>	Jyväskylän yliopisto	2019	
<i>Ifinedo Eloho</i>	Jyväskylän yliopisto	2019	
<i>Kari Martti</i>	<i>Jyväskylän yliopisto</i>	<i>2019</i>	
<i>Kenttälä Veera</i>	Jyväskylän yliopisto	2019	
<i>Leon Roe</i>	Jyväskylän yliopisto	2019	
<i>Mokaev Ruslan</i>	Jyväskylän yliopisto	2019	
<i>Annala Leevi</i>	Jyväskylän yliopisto	2020	
<i>Braithwaite Billy</i>	Jyväskylän yliopisto	2020	
<i>Moilanen Hannu</i>	Jyväskylän yliopisto	2020	
<i>Pöyhönen Jouni</i>	Jyväskylän yliopisto	2020	
<i>Ben-Yehuda Raz</i>	Jyväskylän yliopisto	2021	
<i>Blagov Mikhail</i>	Jyväskylän yliopisto	2021	
<i>Kovanen Tiina</i>	Jyväskylän yliopisto	2021	
<i>Rauhala Juhani</i>	Jyväskylän yliopisto	2021	
<i>Soininen Jukka</i>	Jyväskylän yliopisto	2021	

Nimi	Yliopisto	Vuosi	Oppilaitteen ohjaamat väitöskirjat
<i>Heinonen Henri</i>	Jyväskylän yliopisto	2022	
<i>Simola Jussi</i>	Jyväskylän yliopisto	2022	
<i>Akhtar Waleed</i>	Jyväskylän yliopisto	2023	
<i>Jaubiainen Susanne</i>	Jyväskylän yliopisto	2023	
<i>Mähönen Jaana</i>	Jyväskylän yliopisto	2023	
<i>Rautiainen Ilkka</i>	Jyväskylän yliopisto	2024	
<i>Tatiana Alekseeva</i>	Lappeenrannan Teknillinen yliopisto	2024	
<i>Mikhail Lobachev</i>	Lappeenrannan Teknillinen yliopisto	2024	

■ ■ ■

North Dakota State University ylläpitää yhdessä American Mathematical Society (AMS) kanssa maailmanlaajuisia listoja matemaattisten alojen väitöskirjojen ohjaajista (*Mathematics Genealogy Project*). Lista *Top 11* väitöskirjojen ohjaajista on esitetty taulukossa 10 sivulla 75.

Taulukko 13. TOP 76 väitöskirjojen ohjaajat

Nimi	Ohjauksessa väitelleitä
<i>C.-C. Jay Kuo</i>	173
<i>Egbert Havinga</i>	143
<i>Pekka Neittaanmäki</i>	132
<i>Roger Meyer Temam</i>	130
<i>Shlomo Noach (Stephen Ram) Sawilowsky</i>	111
<i>Andrew Bernard Whinston</i>	109
<i>Alexander Vasil'evich Mikhalev</i>	101
<i>Willi Jäger</i>	100
<i>Ronold Wyeth Percival King</i>	100
<i>Erol Gelenbe</i>	96
<i>Leonard Salomon Ornstein</i>	95
<i>Kurt Mehlhorn</i>	95
<i>Dimitris John Bertsimas</i>	93
<i>Ludwig Prandtl</i>	91
<i>Yurii Alekseevich Mitropolsky</i>	90
<i>Bart De Moor</i>	88
<i>Rudiger W. Dornbusch</i>	85
<i>Wolfgang Karl Härdle</i>	85
<i>Olivier Jean Blanchard</i>	82
<i>Andrei Nikolayevich Kolmogorov</i>	82
<i>Selim Grigorievich Krein</i>	82
<i>David Garvin Moursund</i>	82
<i>Sergio Albeverio</i>	81

Nimi	Ohjauksessa väitelleitä
<i>Stefan Jähnichen</i>	81
<i>Richard J. Eden</i>	80
<i>Bruce Ramon Vogeli</i>	80
<i>Arnold Zellner</i>	79
<i>Charles Ehresmann</i>	78
<i>David Hilbert</i>	78
<i>Johan F. A. K. van Benthem</i>	78
<i>Daron Kamer Acemoglu</i>	77
<i>Egon Krause</i>	77
<i>Thomas Kailath</i>	76
<i>Michael Irwin Jordan</i>	75
<i>Wilhelm Magnus</i>	75
<i>Lars-Erik Persson</i>	75
<i>Tze Leung Lai</i>	74
<i>Simon Asher Levin</i>	74
<i>Shing-Tung Yau</i>	74
<i>Holm Altenbach</i>	73
<i>Neil Andrew Davidson</i>	73
<i>Robert Merton Solow</i>	73
<i>Béla Bollobás</i>	72
<i>Beno Eckmann</i>	72
<i>Edward Joseph McCluskey, Jr.</i>	72
<i>Jean-Claude Nédélec</i>	72
<i>Terence Paul Speed</i>	72
<i>David Beauregard Bogy</i>	71
<i>Cornelis Jacobus Gorter</i>	71
<i>Eric Stark Maskin</i>	70

Nimi	Ohjauksessa väitelleitä	
<i>Robert Wayne Newcomb</i>	70	
<i>Albert Nikolayevich Shiryaev</i>	70	
<i>Wolfgang Wahlster</i>	70	
<i>Manfred Broy</i>	69	
<i>Peter Lukas Bühlmann</i>	69	
<i>Joost Nico Kok</i>	69	
<i>Rainer Nagel</i>	69	
<i>Anatoliy Mikhailovich Samoilenko</i>	69	
<i>Julian Seymour Schwinger</i>	69	
<i>Leonard Eugene Dickson</i>	68	
<i>Dale Weldeau Jorgenson</i>	68	
<i>Jürgen Jost</i>	68	
<i>C. Felix (Christian) Klein</i>	68	
<i>K. J. Ray Liu</i>	68	
<i>Alfio Quarteroni</i>	68	
<i>Min Xie</i>	68	
<i>Wayne Arthur Fuller</i>	67	
<i>Peter Charles Bonest Phillips</i>	67	
<i>J. (Jon) Peter May</i>	66	
<i>David Harold Blackwell</i>	65	
<i>Heinz-Gerd Hegering</i>	65	
<i>Hubert Stanley Wall</i>	65	
<i>Hein I. Waterman</i>	65	
<i>Wei Zhu</i>	65	
<i>Peter John Bickel</i>	64	
<i>David Roxbee Cox</i>	64	

KUVAT / LUVUT 2–8

Luku	Kuva No	Sivu no
2	Kuva 1.	Väitöskirjani etusivu. 12
	Kuva 2.	Tieteen kolme paradigmaa. 15
	Kuva 3.	Laskennallisten tieteiden hyödyntäminen eri aloilla. 16
	Kuva 4.	Tekoäly ja johdannaisteknologiat (/32/). 17
3	Kuva 5.	Tutkijakoulutuksen kehittämissohjelman kansi. 22
	Kuva 6.	COMAS-tutkijakoulun toimintaraportti vuodelta 2002. 23
	Kuva 7.	Aggora Center valmistui ja aloitti toimintansa 15.6.2006. 28
	Kuva 8.	Aggora Center, Martti Ahtisaaren salin aula. 28
	Kuva 9.	Kuvassa kesäkoulun juliste. 32
4	Kuva 10.	Laskennallinen prosessi. 34
	Kuva 11.	Kansainvälinen yhteistyöverkosto. 36
6	Kuva 12.	Tutkijankoulutuksen eri kanavat. 51
7	Kuva 13.	Tyypin 1 väitöskirja (/30/). 58
	Kuva 14.	Tyypin 2 väitöskirja (/30/). 58
	Kuva 15.	Tyypin 3 väitöskirja (/30/). 61
	Kuva 16.	Tyypin 4 väitöskirja (/30/). 61
	Kuva 17.	Väitöskirjan ohjausmalli (/30/). 62
	Kuva 18.	Uuden tiedon luomisen malli (/30/). 63
	Kuva 19.	Vaaka-akseli kuvaa mallin kolme vaihetta: etsintä, läpimurto ja asteittainen eteneminen. Pystyakseli kuvaa idean vaikutusta yhteisöön (/3,24/). 64
	Kuva 20.	Ideoiden A, B, C ja D vaikuttavuus suhteessa panostuksiin (/3,24/). 65
	Kuva 21.	Tutkijoiden siirtyminen riskialttiista alkuvaiheen tutkimuksesta lyhyen tähtäimen tutkimuskäytäntöihin (/3,24/). 66
8	Kuva 22.	Jyväskylän yliopiston vanha juhlasali. 76
	Kuva 23.	Pekka Neittaanmäki toimi promoottorina vuoden 2016 promootiossa. 76
KUVAT LUKU 10		Sivu no
	Kuva 24.	Tieteen neljä paradigmaa. 187
	Kuva 25.	Tieteen neljäs paradigma. Kuvassa on hahmoteltu teoreettisen, kokeellisen sekä laskennallisen tieteen muodostamaa kokonaisuutta tutkijan näkökulmasta. 187
	Kuva 26.	Perinteinen tapa tehdä kokeellista tutkimusta. 188
	Kuva 27.	Tekoälytuettu tapa tehdä kokeellista tutkimusta. 188
	Kuva 28.	Tutkijan monet mahdollisuudet. Eri tutkimusmenetelmien vuorovaikutus tiedeyhteisössä. 189
	Kuva 29.	Havainnollistaa laskentateknologian ja eri menetelmäteknologioiden kehitystä. Laskenta-algoritmit ovat kehittyneet hyödyntämään eri laskentalaitteita taskulaskimesta kvanttietokoneeseen. 189
	Kuva 30.	Havainnollistaa laskentalaitteiden ja -menetelmien kehitystä. 190
	Kuva 31.	Kognitiotiede sekä ihmisen ja teknologian vuorovaikutustutkimus Jyväskylän yliopistossa. 206
Takakannen kuva. Pekka Neittaanmäki puhumassa 2016 maisteri- ja tohtoripromootiossa.		

TAULUKOT

Taulukko No	Sivu no
Taulukko 1. Yliopistojen rahoitus, tohtorintutkinnot ja lisäkoulutuspaikkojen määrä	43
Taulukko 2. Yliopistojen rahoituksen, tohtorintutkintojen ja lisäkoulutuspaikkojen osuudet	44
Taulukko 3. Yliopistojen lisäkoulutuspaikkojen määrän suhde toiminnan volyymiin	45
Taulukko 4. Opiskelijamäärät ja tutkinnot 2001–2022	48
Taulukko 5. Väitelleiden työttömyystilanne aloittain vuonna 2021 (/4,9/)	49
Taulukko 6. T&K-panostukset suhteessa BKT:een maakunnittain vuosina 2017–2021 (/6,11/)	55
Taulukko 7. Jyväskylässä järjestetyt laskennallisten tieteiden konferenssit (/30/)	68
Taulukko 8. Tähän mennessä ryhmässäni väitelleistä on edennyt professorin tehtäviin	71
Taulukko 9. Tähän mennessä ryhmässäni väitelleistä on edennyt dosentin tehtäviin	73
Taulukko 10. Top 11 väitöskirjan ohjaajat (/30/)	75
Taulukko 11. Kognitiivinen tekoälyn ja tekoälyn vertailu	192
Taulukko 12. Ohjaamani väitöskirjat ja ohjattavieni jälkeläiset (<i>tilanne 9/2024</i>)	209
Taulukko 13. TOP 76 väitöskirjojen ohjaajat	215

SUOMI TARVITSEE YHÄ ENEMMÄN HUIPPUOSAAJIA: MITEN TUTKIJAKOULUTUSTA TULISI KEHITTÄÄ?



Kuva: Pajunen Kari/maaila

Pekka Neittaanmäki (s. 1951) on toiminut tietotekniikan professorina Jyväskylän yliopistossa sekä Unesco professorina.

Kansallinen tavoite on nostaa tutkimus ja kehitystoiminnan panostukset kolmesta prosentista BKT:stä neljään prosenttiin. Tarvitaan tuhansia uusia tutkijoita joilla on tutkijakoulutus. Tämän takia OKM on antanut lisärahoitusta yliopistoille 1000 tohtorin kouluttamiseen lähivuosina.

Tässä kirjassa kerrotaan tekijän omista kokemuksista 132 tohtorin kouluttamisessa sekä kuinka tutkijakoulutusta tulisi kehittää väitöskirjan tekemisen eri vaiheissa ja urasuunnittelussa.

Kirjan toisessa osassa kirjoittajan oppilaat kertovat kokemuksistaan opintojensa eri vaiheissa, kuinka he hakeutuivat jatko-opiskelijoiksi ja miten väitöskirjan tekeminen eteni ja miten väittely vaikutti heidän työuraan.

Kirjan kolmas osa koostuu yhteistyökumppaneiden puheenvuoroista sekä tieteen uusien paradigmojen esittelystä ja tutkijakoulutusta tukeneista kehittämishankkeista.