

Opista tieteeksi – Suomen tietojenkäsittelytieteiden historia

Jukka Paakki

| | |
|--|---|
| Julkaisija: | |
| Tietojenkäsittelytieteen Seura ry | |
| Tekijät (työryhmässä sen nimi, puheenjohtaja ja sihteeri) | |
| Jukka Paakki | |
| Julkaisun nimi: | Julkaisun laji: |
| Opista tieteen – Suomen tietojenkäsittelytieteiden historia | Historiateos |
| Tiivistelmä: | |
| <p>Tietojenkäsittelyoppi-niminen oppiaine tuli Suomen yliopistoihin ja korkeakouluihin 1960-luvulla. Suomen ensimmäinen tietojenkäsittelyopin laitos ja professorinvirka perustettiin Tampereen yliopiston edeltäjään, Yhteiskunnalliseen korkeakouluun vuonna 1965. 1960-luvulla tietojenkäsittelyopin opetus käynnistettiin myös Helsingin yliopistossa, Jyväskylän yliopistossa, Teknillisessä korkeakoulussa, Oulun yliopistossa ja Turun yliopistossa. Alkuvuosina toiminta painotui yhteiskunnan tarvitsemien asiantuntijoiden koulutukseen, kunnes 1970-luvulla käynnistyi myös tietojenkäsittelyopin tieteellinen tutkimustoiminta. Tieteenala laajeni nopeasti siinä määrin, että se profiloitui kolmeksi luonteeltaan erityyppiseksi haaraksi, joita ryhdyttiin 1990-luvulla kutsumaan tietojenkäsittelytieteeksi, tietotekniikaksi ja tietojärjestelmätieteeksi, yhteiseltä nimeltään tietojenkäsittelytieteet.</p> <p>Tässä teoksessa käydään läpi Suomen tietojenkäsittelytieteiden opetuksen ja tutkimuksen historiaa 1960-luvulta aina nykypäiviin saakka. Kuvauksessa nostetaan esiin paitsi alan akateemisen koulutuksen ensimmäisiä linjauksia ja tieteellisen tutkimustoiminnan päätuloksia myös opetuksen ja tutkimuksen keskeisiä uranuurtajia. Teoksessa käydään läpi myös alan opetukseen ja tutkimukseen kohdistettuja arviointeja samoin kuin tietojenkäsittelytieteiden kotimaista yhteisöä edustavan, vuonna 1982 perustetun Tietojenkäsittelytieteen Seuran toimintaa.</p> | |
| Asiasanat: | |
| tietojenkäsittelytiede, tietotekniikka, tietojärjestelmätiede, historia | |
| ISBN: | |
| 978-952-93-4181-8 (nid.) 978-952-93-4182-5 (PDF) | |
| Kokonaissivumäärä: | Kieli: |
| 250 | Suomi |
| Muut tiedot: (taittaja, kuvaaja, painopaikka ja painovuosi) | Verkkoaineiston osoite: |
| Taitto: Oona Loman Unigrafia 2014 | http://www.tkts.fi/historia |

Opista tieteeksi – Suomen tietojenkäsittelytieteiden historia



978-952-93-4181-8 (nid.)

978-952-93-4182-5 (PDF)

Helsinki 2014

<http://www.tkts.fi/historia>

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|-----------|
| ESIPUHE | 8 |
| I SUOMEN TIETOJENKÄSITTELYTETEIDEN SYNTY..... | 10 |
| 1. MATEMATIIKKAKONEET JA AUTOMAATTINEN TIETOJENKÄSITTELY..... | 10 |
| Maailman ensimmäiset tietokoneet..... | 10 |
| Suomen ensimmäiset tietokoneet..... | 12 |
| Suomen yliopistojen ensimmäiset tietokoneet..... | 16 |
| Atk-koulutuksen käynnistyminen..... | 18 |
| Atk-teollisuuden synty..... | 20 |
| 2. YHTEISKUNNALLINEN KORKEAKOULU JA TAMPEREEN YLIOPISTO | 21 |
| 3. HELSINGIN YLIOPISTO..... | 28 |
| 4. JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO | 31 |
| 5. TEKNILLINEN KORKEAKOULU..... | 35 |
| 6. OULUN YLIOPISTO | 38 |
| 7. TURUN YLIOPISTO..... | 41 |
| 8. MUUT YLIOPISTOT JA TUTKIMUSLAITOKSET..... | 43 |
| Tampereen teknillinen korkeakoulu | 44 |
| Åbo Akademi | 44 |
| Helsingin kauppakorkeakoulu..... | 45 |
| Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu..... | 45 |
| Kuopion yliopisto..... | 46 |
| Turun kauppakorkeakoulu..... | 46 |
| Joensuun yliopisto | 47 |
| Vaasan yliopisto | 47 |
| Svenska handelshögskolan..... | 47 |
| VTT | 48 |
| Nokia Research Center | 49 |
| II SUOMEN TIETOJENKÄSITTELYTETEIDEN TUTKIMUS..... | 51 |
| 9. TUTKIMUSTOIMINNAN KÄYNNISTÄMINEN..... | 51 |
| 10. TEOREETTINEN TIETOJENKÄSITTELYTIEDE (THEORY OF COMPUTATION) ... | 59 |
| Formaalit kielet ja automaattit..... | 61 |
| Algoritmit..... | 66 |
| Vaativuusteoria | 69 |
| 11. ÄLYKKÄÄT JA OPPIVAT MENETELMÄT (COMPUTING METHODOLOGIES) ... | 71 |
| Neuroverkot..... | 72 |
| Koneoppiminen | 79 |
| Konenäkö..... | 82 |
| 12. MATEMAATTINEN TIETOJENKÄSITTELYTIEDE (MATHEMATICS OF COMPUTING)..... | 85 |
| Aritmeettinen koodaus | 85 |
| MDL | 87 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 13. | OHJELMISTOTEKNIikka (SOFTWARE AND ITS ENGINEERING) | 92 |
| | Metakääntäjät | 93 |
| | Ohjelmointikielet..... | 96 |
| | Ohjelmien semantiikka..... | 96 |
| | Ohjelmistoarkkitehtuurit | 100 |
| | Ohjelmistoprosessit..... | 100 |
| | Linux | 102 |
| 14. | LAITTEISTOTEKNIikka (HARDWARE) | 103 |
| | Tietokoneet..... | 103 |
| | Digitaalinen signaalinkäsittely..... | 104 |
| | Vihreä ICT | 107 |
| 15. | TIETOJÄRJESTELMÄTIEDE (SOCIAL AND PROFESSIONAL TOPICS) | 110 |
| | Skandinaavinen koulukunta | 111 |
| | Tietohallinto..... | 113 |
| | Tietojärjestelmien epäonnistumiset ja riskit | 114 |
| 16. | TIEDONHALLINTA (INFORMATION SYSTEMS) | 119 |
| | Tietokannat..... | 120 |
| | Tiedonhaku ja tekstietokannat | 121 |
| | Tiedonlouhinta | 122 |
| | Semanttinen web..... | 129 |
| 17. | TIETOLIIKENNEVERKOT (NETWORKS) | 131 |
| | Tietoverkot ja Internet | 131 |
| | Protokollat | 133 |
| | Liikkuva tietojenkäsittely | 136 |
| 18. | IHMISEN JA TEKNOLOGIAN VUOROVAIKUTUS (HUMAN-CENTERED COMPUTING)..... | 137 |
| | Visualisointi | 138 |
| | Käyttöliittymät..... | 140 |
| | Ihmisen ja koneen yhteistyö | 145 |
| 19. | TIETOKONEARKKITEHTUURIT (COMPUTER SYSTEMS ORGANIZATION)..... | 147 |
| | Rinnakkaislaskenta | 147 |
| | Kvanttilaskenta | 149 |
| 20. | TIETOTURVA (SECURITY AND PRIVACY)..... | 149 |
| | Kryptografia..... | 151 |
| | Kryptoanalyysi..... | 153 |
| 21. | SOVELLETUT TIETOJENKÄSITTELYTIEDEET (APPLIED COMPUTING)..... | 159 |
| | Tietokonemusiikki | 159 |
| | Bioinformatiikka | 160 |
| | Kieliteknologia..... | 164 |
| | Laskennallinen luovuus | 164 |
| | Tietojenkäsittelytieteen opetus..... | 166 |
| | Ohjelmistoliiketoiminta..... | 167 |

| | | |
|------------|---|------------|
| III | SUOMEN TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAATU..... | 169 |
| 22. | ARVIOINNIT | 169 |
| | Tieteenala-arviointi 1989–1990..... | 169 |
| | Suomen tieteen tila ja taso | 172 |
| | Tieteenala-arviointi 2007 | 180 |
| | Koulutusala-arviointi 1999–2000 | 183 |
| 23. | HUIPPU- JA LAATUYKSIKÖT | 185 |
| | Lounasmaan raportti | 186 |
| | Tutkimuksen huippuyksiköt | 189 |
| | Yliopistokoulutuksen laatuysiköt | 192 |
| | Tutkijankoulutusohjelmat | 197 |
| | Tutkijakoulut..... | 199 |
| 24. | KUKA KUKIN ON..... | 202 |
| IV | SUOMEN TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN YHTEISÖ | 213 |
| 25. | TIETOJENKÄSITTELYTIETEEN SEURA..... | 213 |
| | Tietotekniikan liitto | 213 |
| | Seuran perustaminen | 215 |
| | Seuran toiminta | 217 |
| | Palkinnot | 218 |
| | Tietojenkäsittelytiede-lehti | 221 |
| | Puuhamiehet ja -naiset..... | 223 |
| | Opista tieteeksi ja tekniikaksi | 225 |
| V | Yhteenveto | 229 |
| | Lähteet | 232 |
| | Henkilöhakemisto | 243 |
| | Liite: Suomen tietojenkäsittelytieteiden laitokset 2013 | |

ESIPUHE

Tietojenkäsittelytieteen Seuran puheenjohtaja Hannakaisa Isomäki otti minuun yhteyttä syksyllä 2011 kysyen, olisinko halukas kirjoittamaan Seuran lähestyvän 30-vuotissyntymäpäivän kunniaksi Suomen tietojenkäsittelytieteiden historiikin. Kysymystä hetkisen puntaroituaani lupasin ottaa haasteen vastaan, olinhan itsekin kaipaillut jonkinlaista kokonaiskuvaa oman tiedeyhteisöni historiasta ja tilasta. Hahmottelin pikaisesti ruutupaperille historiikin pääsisältöä ja päädyin sen perusteella lupaamaan, että näillä ylivertaisilla tiedoilla ja kyvyillä varustettu kirjailija saisi moisen teoksen valmiiksi vuodessa. Kuten aina muulloinkin, yliarvioin kaksinkertaisesti omat kykyni ja aikaa kului lopulta pari vuotta.

Onneksi viivästyminen löytyy useita Hyviä Syitä. Olen pystynyt edistämään historiikkaa ainoastaan oman toimeni ohella eli kovin satunnaisesti ja pätkätyönä. Paneuduttuani tehtävään minut yllätti sen laajuus: Suomessa(kin) on tutkittu lähes kaikkea sekä enemmän että vähemmän tietojenkäsittelytieteisiin liittyvää, jolloin oleellisen erottaminen massasta osoittautui yllättävän työlääksi. Lisäksi, koska päätin ainakin yrittää kirjoittaa tutkimuksesta myös jotakin varsinaista asiaa, tulin perehtyneeksi mitä erilaisimpiin tutkimusaiheisiin ja -tuloksiin. Vaikka minulla onkin Suomen parasta laatua oleva tieteellinen pohjakoulutus, osoittautui vieraisiin aiheisiin tutustuminen minulle kovin hankalaksi ja aikaa vieväksi tehtäväksi.

Tuosta viimeisestä ongelmasta sysään surutta syytä myös tutkijakunnalle: olen joutunut lukemaan suuren määrän mitä käsittämättömiä formaaliin kaapuun puettuja tieteellisiä sepustuksia, joista ei ota selvää erkkikään. Tähän empiiriseen kokemukseen perustuen voin vakuuttaa, että tieteen popularisointi ei ole suomalaisten tietojenkäsittelytieteiden tutkijoiden parhaimpia taitoja. Onneksi sain lukea myös useita selkeästi mutta samalla täydellisen täsmällisesti kirjoitettuja julkaisuja, joista tutkimuksen pihvi selviää kertalukemisella. Kehotankin kaikkia nuoria alan tutkijoita perehtymään esimerkiksi Yrjö Neuvon ja Arto Salomaan tuotantoon ja ottamaan siitä mallia omalle tieteelliselle kirjoittamiselleen.

Muita helpohkosti avautuvia kuvauksia Suomessa tehdystä tutkimustyöstä löytyi erityisesti Seuran omasta *Tietojenkäsittelytiede*-lehdestä. Monesti parhaaksi lähteeksi osoittautui Wikipedia, jossa selitettiin monia vastaan tulleita asioita, käsitteitä ja tutkijoiden aikaansaannoksia yleisemmin ymmärrettävällä tavalla.

Suomessa on kirjoitettu valitettavan vähän yleiskatsauksia tietojenkäsittelytieteisiin tai niiden osa-alueisiin. Tällä saralla on laajemmin kunnostautunut ainoastaan Oulun yliopisto, jonka historian laitoksessa (nykyisin: ”oppiaineessa”) on ollut paikallisesta tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksesta ja opetuksesta kiinnostuneita tutkijoita. Toivottavasti tämä historiikki täyttää ainakin osittain tätä kansallista vajetta.

Historiikin alussa käydään läpi tietokoneiden ja automaattisen tietojenkäsittelyn yleisempää historiaa, minkä jälkeen siirrytään itse asiaan kertomalla tietojenkäsittelyoppi-nimisen akateemisen oppiaineen synnystä ja 1960-luvun pioneerilaitoksista. Sen jälkeen käydään teemoittain läpi suomalaisen tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksen historiaa ja merkkipaaluja. Esiin nostetaan myös kotimaisen tiedeyhteisömme arvostetuimpia edustajia kuvaamalla hieman laveammin paitsi heidän päätutkimustuloksiaan

myös henkilökuvina heidän uraansa. Sen jälkeen tarkastellaan tutkimuksen ja opetuksen laatua erilaisten arviointien ja rankingien avulla. Lopuksi käydään lyhyesti läpi Tietojenkäsittelytieteen Seuran historiaa ja toimintaa. Historiikin liitteenä on lähdeluettelon lisäksi henkilöhakemisto ja luettelo vuonna 2014 toiminnassa olleista tietojenkäsittelytieteiden laitoksista.

Vähentääkseni täydellistä puuta-heinää kirjoittamista minulle tuntemattomista asioista olen haastatellut useita tietojenkäsittelytieteiden asiantuntijoita, joista osa on lisäksi tarkistanut kirjoittamaani tekstiä. Haastattelemieni henkilöiden nimet löytyvät teoksen lähdeluettelosta. Tästä avusta lausun heille mitä suurimmat kiitokset. Lisäksi olen saanut täytettä tiedonaukkoihini ja muuta apua mm. Sami Kaskelta, Risto Nuutiselta, Roope Raisamolta, Sasu Tarkomalta, Hannu Toivoselta ja Arto Wiklalta.

Kaikesta avusta ja sinnikkästä lähteiden tankkaamisesta huolimatta tekstiin on varmasti jäänyt lukuisia virheitä. Pyydän tutkijoilta vilpittömästi anteeksi näitä virheitä ja pyydän heitä enempien sekaannusten välttämiseksi kirjoittamaan asiansa jatkossa vähän selvemmin.

Helsingissä 28.5.2014

Jukka Paakki
Helsingin yliopisto
Tietojenkäsittelytieteen laitos

I

SUOMEN

TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN

SYNTY

Laskennassa avustavien laitteiden historia alkaa helmitaaluista, joita käytettiin Mesopotamiassa jo noin 2500 vuotta eKr. Mekaanisia laskukoneita opittiin rakentamaan 1600-luvulla jKr. ja kortistojen käsittelyä helpottavia reikäkorttikoneita 1900-luvun alussa, mutta yleisempään automaattiseen tietojenkäsittelyyn tarvittavien tietokoneiden kehittäminen alkoi vasta toisen maailmansodan tienoilla, 1930- ja 1940-luvuilla. Automaattinen tietojenkäsittely eli atk alkoi kehittyä alalle syntynyttä työvoimantarvetta palvelevaksi akateemiseksi oppiaineeksi, tietojenkäsittelyopiksi, 1960-luvulla, ja Suomen ensimmäinen alan professorinvirka ja laitos perustettiin Tampereen yliopiston edeltäjään Yhteiskunnalliseen korkeakouluun vuonna 1965. 1960-luvun lopulla tietojenkäsittelyopin opetus käynnistettiin myös Helsingin yliopistossa, Jyväskylän yliopistossa, Teknillisessä korkeakoulussa, Oulun yliopistossa ja Turun yliopistossa, minkä jälkeen oppiaine levisi kaikkiin muihinkin Suomen yliopistoihin ja korkeakouluihin 1970- ja 1980-luvuilla.

1. MATEMATIIKKAKONEET JA AUTOMAATTINEN TIETOJENKÄSITTELY

Maailman ensimmäiset tietokoneet

Toisen maailmansodan aikaan lähinnä valtioiden sotilaalliseen käyttöön rakennetut tietokoneet kehittyivät 1940-luvulla nopeasti ja alkoivat 1950-luvulla saada jalansijaa myös tieteellisessä ja kaupallisessa käytössä. Maailman ensimmäisestä tietokoneesta ei vallitse absoluuttista yksimielisyyttä, koska se voidaan määritellä monilla eri tavoilla. Seuraavat koneet mainitaan kuitenkin yleisesti tietokoneiden historian virstanpylväinä:

- Ranskalaisen keksijän Joseph Marie Jacquardin vuonna 1801 esittelemä *Jacquard-kutomakone*. Kone ei suorittanut laskentaa, joten sitä ei voi luokitella tietokoneeksi. Kutomakonetta ohjattiin kuitenkin reikäkortteilla ja se oli ensimmäinen kaupallisesti menestynyt ohjelmitava laite.
- Englantilaisen matemaatikko-filosofin Charles Babbagen vuosina 1837–1871 suunnittelema mekaaninen ja höyryvoimalla käyvä *analyttinen kone* (Analytical Engine), jossa oli mm. keskusmuisti, aritmeettinen yksikkö sekä syöttö- ja tulostuslaite ja jota voitiin ohjelmoida omalla konekielellä. Konetta ei kuitenkaan koskaan saatu valmiiksi, joten se on jäänyt lähinnä historialliseksi kuriositeetiksi, jonka mainitsemalla voi osoittaa opiskelleensa yliopistossa.
- Ensimmäinen täysin elektroninen laskukone, vuonna 1937 valmistunut amerikkalainen *Atanasoff-Berry Computer* (ABC). Konetta ei kuitenkaan voinut ohjelmoida, joten sitäkään ei vielä tunnustettu täysiveriseksi tietokoneeksi.
- Saksalaisen Konrad Zusen keksimä, vuonna 1941 valmistunut Z3, joka oli ensimmäinen ohjelmitava binääriaritmetiikkaa käyttänyt laskukone. Ohjelmitavuutensa ansiosta Z3 on vahvin kandidaatti maailman ensimmäiseksi ”tietokoneeksi”. Alkuperäinen Z3 tuhoutui Berliinin pommituksessa vuonna 1943, mutta sen täydellinen kopio on ihailtavana Deutsches Museumissa Münchenissä.
- Brittiläiset *Colossus*-tietokoneet, joita käytettiin 2. maailmansodassa saksalaisten käyttämän salakirjoituksen murtamiseen. Ensimmäinen kaikkiaan kymmenestä Colossus-sarjan koneesta valmistui vuonna 1943. Colossus I oli maailman ensimmäinen ohjelmitava elektroninen tietokone (kun taas Z3 oli ”elektromekaaninen”).
- Harvardin yliopistossa vuonna 1944 käyttöön otettu IBM Automatic Sequence Controlled Calculator (ASCC), josta käytetään yleisemmin nimeä *Mark I*. Koneessa käytettiin sen edeltäjästä poiketen desimaali- eikä binäärijärjestelmää. Myös Mark I:n seuraaja, *Mark II*, on jättänyt jälkensä tietojenkäsittelytieteen historiaan, sillä tunnetun anekdootin mukaan alan pioneeri Grace Hopper keksi käyttää nimitystä ”bug” koneen releiden väliin jumittuneesta ötökästä, joka sai käynnissä olleen laskennan toimimaan virheellisesti.
- Vuonna 1946 valmistunut amerikkalainen *ENIAC* (Electronic Numerical Integrator And Computer), jota luonnehditaan maailman ensimmäiseksi täysin elektroniseksi ”yleiskäyttöiseksi” (general-purpose) tietokoneeksi. ENIAC oli jopa tuon ajan mittapuulla hirviö: se sisälsi mm. 17 468 elektroniputkea, painoi 27 tonnia, vei 167 m² lattiatilaa ja kulutti 150 kilowattia sähköä, mikä sai ”valot himmenemään koko Philadelphiassa”. Kilowatit eivät kuitenkaan menneet harakoille, sillä ENIAC kykeni suorittamaan sekunnissa 5000 yhteenlaskua, 357 kertolaskua tai 38 jakolaskua, mikä merkitsi tuhatkertaista parannusta suorituskyvyssä sen edeltäjiin verrattuna – ennätys, jota ei ole ainakaan toistaiseksi rikottu.
- Vuonna 1949 valmistunut brittiläinen *EDSAC* (Electronic Delay Storage Automatic Calculator), jossa ensi kertaa tallennettiin tietokoneen muistiin datan ohella myös ohjelmakoodi. EDSAC on tietotekniikan merkkipaalu sikäli, että

se on – ainakin väljästi tulkiten – ensimmäinen ns. von Neumann -arkkitehtuuriin perustuva tietokone. Tuon sittemmin tietokoneiden de facto -arkkitehtuuriksi muodostuneen ratkaisun oli unkarilaissyntyinen matemaatikko John von Neumann julkaissut vuonna 1945. Von Neumannin esittelemä tietokonearkkitehtuuri perustui käsitteellisesti puolestaan englantilaisen matemaatikon Alan Turingin vuonna 1936 luomaan teoreettiseen laskennan malliin, ns. Turingin koneeseen.

1940-luvun lopussa tietokoneita oli siis rajoitetussa käytössä siellä täällä, mutta ne olivat uniikkikappaleita eikä niitä niin ollen voinut ostaa. Ensimmäiseksi kaupalliseksi yleiskäyttöiseksi tietokoneeksi luokitellaan brittiläisen Ferranti-nimisen yrityksen tuottama *Ferranti Mark 1*, jonka ensimmäinen kappale toimitettiin Manchesterin yliopistolle helmikuussa 1951. Koska konetta ja sen paranneltua versiota (*Ferranti Mark 1**) onnistuttiin myymään ainoastaan yhdeksän kappaletta, voidaan ensimmäiseksi kaupalliseksi ”massatuotteeksi” nostaa sen sijaan maaliskuussa 1951 julkistettu amerikkalainen *UNIVAC I* (UNIVERSal Automatic Computer I), jota myytiin yhteensä 46 kappaletta. Jo seuraavana vuonna kehään astui tuleva suvereeni markkinajohtaja IBM, jonka ensimmäinen kaupallinen tietokone, *IBM 701*, julkistettiin huhtikuussa 1952.

Suomen ensimmäiset tietokoneet

1950-luvulla automaattista tietojenkäsittelyä eivät vielä hallinneet varsinaiset tietokoneet vaan niiden edeltäjät, reikäkorttikoneet. Jo 1800-luvun lopulta lähtien kehitetyillä mekaanisilla reikäkorttikoneilla pystyttiin lukemaan ja käsittelemään reikäkortteille tallennettua dataa, mutta niitä ei voinut tietokoneiden tapaan ohjelmoida. Vaikka itse reikäkorttikoneet jäivätkin varsin nopeasti niitä monipuolisempien tietokoneiden jalkoihin, osoittautuivat reikäkortit paremmin ajan hammasta kestäväksi innovaatioksi, käytettiinhän niitä pitkään myös tietokoneiden syöttö- ja tallennusmedianana.

Suomeen ensimmäiset reikäkorttikoneet tilattiin vuonna 1922 Tilastollisen Päätoimiston käyttöön. Niitä käytettiin erityisesti pankki- ja vakuutuslalla sekä valtion virastoissa mm. verotukseen, tilastointiin, kirjanpitoon ja palkanlaskentaan. Varsinkin 1950-luku oli reikäkorttikoneiden kulta-aikaa, kun manuaalista tietojen käsittelyä halettiin laajasti tehostaa automaation avulla. Vuosikymmenen loppupuolella alkoi kuitenkin maailmalta kuulua kummia, kun uuden sukupolven laitteet kuulemma tarjosivat aivan uudenlaisia käyttömahdollisuuksia.

Noita uusia ihmelaitteita kutsuttiin Suomessa ensi alkuun monenlaisilla nimillä. Englannin kielessä niistä käytettiin vakiintunutta termiä ”computer”, mutta ilmeisesti sen suora käännös ”laskuri” tai ”laskukone” ei miellyttänyt suomalaista korvaa, vaan haluttiin käyttää mieluummin termejä ”elektronilaskukone”, ”matematiikkakone”, ”numerokone”, ”elektroninen tietojenkäsittelykone”, ”elektroniaivot” ja ”sähköaivot”. 1950-luvun lopulla nämä kovin kömpelöt nimikkeet syrjäytti virtaviivaisempi ”tietokone”, jota ehdotti ilmeisesti ensimmäisenä suomalaisen filologian apulaisprofessori Aimo Turunen Suomen Akatemian kielilautakunnan kokouksessa 14.12.1959. (Turusella oli ilmeisen absoluuttinen kielikorva, sillä toinen hänen osuva suomennoksensa oli ”soft icen” kääntäminen ”samettijäätelöksi”.) Tietokone-termi sai virallisen aseman

26.10.1960, kun vuonna 1953 perustetun Reikäkorttiyhdistyksen nimi muutettiin Tietokoneyhdistykseksi. Samoihin aikoihin ryhdyttiin toimialasta käyttämään Suomessa yleisesti nimitystä ATK (automaattinen tietojenkäsittely).

Sodanjälkeisen ajan maailmanlaajuinen nopea tekninen kehitys saavutti 1950-luvulla siis myös Suomen, jossa haluttiin olla mukana kelkassa eikä jäädä vain sivusta katsojiksi. Tekniikkaa samoin kuin siihen liittyvä tiedettä ja tutkimusta ryhdyttiin yleisesti pitämään yhteiskunnallisen ja taloudellisen kehityksen edistäjinä, joihin näin ollen oli syytä panostaa enenevässä määrin myös valtion varoja. Niitä oli sodasta toipuvassa maassa niukasti, mutta tilanne oli sattumoisin vuonna 1954 aikaisempaa parempi, kun kohentuneen yleisen taloustilanteen ansiosta eduskunta myönsi valtion tieteellisille toimikunnille ensimmäistä kertaa siivun raha-arpajais- ja veikkausvoittovaroista.

Harvinaislaatuisten rahasateen voittajia olivat ne hankkeet, joita satuttiin esittämään tieteellisille toimikunnille keväällä 1954. Yksi nappiin ajoitetuista esityksistä oli Erkki Laurilan 21.3.1954 valtion luonnontieteelliselle toimikunnalle lähettämä kirje, jossa hän ehdotti kotimaisen asiantuntemuksen lisäämistä nopeasti kehittyvällä matematiikkakonealalla:

... Matematiikkakoneet ovat kuitenkin tieteelliselle ja tekniselle tutkimukselle avanneet nykyisin jo senlaatuista uusia mahdollisuuksia, että niitten olemassaolo nähdään jo meilläkin useissa yhteyksissä joko hyvin toivottavana tai suorastaan välttämättömänä... Meteorologian, teoreettisen fysiikan ja useitten teknillisten tieteitten alalla ovat yksityiset tutkijat usein esittäneet toivomuksiaan matematiikkakoneen käyttömahdollisuuksista... Nykyinen asiantuntemus matematiikkakonekysymyksissä on maassamme varsin vähäinen, jos haetaan henkilöitä, jotka koko laajuudessaan kysymystä hallitsisivat. Mutta erilaisissa tehtävissä on kuitenkin meillä jo käytännössäkin keräntynyt tiettyä kokemusta – merkittävimpänä on tällöin mainittava jo saadut kokemukset reikäkorttikoneiden käytöstä. Olisi nähdäkseni erittäin tärkeätä saada kerätyksi näin hankittu asiantuntemus yhteen ja tältä pohjalta koettaa löytää ne suuntaviivat, joitten mukaan kehitystä olisi johdettava eteenpäin.

Kirjeensä johtopäätöksenä Laurila ehdotti toimikunnan asettamista käsittelemään matematiikkakonekysymystä. Vaikka Laurila vetosikin Ruotsiin alan kehityksen yhtenä mallimaana, hän painotti kirjeessään nimenomaan Suomeen sopivien ratkaisujen etsimistä.

Erkki Laurila (20.8.1913–22.12.1998) oli vuonna 1945 virkaansa nimitetty Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan professori ja samalla VTT:n teknillisen fysiikan laboratorion johtaja, joka oli tutkimusryhmänsä kanssa mm. tutkimassa ja kehittämässä tuohon aikaan ajankohtaisia analogisia laskulaitteita eli analogiakoneita. Laurila siis tiesi, mistä kirjeessään kirjoitti. Hän oli myös aktiivinen teknologian puolestapuhuja ja tiedepoliittinen vaikuttaja, jonka kannanotoilla ja ehdotuksilla oli painoarvoa. Laurilan nauttimasta arvostuksesta on paras osoitus hänen nimittämisensä vuonna 1963 ensimmäisenä teknisten tieteiden edustajana (ns. vanhan) Suomen Akatemian akateemikon virkaan.

Tavanomaista löysemmin saatavilla olevan rahoituksen lisäksi Laurilan aloitteelle oli eduksi se, että valtion luonnontieteellisen toimikunnan puheenjohtajana toimi hänet hyvin tunteva Helsingin yliopiston kansleri Pekka Myrberg, joka harvinaisena visionäärinä matemaatikkona arveli, että matematiikkakoneista saatettaisiin saada hyötyä myös matematiikan tutkimukselle. Niinpä luonnontieteellinen toimikunta päätti jo parin viikon kuluttua, 13.4.1954, asettaa komitean kehittämään Laurilan suunnitelmaa. Tuon komeasti *matematiikkakonekomiteaksi* nimetyn ryhmän tehtäväksi annettiin ”selvittää Suomessa esiintyvää matematiikkakoneiden tarvetta ja mahdollisesti tehdä niiden hankkimista tai rakentamista koskevia ehdotuksia”. Koska komitea piti perustavan kokouksensa heti seuraavana päivänä Helsingin yliopiston kanslerin virkahuoneessa, tulkitaan tuo historiallinen päivämäärä 14.4.1954 useissa lähteissä Suomen automaattisen tietojenkäsittelyn syntymäpäiväksi.

Matematiikkakonekomitean puheenjohtajaksi kutsuttiin Suomen Akatemian jäsen, entinen Helsingin yliopiston rehtori ja tuleva Turun yliopiston kansleri, matematiikan professori Rolf Nevanlinna (22.10.1895–28.5.1980). Asiaan kuuluvana palkkiona aloitteen tekemisestä annettiin Erkki Laurilalle varapuheenjohtajan (ja sihteerin) paikka. Muiksi komitean jäseniksi nimettiin tähtitieteen professori Gustaf Järnefelt ja matematiikan dosentti Kari Karhunen Helsingin yliopistosta, lujuusopin professori Pentti Laasonen ja sovelletun matematiikan professori Evert J. Nyström Teknillisestä korkeakoulusta sekä puolustusvoimien edustajana kenraaliluutnantti Uolevi Poppius. Komitealle palkattiin myös oikeita työntekijöitä, joista tärkeimmiksi osoittautuivat diplomi-insinöörit Hans Andersin ja Tage Carlsson, teknikko Veikko Jormo, matemaatikko Ilppo Simo Louhivaara, apulaismatemaatikko Kaarina Oksanen ja matemaatikko Olli Varho.

Matematiikkakonekomitealle annettiin siis selvitystyön lisäksi valtuudet tehdä matematiikkakoneiden ”hankkimista tai rakentamista koskevia ehdotuksia”, ja kun rahaa alkoi kertyä riittävästi paitsi luonnontieteelliseltä toimikunnalta myös mm. opeusministeriöltä, Vakuutusyhtiö Salamalta, Oy Strömberg Ab:ltä ja Oy Siemens Sähkö Ab:ltä, tarttui komitea saman tien tuumasta toimeen. Kun komitean jäsenet olivat käyneet muutamassa sivistysmaassa tutustumassa tarjontaan, päädyttiin jo heinäkuussa 1954 ulkomailta hankkimisen (tai koneajan vuokraamisen) sijasta kunnianhimoisempaan ratkaisuun, eli rakentamaan kone omin voimin kotimaassa. Ratkaisua perusteltiin edullisuudella ja sillä, että samalla saataisiin koulutetuksi uuden tekniikan tarvitsemia ammattilaisia. Näistä jälkimmäinen perustelu kesti oivallisesti ajan hampaan, mutta ensimmäinen osoittautui vähintäänkin kyseenalaiseksi, kun projektin pitkittymisen takia oman koneen rakentaminen tuli lopulta huomattavasti arvioitua kalliimmaksi. IT-projektien aikataulun ja kustannusten hallinta on siis mennyt täysin pieleen jo alusta lähtien, joten historia toistaa aina vaan itseään.

Muutamasta vaihtoehdosta valittiin rakennettavaksi kopio Saksan Göttingenissä rakenteilla olleesta G1a-tyyppisestä koneesta. Suomalaisen kopion pääarkkitehtina toimi Tage Carlsson, jota voidaan siten pitää ensimmäisenä suomalaisena tietokoneinsinöörinä. Matematiikkakonekomitea antoi maamme ensimmäiselle omalle tietokoneelle kokouksessaan 17.3.1955 hienon suomalaisen nimen *ESKO*, joka jo tuohon aikaan omakсутun amerikkalaisen vitsauksen mukaisesti oli virallisesti lyhenne sanoista Elektroninen Sarja KOMPutaattori.

Alkuperäisten suunnitelmien mukaan Göttingenin G1a:n piti valmistua vuoden 1956 aikana ja sen suomalaisen kopion, ESKOn, keväällä 1957. Pioneerityö oli kuitenkin vaikeaa, joten G1a-koneen rakennustyö keskeytettiin tyystin ja ESKO valmistui vasta vuonna 1960. ESKO koostui 450 elektroniputkesta, 2000 puolijohdediodista, 220 ferriittirenkaasta sekä 4000 vastuksesta ja kondensaattorista, ja siihen oli liitetty 10 reikänauhanlukijaa ja 1840 sanan magneettinen rumpumuisti. ESKOa ohjelmointiin suoraan konekielellä, jossa oli 20 peruskäskyä, 11 aritmeettis-logista käskyä ja 9 syöttö-, tulostus- ja järjestelykäskyä, ja ohjelmat kirjoitettiin reikänauhalle. Erityinen ohjelmointi-innovaatio oli toistorakenne, joka saatiin toteutetuksi liimaamalla reikänauha konkreettisesti silmukkarakenteeksi. Koska ohjelmia ei tallennettu koneen sisäiseen muistiin, oli ESKOn laskentanopeus ainoastaan 20 yhteenlaskua sekunnissa, mikä osoittautui aivan liian hitaaksi käytännön töihin. Koska ESKO oli lisäksi epäluotettava, jäi sen käyttö lopulta kovin vähäiseksi.

ESKOn valmistumisen hämmöittäessä piti päättää, mihin se fyysisesti ja hallinnollisesti sijoitetaan. Koska hankkeen aktiivisimmat puuhamiehet (Andersin, Carlsson, Laurila) edustivat Teknillistä korkeakoulua, piti ESKO alun perin sijoittaa TKK:n hallintaan Otaniemeen. Vuonna 1958 matematiikkakonekomitea valitsi ESKOn sijoituspaikaksi kuitenkin Helsingin yliopiston, jonka eläntieteen laitoksella oli tarjolla sille sopiva 300 m²:n huonetila. Päätökseen vaikutti ilmeisesti myös se, että Sotavahinkoyhdistyksen säätiö oli samoihin aikoihin päättänyt lahjoittaa Helsingin yliopistolle sovelletun matematiikan professuurin ja komitean matemaatikkojäsenet pitivät sen koplaamista ESKOn kanssa hyvänä ratkaisuna, koska ”uusien koneiden käyttö edellytti ohjelmointia, joka oli matemaattinen tehtävä ja vaati erityistä koulutusta”.

Niinpä ESKOn valmistuttua se sijoitettiin 1.4.1960 Helsingin yliopiston hallintaan. Samalla perustettiin yliopiston laskentakeskus, jolle annettiin ESKOn hyödyntämisen ohella tehtäväksi yliopiston yleinen laskentatyön opetus, tutkimus ja tuki. Samalla lakkautettiin matematiikkakonekomitea, jonka kokonaiskustannukset olivat lopulta noin 26 miljoonaa markkaa ja joka oli valtion luonnontieteellisen toimikunnan suurin hanke 1950-luvulla. ESKOn jäätyä Helsingin yliopistossa parempien tietokoneiden jalkoihin se siirrettiin vuonna 1963 yliopiston varastoon ja sieltä vuonna 1970 kaiken kansan ihmeteltäväksi Helsingin Vanhassakaupungissa sijaitsevaan Tekniikan museoon.

Koska ESKOn rakentaminen takkusi, se ei lopulta ollut ensimmäinen Suomessa käyttöön otettu tietokone, vaan kyseinen kunnia lankesi 17.10.1958 juhlallisina menoin käynnistetylle Postisäästöpankin IBM 650 -koneelle, jolle annettiin sen historiallista asemaa kuvaava lempinimi *Ensi*. Pankille oli epäilemättä onni, ettei ESKO ollut vielä silloin käyttökunnossa, sillä moderni Ensi oli sitä huomattavasti tehokkaampi kyeten mm. 1300 yhteen- tai vähennyslaskuun, 80 kertolaskuun tai 60 jakolaskuun sekunnissa. Postisäästöpankin säästötilien kirjanpidon lisäksi konetta käytettiin mm. Pääesikunnassa tykkien ammusten lentoratojen laskemiseen, Ilmatieteellisessä keskuslaitoksessa säätilastojen laskemiseen, Helsingin kaupungissa palkanlaskentaan ja valtiovarainministeriössä ennakonpidätystaulukoiden tuottamiseen, kunnes se poistettiin täysin palvelleena käytöstä vuonna 1962. Ensin aiheuttama lisäkustannus Postisäästöpankille oli noin miljoona markkaa kuukaudessa, joten matematiikkakonekomitean

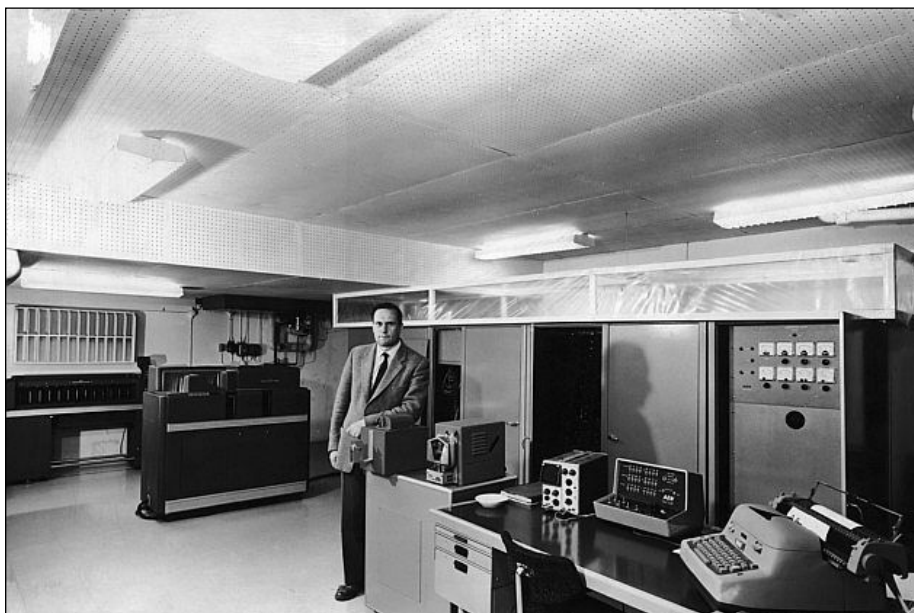
arvio siitä, että ikioman tietokoneen rakentaminen olisi edullisempaa kuin valmiin koneen ostaminen taikka vuokraaminen, voidaan tulkita laskentatavasta riippuen joko oikeaksi tai vääräksi.

Kun Ensi osoittautui varsinaiseksi sähköaivoksi poistaen välittömästi käytöstä kaikki Postisäästöpankin vanhat reikäkorttikoneet ja tilpehöörit, liittyi muitakin Suomen organisaatioita nopeasti tietokoneajan ensi aaltoon: vuonna 1959 Pohjoismaiden Yhdyspankki hankki IBM 1201:n ja Suunnittelutoimisto IBM 610:n, Valmetin Rautpohjan tehtaalle asennettiin IBM 610 ja Elanto vuokrasi yhdessä Osuustukkukauppa OTK:n kanssa IBM 305 Ramac -koneen. Vuonna 1960 seurasivat perässä Kansaneläkelaitos (IBM 650) ja Suomen Kaapelitehdas (Elliott 803 A). IBM siis jyräsi tietokonemarkkinoilla lähestulkoon monopolina.

Suomen yliopistojen ensimmäiset tietokoneet

Myös vanhoilliset yliopistot alkoivat 1960-luvun alussa siirtyä uuteen aikaan. Ensimmäisenä kaupallisen tietokoneen otti käyttöönsä Turun yliopisto, jonka luonnontieteiden talon akateemisessa pyörävarastossa käynnistettiin 1.12.1960 klo 12.38 ruotsalaiselta Stiftelsen Wenner-Gren Center -säätioältä lahjoituksena saatu Wegematic 1000. Tietokonetta hallinnoivat keväällä 1960 perustettu Sovelletun matematiikan ja tietojenkäsittelyalan tutkimussäätio ja 20.1.1961 Turun yliopiston, Åbo Akademin ja turkulaisten liikelaitosten avaama Turun Laskukeskus. Lahjoituksen kokonaisarvo oli noin 40 miljoonaa markkaa.

Wegematic oli putkitietokone, jossa oli noin 10 000 diodia ja 500 elektroniputkea. Parhaana päivänään Wegematic suoriutui tuhannesta yhteen- tai vähennyslaskusta taikka 60 kerto- tai jakolaskusta sekunnissa, joten se oli nopeudeltaan lähes Ensi-luokainen. Koneetta käytettiin mm. Turun korkeakouluissa opetuksessa ja tutkimuksessa sekä Turun kaupungissa sähkölaskutuksessa ja liikennelaskennassa, kunnes se pitkien huoltotaukojen, epävakaan toiminnan, heikohkon suorituskyvyn ja tietokoneiden nopean teknisen kehityksen takia korvattiin lyhytaikaisesti lainatuilla ja vuokratuilla IBM 1620:llä ja IBM 1401:llä vuonna 1964 ja pitempiaikaisesti Turun yliopistojen yhteisesti hankkimalla IBM 1130:lla vuonna 1966.



Wegematic 1000. Suomen ensimmäinen (Turun) yliopistojen käytössä ollut tietokone. Sitä ihmettelemässä on vuosina 1956–1960 Turun yliopistossa fysiikan apulaisprofessorina toiminut Kalervo (K.V.) Laurikainen.

Suomessa oli siis 1960-luvun alussa käytössä jo melkoisen monta tietokonetta, joidenkin mielestä jopa liian monta. Esimerkiksi matematiikkakonekomitean jäsen ja tuleva Teknillisen korkeakoulun rehtori Pentti Laasonen näki tammikuussa 1961 pitämässään Suomen Teknillisen Seuran täydennyskoulutuskurssin avausesitelmässä atk-alan nopeassa kehityksessä vaaran merkkejä:

... Suomessa on nyt tieteellis-teknilliseen laskutyöhön sopivia automaattisia numerokoneita käytössä 5 ja tämän vuoden lopulla ainakin 9. Kaupallisiin tarkoituksiin valmistettuja nykyaikaisia koneita on tuolloin vieläkin useampia ... Ei voi välttää sitä epäilystä, että liian nopea alan kehitys, etten sanoisi ryöstäytyminen, sen nykyiseen laajuuteen saattaa sisältää vaaran voimien ja varojen tuhlaamisesta osittain tehotomaan käyttöön.

Laasonen huoli oli linjassa niiden ennustusten kanssa, joita 1940- ja 1950-luvuilla esitettiin koko maailmassa ylipäänsä tarvittavien tietokoneiden määrästä. Kuuluisin täydellisesti pieleen mennyt ennuste on IBM:n pääjohtajan Thomas J. Watsonin nimissä vuodelta 1943: ”I think there is a world market for maybe five computers”. Vaikka tuon Watsonin suuhun pannun lausahduksen autenttisuutta onkin epäilty, kuvastaa se hyvin ajan henkeä. Vuonna 1954 matematiikkakonekomiteakin arvioi, että piakkoin meille saatava ESKO riittäisi vallan hyvin ”maamme tärkeimpiin tarpeisiin” ja vielä 1960-luvun alussa oltiin yleisesti sitä mieltä, että Suomessa tarvittaisiin enintään kymmenen Postisäästöpankin Ensin kokoista tietokonetta.

Turun jälkeen seuraavat akateemiset tietokoneet käynnistyivät Helsingin yliopistossa (ESKOn jälkeen Wegematic 1000 vuonna 1961 ja IBM 1620 vuonna 1962), Teknillisessä korkeakoulussa (Suomen Kaapelitehtaan vanha Elliott 803 A vuonna 1961), Oulun yliopistossa (Elliott 803 B vuonna 1965) ja Tampereen yliopistossa (Elliott 803 B vuonna 1966). Kun vuonna 1966 säädetty korkeakoululaki määräsi Suomen yliopistot ja korkeakoulut lisäämään huomattavasti opiskelijamääriään ja kun samanaikaisesti tietojenkäsittely yleistyi niissä sekä omana oppiaineenaan että yleisenä tukipalveluna, oli kaikkien muidenkin yliopistojen ja korkeakoulujen saatava käyttöönsä asianmukaiset tietokoneet. Kantona kaskessa oli kuitenkin Valtion tietokonekeskus (VTKK).

VTKK perustettiin 1.5.1964 suunnittelemaan ja suorittamaan valtion virastojen ja laitosten automaattiseen tietojenkäsittelyyn liittyviä tehtäviä. Onnetonta yliopistoille ja korkeakouluille oli se, että yleistä periaatetta valtion varojen kustannustehokkaasta käytöstä täsmennettiin laissa ja asetuksessa säätämällä, että ”valtion viraston tai laitoksen, joka aikoo hankkia (= ostaa) tai vuokrata tietokoneen, tulee hankkia asiasta tietokonekeskuksen lausunto”. Näin ollen ilman VTKK:n ja sen ylijohtajan, ”Suomen datakeisari” Otto Karttusen puolta eivät yliopistot ja korkeakoulut saaneet edes omilla rahoillaan ostaa haluamiaan koneita.

VTKK:lla oli paitsi lain suoja myös oma lehmä ojassa, kun se tarjosi omien aluekustensa koneaikaa markkinahinnalla myös yliopistoille ja korkeakouluille. VTKK olikin kovin nihkeä antamaan puoltavaa lausuntoa, jolloin monesta konehankinnasta syntyi väistämättä kiistaa. Kovin kärhämä käytiin 1970-luvulla Tampereen yliopistolle sopivasta tietokoneesta (PDP-10), jonka hankkimiselle ei VTKK:n puolta herunut. Yli kymmenvuotinen sota ratkesi vasta vuonna 1980 välimiesoikeudessa Tampereen yliopiston – ja samalla positiivisena ennakkotapauksena muidenkin yliopistojen ja korkeakoulujen – voitoksi.

Hyvää verta ei herättänyt myöskään ns. DataSITRA-hanke, jossa Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto (SITRA) hankki Suomen Pankkiin kertyneillä ylimääräisillä rahoilla yliopistojen ja korkeakoulujen yhteiseen käyttöön UNIVAC 1108-suurtietokoneen vuonna 1970. Tarkoituksena oli, että kaikki Suomen yliopistot ja korkeakoulut sekä muutama tutkimuslaitos siinä sivussa käyttäisivät UNIVACia puhelinverkkoon kytkettyjen etäpäätteiden avulla, jolloin ne eivät juurikaan tarvitsisi omia tietokoneita. Konehankintaa junailemaan pantiin tieteenkin VTKK, joka ei aidon atk-hengen mukaisesti kysynyt tulevien käyttäjien mielipidettä. Sanelupolitiikka, UNIVACin sopimattomuus yliopistojen ja korkeakoulujen erityistarpeisiin, tiedonsiirtoyhteyksien epäluotettavuus sekä laskenta- ja tiedonsiirtokapasiteetin riittämättömyys nopeasti lisääntyvälle valtakunnan laajuiselle käytölle aiheuttivat sen, että konetta käytettiin kovin nihkeästi muualla kuin Helsingin yliopistossa ja Teknillisessä korkeakoulussa. Vaikka UNIVAC oli tasaisen hiipuvassa käytössä aina vuoteen 1982 saakka, ei DataSITRAa näin ollen voi kehua varsinaiseksi valtionhallinnon menestystarinaksi.

Atk-koulutuksen käynnistyminen

Koska matematiikkakonekomitea koostui pääosin yliopistoihmisistä, oli luonnollista, että se ryhtyi ESKOn rakentamisen ohessa pontevasti käynnistämään alan koulutusta. Ensimmäiset komitean järjestämät seminaarimuotoiset kurssit pidettiin luvuvuonna 1955–1956. Niistä toinen, Kari Karhusen ja Hans Andersinin vetämä matematiikkako-

neiden seminaari, järjestettiin Teknillisessä korkeakoulussa ja toinen, Ilppo Simo Louhivaaran ohjaama numeerisen analyysin seminaari, Helsingin yliopistossa. Seminaarin osanottajamäärä oli yhteensä noin 70.

Koska Louhivaaran seminaari käsitteli matemaattisia kysymyksiä, oli Teknillisessä korkeakoulussa järjestetty seminaari Suomen ensimmäinen varsinainen tietojenkäsittelyalan kurssi. Kurssilla oli kaksi pääteemaa, syksyllä 1955 matematiikkakoneiden toimintaperiaatteet ja sovellusalueet ja keväällä 1956 koneiden rakenne. Syksyn luennoilla käsiteltiin tarkemmin mm. koneiden käskyvalikoimaa ja ohjelmointia sekä niiden mahdollisia sovellusalueita, kuten matemaattisten yhtälöiden ratkaisemista, sään ennustamista, pelien pelaamista ja kielenkääntämistä, kevään luennoilla puolestaan koneiden teknistä rakennetta.

Seminaareihin osallistui alan innokkaita uranuurtajia yliopistojen lisäksi mm. IBM:stä, Postisäästöpankista, vakuutusyhtiö Salamasta, sosiaaliministeriöstä, Imatran Voimasta ja Helsingin Puhelinyhdistyksestä. Mielenkiintoisena kuriositeettina on syytä mainita, että TKK:n seminaariin osallistui syksyllä 1955 yksi ainoa nainen, matematiikkakonekomitean apulaismatemaatikko Kaarina Oksanen, joka näin ollen saa kunnian olla Suomen ensimmäinen naispuolinen käpistelijä. Toinen maininnan arvoinen osanottaja on kevään 1956 seminaarissa matematiikkakoneiden aritmeettisestä yksiköstä luennoinut 21-vuotias tekniikan ylioppilas Teuvo Kohonen.

Konehankintojen lisääntyessä alkoivat maahantuojat järjestää teknisiä kursseja omille asiakkailleen. Ahkerin oli luonnollisesti alan markkinajohtaja IBM, jonka antamaan koulutukseen osallistui Suomessa esimerkiksi vuonna 1959 yli 600 henkeä ja vuonna 1960 jo yli 1000 henkeä.

Säännöllinen akateeminen atk-opetus käynnistyi heti 1960-luvun alussa, aluksi tietenkin niissä yliopistoissa ja korkeakouluissa, jotka olivat ensimmäisinä hankkineet käyttöönsä tietokoneita. Turun yliopistossa ja Åbo Akademiassa pidettiin ensimmäiset ohjelmointikurssit keväällä 1960, siis jo ennen kuin Wegematic 1000 oli käytettävissä. Teknillisessä korkeakoulussa ohjelmoinnin opetus aloitettiin syksyllä 1960 ja Helsingin yliopistossa keväällä 1961. Vuonna 1960 käynnistettiin Teknillisessä korkeakoulussa myös tietokone- ja digitaalitekniikan opetus. Ensimmäiset opettajat olivat pääasiassa matemaatikkoita ja fyysikoita (kuten Olli Lokki ja Teuvo Kohonen) ja joukossa oli myös matematiikkakonekomitean jäseniä (Tage Carlsson ja Olli Varho).

Tietokoneiden käytön yleistyessä huomattiin jo 1960-luvun alussa atk-alalla tarvetta muillekin koulutetuille ammattilaisille kuin operaattoreille ja ohjelmoitsijoille. Ensimmäisen laaja-alaisemman systeemin suunnittelukurssin järjesti turkulainen Sovelletun matematiikan ja tietojenkäsittelyalan tutkimussäätiö Espoon Kolmirannassa 5.11.–1.12.1962. Kurssin ohjelmassa oli mielenkiintoisia aiheita laidasta laitaan: atk:n peruskäsitteitä, tietokoneen teknillistä rakennetta, konetyyppejä, koneiden installointia, ohjelmointia, systeemin suunnittelua, henkilökunnan valintatestausta, kustannusvertailua, kannattavuuslaskelmia, dokumentointia ja sen tarpeellisuutta, moninaisia sovellutuksia, atk-toiminnan organisointia, standardeja ja operaatioanalyysiä. Kurssille osallistui parhaaseen A-ryhmään kuuluvien opettajien lisäksi 29 innokasta opiskelijaa mm. Oy Alkoholiliike Ab:stä, Kansaneläkelaitoksesta, Kansallis-Osake-Pankista, Suomen Selluloosayhdistyksestä, Aero Oy:stä ja Helsingin yliopiston Ydinfysiikan laitoksen laskentatoimistosta, joten se onnistui kaikin puolin erinomaisesti.

Vaikka vastaavanlainen tiivis systeemin suunnittelukurssi järjestettiin kahteen otteeseen myös vuonna 1963, huomattiin liike-elämässä nopeasti, ettei yksittäisten kursien pitäminen riittäisi pidemmän päälle tyydyttämään kasvavaa atk-ammattilaisten tarvetta. Niinpä helmikuussa 1964 Suomen Työnantajain Keskusliitto ja Suomen Liiketoimintajain Keskusliitto lähettivät korkeakouluille kirjelmän, jossa toivottiin akateemisen systeemin suunnittelukoulutuksen käynnistämistä mahdollisimman pian. Kirjelmän perustelumuistiossa arvioitiin, että Suomessa oli tuolloin ainoastaan 130 riittävän peruskoulutuksen saanutta systeemin suunnittelijaa, kun tarve oli noin 300-400. Muistion mukaan koulutuksen antajina voisivat tulla kysymykseen lähinnä kauppa- ja korkeakoulut, Teknillinen korkeakoulu sekä yliopistojen matemaattiset ja valtiotieteelliset opintosuunnat.

Koulutuksen käynnistämistä vauhditti myös tietojenkäsittelyalan kansallinen komitea, jonka asettama toimikunta jätti toukokuussa 1965 mietintönsä ”ATK-koulutuksen järjestämisestä Suomen korkeakouluissa”. Mietinnössä päädyttiin arvioimaan suunnittelijoiden ja ohjelmoitsijoiden vuosittaiseksi koulutustarpeeksi 350 henkilöä, joista 150 saisi akateemisen ja 200 opistotasaisen koulutuksen. Työnjaksi ehdotettiin sitä, että korkeakoulut huolehtisivat systeemin suunnittelijoiden ja opistot ohjelmoitsijoiden kouluttamisesta. Mietinnössä esitettiin lisäksi yleinen opetussuunnitelma korkeakouluissa annettaviksi tietojenkäsittelyopin approbatur- ja cum laude approbatur -oppimääriksi. Suunnitelman mukaan approbatur koostuisi neljästä peruskurssista ja cum laude jakautuisi kahteen valinnaiseen linjaan, systeemin suunnitteluun ja ohjelmointiin. Mietintö oli siinä määrin perustellusti laadittu, että sillä oli epäilemättä vaikutusta lähivuosina tapahtuvalle atk-oppiaineen akateemiselle synnylle.

Alan opetus oli Suomessa alusta lähtien ajan tasalla. Hyvänä esimerkkinä tästä on Olli Varhon *Teknillisen Aikakauslehden* vuoden 1959 toisessa numerossa julkaistava kuvaus ”matemaattisen laskutehtävän suorittamisesta elektronikoneella”. Suorituksessa oli neljä työvaihetta: (1) probleeman numeerinen analyysi, (2) tehtävän looginen jäsentely ohjelmakaavioksi, (3) ohjelmakaavion sisältämän yleissuunnitelman yksityiskohtainen kirjoittaminen konekielellä laadituksi koodiohjelmaksi ja (4) koodiohjelmassa olevien virheiden korjaaminen koeajon tai pöytätestin avulla. Työvaiheet vastaavat täydellisesti yksi-yhteen kaikkien myöhemmin kehitettävien ohjelmistoprosessien perusvaiheita, (1) vaatimusmäärittelyä, (2) suunnittelua, (3) ohjelmointia ja (4) testausta. Tästä voidaan vetää johtopäätöksenä joko se, että Varho oli huomattavasti aikaansa edellä, tai se, että koko 1960-luvun lopulla käynnistynyt Software Engineering -tutkimus on ollut turhanpäiväistä vanhan kertausta.

Atk-teollisuuden synty

Suomessa ei 1950- ja 1960-luvun taitteessa tyydytty pelkästään siirtämään rutiinitehtäviä tietokoneilla hoidettavaksi, vaan maahan alkoi syntyä myös omaa merkittävää atk-alan teollisuutta. Tulevaisuuden kannalta merkittävin avaus oli Suomen Kaapelitehdas Oy:n hallituksen vuonna 1958 tekemä päätös ottaa elektroniikka yrityksen uudeksi toimialaksi. Jotta toimintaan saataisiin kunnon potkua, Kaapelitehtaalle perustettiin keväällä 1960 elektroniikkaosasto ja laskentakeskus, jonne hankittiin saman vuoden syksyllä yrityksen ensimmäinen tietokone, Elliott 803 A. Elliottin käyttöönottopäivää

20.9.1960 voidaan täten perustellusti pitää Suomen elektroniikka- ja atk-teollisuuden syntymäpäivänä.

Kaapelitehtaan ensimmäiset elektroniikkatuotteet olivat vuonna 1962 valmistuneet radiokemiallinen pulssianalysaattori ja paperikoneiden digitaalinen kehänopeusmittari. Yritys laajensi toimintaansa tietoliikennelaitteisiin vuonna 1963, jolloin valmistui mm. erä transistoroituja VHF-radiopuhelimia. Omien tuotteiden lisäksi Kaapelitehdas markkinoi Suomessa suurten globaalien pelureiden, kuten Elliottin, Siemensin ja Bullin tietokoneita. Suomen Kaapelitehdas Osakeyhtiön historia sai arvoisensa lopun vuoden 1966 viimeisenä päivänä, kun siitä, Suomen Kumitehdas Osakeyhtiöstä ja Nokia Osakeyhtiöstä muodostettiin fuusioimalla Oy Nokia Ab. Lisäksi Kaapelitehtaan elektroniikka- ja tietokoneosastoista muodostettiin uuden uljaan Nokian neljäs teollisuusryhmä, Nokia Elektroniikka.

Elektroniikkateollisuuden pioneerityön lisäksi Kaapelitehdas on tärkeä osa Suomen atk-historiaa myös sikäli, että siellä työskenteli joukko tulevia tietojenkäsittelytieteen professoreita ja muita avainhenkilöitä. Koska yrityksen elektroniikkaosasto ja laskentakeskus toimivat Salmisaaren kaapelitehtaan seitsemännessä kerroksessa, käytetään niistä akateemisissa historiikeissa yhteisnimitystä ”Salmisaaren yliopisto”. Sen kumisetänä toimi Kaapelitehtaan elektroniikkatoimintaa käynnistämässä ollut Helsingin yliopiston matematiikan apulainen Olli Lehto (s. 30.5.1925), josta tuli myöhemmin yliopiston matematiikan professori, rehtori ja kansleri ja peräti valtiollinen akateemikko. Muita Salmisaaren yliopiston nuoria tiikereitä olivat mm. Reino Kurki-Suonio, Seppo Mustonen, Eero Peltola ja Martti Tienari.

Vuoteen 1965 tultaessa Suomessa oli käytössä 84 tietokonetta, atk-alalla oli töissä noin 3000 henkeä ja alalla oli kotimaista liiketoimintaa ja tuotekehitystä. Koulutus oli kuitenkin heikoissa kantimissa, tutkimuksesta puhumattakaan. Aika oli siis kypsä seuraavan harppauksen ottamiselle, atk:n korottamiselle akateemiseksi oppiaineeksi yliopistoihin ja korkeakouluihin.

2. YHTEISKUNNALLINEN KORKEAKOULU JA TAMPEREEN YLIOPISTO

1960-luvun alussa ei tietojenkäsittelyä juurikaan opetettu omana oppiaineenaan yliopistoissa tai korkeakouluissa. Maailman ensimmäinen alan akateeminen kurssikokous oli Cambridgen yliopistossa Englannissa vuonna 1953 käynnistetty yksivuotinen *Diploma in Numerical Analysis and Automatic Computing*. Ensimmäinen kokonainen ”computer science” -koulutusohjelma puolestaan käynnistyi vuonna 1962 Purduen yliopistossa sitä varten perustetussa laitoksessa ”Department of Computer Sciences”. USA:ssa opetettiin 1960-luvun alussa tietojenkäsittelyä myös muutamassa muussa yliopistossa suurten laskentakeskusten yhteydessä, mutta oppiaineesta käytettiin monenlaisia nimiä kuten ”systems and communication sciences” (Carnegie Institute of Technology), ”computer and information sciences” (University of Pennsylvania) ja ”communication science” (University of Michigan).



Terminologian horjuvuus on ymmärrettävää, olihan oppiaine yliopistoissa aivan uusi ja eriskummallinen tulokas. Edellä mainittujen lisäksi tieteenalasta käytettiin 1960-luvulla sellaisia nimiä kuin ”datalogy”, ”informatics” ja ”computics” (!) Yleisempänä kiistakysymyksenä keskusteltiin siitä, onko tietojenkäsittely ylipäänsä ”tiedettä” lainkaan. Sama kiista pulpahtaa silloin tällöin akateemisissa piireissä pintaan vielä nykyisinkin, joten varmaan jokin neutraalimpi nimi kuin kisan voittanut ”computer science” olisi ollut vähemmän provokatorinen valinta.

1960-luvun alussa ”computer scienceen” katsottiin yleisesti sisältyvän ohjelmoinnin teoria (theory of programming), numeerinen analyysi (numerical analysis), tietojenkäsittely (data processing) ja tietokonejärjestelmien suunnittelu (design of computer systems). Jo varsin pian, vuonna 1968, onnistuttiin IFIPin (International Federation for Information Processing) järjestämässä kansainvälisessä kongressissa asettamaan tieteenalaa osuvasti luonnehtiva ytimekäs ja pysyväksi osoittautunut ydinkysymys: ”Mitä voidaan automatisoida?” (*”What can be automated?”*).

Suomessa – ja samalla Pohjoismaissa – ensimmäisenä koulutusputkeen ennätti Tampereella toiminut Yhteiskunnallinen korkeakoulu. Vuonna 1925 toimintansa aloittaneesta Kansalaiskorkeakoulusta vuonna 1931 muodostettu yksityinen Yhteiskunnallinen korkeakoulu keskittyi nimensä mukaisesti yhteiskuntatieteelliseen opetukseen ja tutkimukseen. Se toimi vuoteen 1960 saakka Helsingissä mutta siirtyi tilanahtauden takia tuolloin Tampereelle. 1960-luvun laajan kansallisen yliopistouudistuksen myötä korkeakoulun nimi muutettiin vuonna 1966 Tampereen yliopistoksi, ja se siirtyi valtion omistukseen vuonna 1975.

Valtiovalta halusi 1960-luvun alkupuoliskolla lisätä taloudellisia opintoja Suomessa, ja yhdeksi alan koulutuspaikaksi nostettiin toimikuntamietinnöissä Yhteiskunnallinen korkeakoulu. Koulutuksen käynnistämiseksi korkeakouluun perustettiinkin, osittain kaupungin ja paikallisen liike-elämän myöntämän rahoituksen turvin, keväällä 1965 taloudellis-hallinnollinen tiedekunta, jonka ensimmäiset 425 uutta opiskelijaa aloittivat opintonsa heti samana syksynä. Samassa rytkäkässä perustettiin tietokonekeskus, jonka käyttöön vuokrattiin maaliskuussa 1966 Suomen Kaapelitehtaalta Elliott 803 B -tietokone.

Yhteiskunnallisen korkeakoulun rehtorilla Paavo Kolilla (21.5.1921–25.3.1969) oli paitsi viran puolesta kuuluvaa valtaa, myös suuria visioita. Ylivoimaisesti paras niistä oli sisällyttää kovassa nousussa oleva ja työvoimapulaa poteva tietojenkäsittely uuden taloudellis-hallinnollisen tiedekunnan repertuaariin. Käytyään ajan hengen mukaisesti pyytämässä hankkeelle datakeisari Otto Karttusen siunauksen Koli värväsi sitä edistämään korkeakoulun yhteiskuntatieteiden tutkimuslaitoksessa sovelletun matematiikan ja yhteiskuntatieteiden metodologian vt. professorina toimineen Seppo Mustosen. Mustonen (s. 28.10.1937) olikin atk-koulutuksen käynnistämiseksi ja siihen liitettylle tietokonekeskuksen perustamiselle mitä oivallisinkin puuhamies, koska hänellä oli Salmisaaren yliopistotaustan ansiosta hankkeessa tarvittavaa asiantuntemusta ja katu-uskottavuutta.

Seppo Mustosen suunnitelmiin sisältyi atk-alan professuurin ja assistenttuurin perustaminen taloudellis-hallinnolliseen tiedekuntaan. Ne myös saatiin, joten opetus voitiin aloittaa tiedekunnan muiden oppiaineiden tavoin syyslukukaudella 1965. Oppiaineelle tarvittiin paitsi virat myös nimi, ja Kolin ja Mustosen kahden hengen raati pää-

tyi vuoden 1965 alussa ”tietojenkäsittelyoppiin”. Se vakiintuikin saman tien ”computer science” -nimen suomennokseksi, kunnes 1990-luvulla sen rinnalle ja laajalti jopa tilalle nousi hienommalta kuulostava ”tietojenkäsittelytiede”.

Vauhtiin päästyään Koli ja Mustonen eivät suinkaan pysähtyneet ihaillemaan luomaansa taloudellis-hallinnollista tiedekuntaa vaan ryhtyivät välittömästi puuhaamaan seuraavaa. Jo lokakuussa 1965 korkeakoulun hallintokollegio sai käsiteltäväkseen Mustosen laatiman muistion matemaattis-filosofisen tiedekunnan perustamisesta. Muistion mukaan tiedekunnan tarkoituksena oli koota yhteen korkeakoulun kaikkien oppiaineiden tarvitsema menetelmätieteiden eli matematiikan, tilastotieteen, tietojenkäsittelyopin, logiikan ja tietoteorian opetus.

Sinänsä erittäin järkevä ehdotus kaatui kuitenkin korkeakouluneuvostossa ja opetusministeriössä, jotka eivät katsoneet ”tarkoituksenmukaiseksi keskittää metodista koulutusta yhteen yliopistoon”, jonka katsottiin lisäksi olevan ”opettajaresurseiltaan muita korkeakouluja edullisemmassa asemassa”. Hankkeen kariutuminen kateuteen aluepoliittisin ja hallinnollisin perustein oli paha takaisku erityisesti Mustoselle, joka siirtyi sen seurauksena vuonna 1967 Helsingin yliopistoon tilastotieteen professoriksi tullen sittemmin tunnetuksi pitkäjänteisesti kehittämästään tilastollisesta Survo-ohjelmistosta.

Koli oli järeämpisempi kuin Mustonen ja perustutti Tampereen kaupungin avustuksen turvin vuonna 1966 kokonaisen tiedekunnan sijasta osaratkaisuna taloudellis-hallinnolliseen tiedekuntaan matemaattis-filosofisen opintosuunnan. Sen oppiaineista (matematiikka, tilastotiede, tietojenkäsittelyoppi, filosofia) muotoutui matemaattisten tieteiden laitos, josta tietojenkäsittelyoppi itsenäistyi omaksi laitoksekseen lopulta (vasta) vuonna 1987. Muutaman nimenmuutoksen jälkeen laitos laajentui vuonna 2001 informaatiotieteiden tiedekunnaksi ja siitä edelleen vuonna 2011 informaatiotieteiden yksiköksi. Yksikön oppiaineita ovat nykyisin informaatiotutkimus ja interaktiivinen media, matematiikka ja tilastotiede sekä tietojenkäsittelytieteet (tietojenkäsittelyoppi, ohjelmistokehitys, vuorovaikutteinen teknologia). Tampereen yliopistossa on vuonna 2014 kaikkiaan yhdeksän tieteenalayksikköä.

Tietojenkäsittelyoppia ei perustettu Yhteiskunnalliseen korkeakouluun tieteen nimissä vaan tyydyttämään tietojenkäsittelyalan koulutustarvetta, kuten Seppo Mustonen taloudellis-hallinnollisen tiedekunnan suunnittelumuistiossaan toteaa:

Laskelmissa on päädytty siihen, että lähemmän viiden vuoden aikana tarvitaan vuosittain n. 200 akateemisen koulutuksen saanutta henkilöä, joilla on vähintään tietojenkäsittelyopin peruskoulutus (= approbatur-taso). Peruskoulutuksen tavoitteena on kouluttaa ATK-alan suunnittelijoita ja ohjelmoitsijoita käytännön työhön. Samalla se muodostaa pohjan jatko-opinnoille.

Seuraavaksi piti saada tietojenkäsittelyopin professuuriin hoitaja. Koska Suomessa ei tietenkään vielä voinut olla varsinaisella alalla tieteellisesti päteviä henkilöitä, piti heitä etsiä lähialoilta. Koli ja Mustonen päätyivät kartoituksessaan vastikään tohtoriksi valmistuneeseen Reino ”Reiska” Kurki-Suonioon (s. 29.9.1937), jonka Mustonen tiesi hyväksi ja kokeneeksi tyypiksi Salmisaaren yliopistoajoilta. Kurki-Suonion tieteellisestä pätevyydestä paras osoitus oli hänen vuonna 1964 sovelletusta matematiikasta laa-

timansa väitöskirja *On Some Sets of Formal Grammars*, joka voidaan aiheensa ja sisältönsä puolesta katsoa Suomen ensimmäiseksi tietojenkäsittelytieteen väitöskirjaksi.

Mustonen otti keväällä 1965 yhteyttä Kurki-Suonioon, joka oli post doc -tutkijana perehtymässä computer science -opetukseen ja -tutkimukseen Carnegie Institute of Technologyssä (nykyisin Carnegie Mellon University). Hetken tuumailtuaan Kurki-Suonio otti vastaan haasteen ryhtyä hoitamaan historiallista tietojenkäsittelyopin professorin virkaa. Koska Kurki-Suoniolla oli vielä työvelvoitteita Kaapelitehtaalla, hän hoiti professuuria ensimmäisen vuoden 60-40-jaolla Miikka Jahnukaisen kanssa. Virkaan Kurki-Suonio nimitettiin 1.11.1967. Jahnukaisesta puolestaan tuli vuonna 1970 perustetun opistotasaisen ATK-instituutin ensimmäinen rehtori.

Ensimmäistä koulutusohjelmaa suunniteltaessa otettiin huomioon paitsi työelämän odotukset, myös Kurki-Suonion Carnegieassa omaksumat näkemykset. Kuten Mustosen suunnittelumuistiokin kuvastaa, atk-alalla tarvittiin lähinnä kahdenlaisia asiantuntijoita, ”suunnittelijoita” ja ”ohjelmoitsijoita”. Yhteiskunnallisessa korkeakoulussa ja Tampereen yliopistossa tietojenkäsittelyopin opetus jakautuikin alkuvuosina kahteen toisiaan tukevaan osa-alueeseen, systeemin suunnitteluun ja ohjelmointiin, joista ensimmäisestä vastasi Jahnukainen ja jälkimmäisestä Kurki-Suonio.

Tietojenkäsittelyopin ensimmäiset kurssivaatimukset Yhteiskunnallisessa korkeakoulussa olivat lukuvuonna 1965–1966 seuraavat. Ne olivat varsin yhdenmukaiset tietojenkäsittelyalan kansallisen komitean atk-koulutustoimikunnan keväällä 1965 julkaistun mietinnön kanssa, mitä ei voi pitää varsinaisena sattumana, olihan Miikka Jahnukainen ollut kyseisen toimikunnan jäsen.

Peruskurssi

1. Johdatus automaattiseen tietojenkäsittelyyn (Jahnukainen)
2. ATK yrityksessä ja julkisessa hallinnossa (Jahnukainen)

Approbatur

1. Peruskurssin suoritus
2. Ohjelmointikurssi (Kurki-Suonio)
3. Systeemin suunnittelukurssi (Jahnukainen)
4. Ohjelmoinnin harjoitustyö (Kurki-Suonio)

Heti toisena lukuvuotena 1966–1967 aloitettiin cum laude approbatur -opetus. Cum laudessa piti suorittaa kolme pakollista ja kolme valinnaista kurssia. Pakollisia olivat *Johdatus systeemiajatteluun*, *Ohjelmointi III* ja *Boolean algebra*, valinnaisia puolestaan mm. *Konetyyppiseminaari*, *Systeemiseminaari* ja *ATK-sovellutuskurssi* sekä matematiikan laitoksen järjestämä *Numeerinen matematiikka*. Kurki-Suonion tietojenkäsittelyopin ydinaineiksena pitämä *Ohjelmointi III* (systeemiohjelmien, kuten käyttöjärjestelmien ja kääntäjien, toimintaperiaatteet ja käyttö) osoittautui atk-alan suunnittelutehtäviin tähtääville ns. käytännön miehille niin vaikeaksi, että cum laude approbatur jouduttiin lukuvuoden 1969–1970 tutkintovaatimuksissa jakamaan kahtia, ”yleiseen linjaan” ja ”yrityksen tietojenkäsittelyn linjaan”, joista jälkimmäisellä *Ohjelmointi III* korvattiin kevyemmällä *Systeemin suunnittelijan ohjelmointikursilla*.

Cum lauden linjarakenne vastasi siis atk-alalla vallinnutta kahtiajakoa ohjelmointiin ja systeeminsuunnitteluun. Systeeminsuunnittelua pidettiin yleisesti hienompana ja vaativampana kuin käsityöläisammattiksi koettua ohjelmointia jopa siinä määrin, että systeeminsuunnittelijat ylpeilivät sillä, etteivät olleet koskaan kirjoittaneet riviäkään ohjelmakoodia. Yritysmailma pönkitti kahtiajakoa esittämällä, että ohjelmoinnin opetus pitäisi keskittää ammattiopistoihin ja yliopistojen olisi puolestaan keskityttävä systeeminsuunnitteluun, mutta Kurki-Suonion mielestä tietojenkäsittelyopin tuli sisältää molempia ja vastakkainasettelu asetti pelkästään esteitä atk-alan kehitykselle. Niinpä Tampereen yliopistossa, samoin kuin muissakin Suomen pioneeriyliopistoissa tietojenkäsittelyoppi sisälsi sekä ohjelmointia että systeeminsuunnittelua. Pikku hiljaa kahtiajako hävisikin atk-alan monipuolistumisen ja akateemisen tietojenkäsittelyopin kypsymisen myötä 1970-luvulla.

Kolmantena lukuvuotena 1967–1968 oli Tampereen yliopistossa vuorossa laudatur-opetuksen aloittaminen seuraavilla vaatimuksilla:

1. Approbatur-arvosana joko matematiikassa tai tilastotieteessä sekä jossain matemaattis-filosofisen opintosuunnan ulkopuolisessa soveltavassa aineessa
2. Kypsyyskoe (kirjallinen tentti, joka perustuu approbatur- ja cum laude approbatur -arvosanojen pakollisten kohtien itsenäiseen hallintaan sekä tärkeimpien ohjelmointikielten tuntemiseen)
3. Ohjelmointi IV (simulointi / Simula, kielimateriaalin käsittely / Comit, listojen käsittely / Lisp)
4. Kolme valinnaista kurssia, jotka eivät saa kaikki olla samaan sovellusalueeseen liittyviä (yksi kurseista voi olla seminaariluonteinen)
5. Tieteellinen tutkielma (laudaturtyö)

Uusi uljas oppiaine herätti opiskelijoissa kiinnostusta siinä määrin, etteivät kurseille riittäneet tavalliset luentosalit vaan niitä piti siirtää suurempiin juhlasaleihin. Approbaturin ensimmäisillä kursseilla oli useita satoja opiskelijoita, joista suurin osa tosin jätti varsinkin liian vaikeaksi koetun ohjelmointikurssin kesken. Approbatur-arvosanoja valmistui koulutuksen kahtena ensimmäisenä vuonna kuitenkin varsin kiitettävä määrä, yhteensä 98 kappaletta. Ensimmäinen laudatur-arvosana tietojenkäsittelyopista valmistui keväällä 1969.

1960-luvulla ei ollut vielä minkäänkielisiä tietojenkäsittelyopin oppikirjoja, joten uranuurtajien piti tuottaa myös oppimateriaali itse. Tampereen yliopistossa julkaistiinkin oppiaineen ensimmäiset opetusmonisteet, joko yliopiston tutkimuslaitoksen tai tietokonekeskuksen monistesarjassa. Niistä voi poimia seuraavat edustavat otokset:

Reino Kurki-Suonio: *On Paper Tape Input of Record Structured Data*. Tutkimuslaitos, moniste n:o 27, 1966, 11 s.

Reino Kurki-Suonio: *Mark-Sensing or Port-A-Punching Algol Programs*. Tutkimuslaitos, moniste n:o 28, 1966, 10 s.

Miikka Jahnukainen: *Systeemimalli yrityksen informaatiosteemin ja sen suunnittelun kehitysmallina*. Tutkimuslaitos, moniste n:o 41, 1967, 101 s.

Seppo Mustonen: *Tilastollinen tietojenkäsittelyjärjestelmä Survo 66*. Tietokonekeskus, moniste n:o 2, 1967, 62 s.

Pertti Järvinen: *Operaatioanalyysi*. Luentomoniste, 1968, 97 s.

Reino Kurki-Suonio: *Ohjelmoinnin loogis-lingvistisiä perusteita*. Tutkimuslaitos, moniste n:o 10/1969, 115 s.

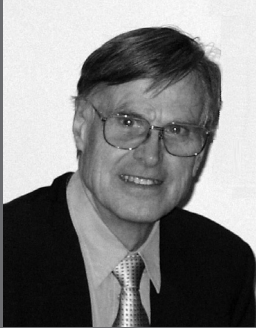
Suomen ensimmäisen alan professorin Reino Kurki-Suonion toimenkuvaan kuului myös luoda tietojenkäsittelyopille tieteellistä sisältöä ja itsenäistä asemaa muiden akateemisten oppiaineiden joukossa. Vuonna 1967 hän analysoi tietojenkäsittelyoppia seuraavaan tapaan *IBM Katsaus* -lehden artikkelissa ja virkaanastujaisesityksessään:

Datalogian keskeisiä tarkastelukohteita ovat tietorakenteet ja niiden esittäminen tietokoneessa, algoritmiset menetelmät, ohjelmointikielet ... ja mutkikkaat tietojenkäsittelyprosessit. Erityisen keskeisiä tietojenkäsittelyprosesseja ovat ns. systeemiohjelmien ... suorittamat prosessit.

On ... avoimesti myönnettävä, ettei tällä uudella oppiaineella ole tukevia juuria akateemisessa ympäristössämme. Se ei ole kehittynyt yliopistoissamme niiden tieteen kiinteässä yhteydessä, joihin sen tulisi olla henkisesti juurtunut, vaan se on lähinnä käytännön sovellutusten pakottamana tullut korkeakouluihin... Kun lisäksi tiedetään, että tietojenkäsittelyn käytännön tehtävissä on jatkuvasti suuri henkilökunnan puute, ja monet muut oppiaineet kaipaavat tietojenkäsittelyoppia tukiaineekseen, on oppiaineella suuri vaara jäädä pintapuolisen tietojenkäsittelytekniikan opetuksesi tai kokoelmaksi irrallisia, erilaisiin sovellutuksiin käyttökelpoisia menetelmiä.

Tietojenkäsittelyoppi nähtiin siis tuolloin lähinnä työelämään valmentavana ja erilaisia atk-sovelluksia kehittävänä oppiaineena, jonka tehtäviin kuului lisäksi toimia ”oikeita” tieteenaloja palvelevana tukiaineena. Näkemys osui kohdalleen, otettiinhan tietojenkäsittelyoppi Suomen yliopistoihin ja korkeakouluihin ensisijaisesti tyydyttämään atk-alan työvoimatarvetta ja toissijaisesti huolehtimaan tietokoneita käyttävien tutkijoiden ja opiskelijoiden koulutuksesta. Paarialuokasta kastiksi nouseminen vaati erityisesti tieteellisen tutkimustoiminnan käynnistymistä, mikä alkuvuosien koulutuspaikoissa tuli viemään vielä muutaman vuoden.

Reino Kurki-Suonio toimi Tampereen yliopistossa tietojenkäsittelyopin professorina vuoteen 1980 saakka, jolloin hänet kutsuttiin Tampereen teknilliseen korkeakouluun tietojenkäsittelytekniikan professoriksi. Hänen jälkeensä Pohjoismaiden ensimmäiseen tietojenkäsittelyopin professuuriin nimitettiin Kari-Jouko Räihä vuonna 1985. Tampereen yliopisto sai toisen tietojenkäsittelyopin professorin vasta vuonna 1986, jolloin virkaan nimitettiin Pertti Järvinen. Ajat olivat tuolloin jo kovin erilaiset kuin 1960-luvun pioneerikaudella: tietojenkäsittelyoppi oli muotoutunut omaksi tieteenalakseen, tutkimustoiminta oli hyvässä vauhdissa ja virkoihin saatiin tietojenkäsittelyopissa tieteellisesti pätevyityneitä henkilöitä.



Reino Elias Mikael Kurki-Suonio, syntynyt 29.9.1937 Hämeenlinnassa.

Ylioppilas 1955 (Hämeenlinnan yhteiskoulu). FK 1959, FL 1963, FT 1965 (Helsingin yliopisto, matematiikka).

Ohjelmointi- ja koulutustehtävissä 1960–66 (Suomen Kaapelitehdas), tietojenkäsittelyopin professori 1965–80 (Yhteiskunnallinen korkeakoulu / Tampereen yliopisto), tietojenkäsittelytekniikan professori 1980–2002 (Tampereen teknillinen korkeakoulu). Vieraileva tutkija 1964–65 (Carnegie Institute of Technology), vieraileva professori 1974–75 (Stanford University), vieraileva tutkija 1984–85 (Carnegie Mellon University).

Tietojenkäsittelytieteen Seuran puheenjohtaja 1992–93. Tampereen teknillisen korkeakoulun ensimmäinen vararehtori 1998–2002. IFIPin teknisen komitean TC 2 (Software: Theory and Practice) jäsen 1974–2000, varapuheenjohtaja 1991–94 ja puheenjohtaja 1995–2000. Suomen edustaja IFIPin yleiskokouksessa 1997–2000.

Vuoden tietotekniikkavaikuttaja 2000. Suomen Kulttuurirahaston palkinto 2002. Teknillisten Tieteiden Akatemian jäsen 1981, Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1992. Tallinnan teknillisen yliopiston kunniaohtori 2013. Kauppalehti Option 100 suomalaisen tietotekniikan edelläkävijän listalla 2000.

Reino Kurki-Suonio on Pohjoismaiden ensimmäisenä tietojenkäsittelyopin professorina alan koulutuksen ja tutkimuksen suomalaisia uranuurtajia. Hänen tieteellinen toimintansa on keskittynyt ohjelmistotekniikkaan, erityisesti hajautettujen ja reaktiivisten ohjelmistojärjestelmien suunnitteluun ja formaaliin määrittelyyn. Kurki-Suonio on lisäksi ollut varsin arvostettu asiantuntija ja vaikuttaja tietojenkäsittelytieteen kansainvälisessä tiedeyhteisössä.

Reiskan päharrastus on klassinen musiikki, erityisesti kamarimusiikki. Hänen bravuureitaan on pianon duosoitto, jota hän on päässyt harrastamaan mm. kahden muun tietojenkäsittelytieteen pioneerin, Donald Knuthin ja Ole-Johan Dahlin kanssa. Reiska on kaikin puolin mukava, diplomaattinen ja tasapuolinen herrasmies, josta kenelläkään ei voi olla mitään pahaa sanottavaa. Hänen hieno elämänviisautensa on: ”Elämä ei ole nollasummapeliä”.

3. HELSINGIN YLIOPISTO

Suomen vanhin yliopisto perustettiin vuonna 1640 Turkuun nimellä Kuninkaallinen Turun Akademia. Kun Suomi oli liitetty Ruotsista Venäjään, muutettiin yliopiston nimeksi vuonna 1809 Keisarillinen Turun Akademia. Kun yliopisto siirrettiin Turun palon jälkeen Helsinkiin, tuli sen nimeksi vuonna 1828 Keisarillinen Aleksanterin-Yliopisto Suomessa. Suomen itsenäistymisen jälkeen yliopisto sai lopulta vuonna 1919 nykyisen nimensä Helsingin yliopisto.

Helsingin yliopistoon perustettiin lähinnä ESKOn käytön koordinoitua varten laskentakeskus vuonna 1960. Atk-opetus käynnistyi vuonna 1961 yliopistoon hankittujen toimivien tietokoneiden (Wegematic 1000 ja IBM 1620) ohjelmointikursseilla, joita järjestettiin ydinfysiikan ja matematiikan laitoksilla. Seuraavina vuosina järjestettiin myös joitakin syvällisempiä kursseja kuten Reino Kurki-Suonion pitämät *Automaattien teoriaa* (1963) ja *Symbolikielten teoriaa ja kääntämistekniikkaa* (1966) sekä Seppo Mustosen pitämä *Verkkoteoriaa* (1966). Lisäksi lukuvuoden 1965–1966 tutkintovaatimuksissa sisältyi sovelletun matematiikan laudatur-oppimäärään pakollisena ”jonkin Helsingin yliopiston elektronisen tietokoneen pitempi ohjelmointikurssi ja siihen liittyvä harjoitustyö”.

Yliopistolla oli myös Sotavahinkoyhdistyksen säätiön lahjoitusvaroin perustettu sovelletun matematiikan professuuri, jonka tehtäviin kuului tietokoneiden käytössä tarvittavan ohjelmoinnin opetus. Virkaa hoitivat 1960-luvun alussa matematiikkakonekomitean entiset jäsenet Kari Karhunen ja Pentti Laasonen, kunnes siihen nimitettiin vuonna 1964 Paul Kustaanheimo. Tämä oli kuitenkin taivaanmekaniikan ja suhteellisuusteorian tutkija, joka ensi töikseen ilmoitti, ettei aikonut panna tikkua ristiin tietokoneiden ja ohjelmoinnin opetuksen edistämiseksi. Kustaanheimon änkryöinti koitui lopulta pelkästään eduksi yliopiston atk-opetukselle, jolle jouduttiin nyt etsimään vanhempi perustaa.

Operaatiossa kunnostautui erityisesti Salmisaaren yliopiston kummisetä Olli Lehto, joka oli nokkamiehenä tai vähintään takapiruna kaikissa Helsingin yliopiston tietokoneasioissa. Lehto oli mm. jäsenenä sekä laskentakeskuksen johtokunnassa että matemaattis-luonnontieteellisessä osastossa, jotka ryhtyivät syksyllä 1965 puuhaamaan Helsingin yliopistoon tietojenkäsittelyopin professorinvirkaa. Laskentakeskuksen johtokunnan 20.11.1965 yliopiston pienelle konsistorille tekemässä esityksessä viran perustamista perusteltiin seuraavasti:

Automaattisen tietojenkäsittelyn (ATK) ala kehittyi nopeasti kaikkialla maailmassa. Amerikassa on 'Computer Science' oppiaineena useassa yliopistossa (esim. Stanford, Toronto), minkä lisäksi kaikissa suuremmissa yliopistoissa on 'Computing Center', joka toimii myös koulutus- ja tutkimuskeskuksena. Ruotsissa on asiaa tutkinut komitea ehdottanut kolmen ko. alan professorinvirran perustamista.

Suomessa on tästä syksystä lähtien olemassa tietojenkäsittelyopin professorinvirka Yhteiskunnallisessa korkeakoulussa. Teknillisessä korkeakoulussa ja

kaikissa kauppakorkeakouluissa annetaan mainitun alan opetusta. Helsingin Yliopistossa sitä antaa Matematiikan laitoksen laskentatoimisto, Ydinfysiikan laitoksen laskentatoimisto ja Sovelletun matematiikan osasto; tänä lukuvuonna pidetään 10 ATK:yyyn liittyvää kurssia, osaksi matematiikan, osaksi muiden aineiden opiskelijoille.

Sovellettu matematiikka käsittää kuitenkin muitakin aloja kuin numeerisen analyysin. Toiselta puolen automaattinen tietojenkäsittely sisältää tärkeänä komponenttina systeeminsuunnittelun, joka lähinnä tähtää kaupallis-hallinnollisiin sovellutuksiin. On arvioitu (ATK-koulutustoimikunnan mietintö I), että vuosittain tullaan tarvitsemaan n. 150 ATK-alan korkeakoulutasoista valmistunutta henkilöä. Näin ollen Laskentakeskuksen johtokunta katsoo välttämättömäksi, että perustetaan erikoinen mainitun alan professorinvirka, joka palvelisi kaikkia tiedekuntia, mutta luonteensa mukaan lähinnä kuuluu Matemaattis-luonnontieteelliseen osastoon.

Kuten Yhteiskunnallisessa korkeakoulussa, myös Helsingin yliopistossa tärkein peruste tietojenkäsittelyopin professuurin perustamiselle oli atk-alan työvoimatarve. Merkittävin ero oli se, että matemaatikoiden ja fyysikoiden määrätessä Helsingin yliopiston tietokoneasioista virka perustettiin matemaattis-luonnontieteelliseen osastoon eikä toisena vaihtoehtona olleeseen valtiotieteelliseen tiedekuntaan. Helsingin yliopisto oli virkaa suunniteltaessa vain puolisen vuotta Yhteiskunnallista korkeakoulua perässä. Yleensä kovin hitaat hämäläiset olivat kuitenkin tällä kerralla niin paljon Helsingin herroja liukkaampia liikkeissään, että käynnistysvaiheeseen päästäessä hajurakoa oli kertynyt jo kaksi vuotta: Helsingin yliopistossa tietojenkäsittelyopin opetus alkoi vasta syyskuussa 1967.

Tampereen tavoin myös Helsingissä ensimmäinen tietojenkäsittelyopin professori löytyi Salmisaaren yliopistosta. Lehto päätyi valinnassa matematiikasta vuonna 1962 väitelleeseen Martti Tienariin (10.11.1935–13.10.2013), jolla oli vankkaa käytännön kokemusta atk-alalta mutta ei tieteellistä pätevyyttä tietojenkäsittelyopissa. Pätevyysongelman ratkaistakseen Lehto junaili Tienarin talvikaudeksi 1966–1967 Stanfordin yliopistoon tutustumaan sinne vastikään perustetun computer science -laitoksen toimintaan. Stanfordin Tienari laati suuntaviivat Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin opetukselle käynnistäen sen syksyllä 1967 matemaattis-luonnontieteellisen osaston uudessa tietojenkäsittelyopin laitoksessa. Oltuaan aluksi professorinviran hoitajana Tienari nimitettiin siihen 1.1.1969 lukien.

Martti Tienarin lisäksi laitokselle palkattiin suuri joukko muita tietojenkäsittelyopin opettajia. Opetustoiminnan pioneereina kunnostautuivat erityisesti pitkäaikaiset lehtorit Timo Alanko ja Hannu Erkiö, jotka molemmat aloittivat työnsä laitoksella assistenteina keväällä 1968. Heistä Alanko oli toiminut aikaisemmin tilastomatemaatikkona Suomen akateemisen tietojenkäsittelyopin hautomossa, Kaapelitehtaalla Salmisaaren yliopistossa.

Vaikka tietojenkäsittelyoppi sijoitettiin Helsingissä eksaktien eikä hallinnollisten tieteiden joukkoon, ei ero Tampereeseen näy tutkintovaatimuksissa, jotka koostuivat

molemmissa yliopistoissa kolmesta osasta, ohjelmoinnista, systeeminsuunnittelusta ja harjoitustöistä. Tutkintovaatimusten harmonisointi on luonnollista seurausta siitä, että molemmissa yliopistoissa tietojenkäsittelyopilta odotettiin ennen kaikkea atk-alalla tarvittavien ohjelmoitsijoiden ja suunnittelijoiden kouluttamista. Helsingin yliopiston ensimmäiset tietojenkäsittelyopin approbatur-vaatimukset olivat lukuvuonna 1967–1968 seuraavat:

1. Elektronisen tietokoneen (pitempi) ohjelmointikurssi
2. Automaattisen tietojenkäsittelyn peruskurssi
3. Noin 5 käytännöllistä harjoitustyötä (n. 50 työtuntia)

Opetus laajeni cum laudeen ja laudaturiin lukuvuonna 1969–1970, jolloin tietojenkäsittelyoppi alkoi Helsingin yliopistossa profiloitua itsenäiseksi computer science -tieteenalaksi. Profiloituminen näkyy hyvin ko. lukuvuoden tutkintovaatimuksissa:

Cum laude approbatur

1. Tietojenkäsittelyopin approbatur
2. Kurssi informaatiostruktuureista
3. Systeemiohjelmoinnin peruskurssi
4. Tietojenkäsittelyelektroniiikan perusteet
5. Kaksi valinnaista erikoiskurssia (esim. COBOL-ohjelmointi, Operaatioanalyysi, Tilastollinen tietojenkäsittely, Numeerinen analyysi)
6. Laboratoriotöitä kahden lukukauden ajan

Laudatur

1. Tietojenkäsittelyopin cum laude approbatur
2. Matemaattisen logiikan kurssi
3. Systeemiohjelmoinnin jatkokurssi
4. Kolme valinnaista erikoiskurssia (esim. seuraavilta aloilta: automaattien teoria, formaalisten kielten teoria, informaatioteoria, kybernetiikka, keinotekoinen älykkyys, systeemianalyysi)
5. Erikoistyö n. 300 tuntia
6. Kirjallinen tutkielma

Huomionarvoista on, ettei hallinnollista tietojenkäsittelyä (eli ”systeemianalyysiä”) ollut cum lauden tai laudaturin pakollisten kurssien joukossa, vaikka se pysyi pitkään yhtenä laitoksen pääaloista sovelletun matematiikan ja ohjelmointiteorian rinnalla. Sen sijaan sekä tutkintovaatimukset että opetusohjelmat sisälsivät varsin paljon matemaatiikkaa, joka Helsingin yliopistossa katsottiin tietojenkäsittelyopin isoksiveljeksi.

Myös Helsingissä tietojenkäsittelyoppi oli alusta lähtien erittäin suosittu oppiaine: syksyllä 1967 tietojenkäsittelyopin approbatur-kurssille osallistui yhteensä noin 400 opiskelijaa, joista noin 200 suoritti ensimmäisen lukuvuoden aikana koko approbatur-oppimäärän. Tampereen tavoin syvällisemmät cum laude- ja laudatur-tason kurssit olivat kovin vaikeita töissä käyville tai sinne pyrkiville atk-alan ”ammattilaisille” hylkäys-

prosentin ollessa yleensä yli 60. Ensimmäiset tietojenkäsittelyopin kirjalliset pro gradu -tutkielmat valmistuivat syksyllä 1971.

Myös Helsingin yliopistossa seuraavia tietojenkäsittelyopin professoreita saatiin odottaa 1980-luvulle saakka. Lopulta Esko Ukkonen nimitettiin professoriksi vuonna 1985 ja Heikki Mannila vuonna 1989.

Vuonna 2014 Helsingin yliopistossa on 11 tiedekuntaa. Tietojenkäsittelytieteen laitos sijaitsee matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa; lisäksi laitoksen yhteydessä toimii osa Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston yhteisestä Tietotekniikan tutkimuslaitoksesta (Helsinki Institute for Information Technology, HIIT).

4. JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Jyväskylässä yliopiston juuret ovat vuonna 1863 kaupunkiin perustetussa suomenkielisessä opettajankoulutusseminaarissa, joka muuttui vuonna 1934 Kasvatustieteelliseksi korkeakouluksi. Korkeakoulun toiminnan laajennuttua 1950–1960-luvuilla sen nimi muutettiin monitieteistä profilia paremmin vastaavaksi Jyväskylän yliopistoksi vuonna 1966.

Kuten Tampereella, myös Jyväskylässä alkusysäyksen tietojenkäsittelyopille antoi valtion panostaminen kauppatieteellisen alan koulutukseen. Suotuisan poliittisen ilmapiirin vallitessa varakas Jyväskylän seudun yrityksiä edustanut Jyväskylän Kauppalaisseuran säätiö teki jo vuonna 1964 aloitteen liiketaloustieteellisen tiedekunnan perustamisesta silloiseen Kasvatustieteelliseen korkeakouluun ja liitti ehdotukseensa opetuksen käynnistämisen tulevaisuuden talouselämässä välttämättömässä ”tietokoneopissa”. Aloite konkretisoitui vuonna 1967, kun säätiön tekemään 10-vuotiseen lahjoitukseen nojautuen opetusministeriö päätti perustaa Jyväskylän yliopistoon tietojenkäsittelyopin professorin ja assistentin virat. Samaan pakettiin kuuluivat vastaavat virat taloustieteessä.

Kauppalaisseura ei saanut Jyväskylän yliopistoon toivomaansa liiketaloustieteellistä tiedekuntaa, joten sekä taloustiede että tietojenkäsittelyoppi jouduttiin sijoittamaan filosofisen tiedekunnan kasvatustieteelliseen osastoon. Vuoden 1968 rakenneuudistuksessa molemmat alat sijoitettiin temaattisesti läheisten kumppanien kanssa uuteen kasvatus- ja yhteiskuntatieteelliseen tiedekuntaan. Tietojenkäsittelyopin laitos puolestaan perustettiin vuoden 1969 alussa.

Professorinvirkaan rekrytoi hoitajan Jyväskylän yliopiston rehtori Ilppo Simo Louhivaara (29.10.1927–19.12.2008), jolla oli paitsi suhteita myös sopivasti lukkarinrakkaudesta tietojenkäsittelyoppia kohtaan, olihan hän toiminut aiemmin mm. matemaatiikkakonekomitean matemaatikkona ja Helsingin yliopiston matematiikan laitoksen laskentatoimiston esimiehenä. Louhivaara houkutteli Jyväskylään Helsingin yliopiston fysiikan ja ydinfysiikan laitoksilla alan opetuskokemusta saaneen Auvo Sarmannon (s. 10.3.1935) sellaisella järjestelyllä, että tietojenkäsittelyopin kolmena ensimmäisenä lukuvuotena 1967–1970 professuurin hoito jaettiin Sarmannon (90 %) ja Louhivaaran (10 %) kesken. Kauppalaisseuran säätiö oli ilmoittanut lahjakirjassaan, että ”lahjavaroin perustettujen professuurien haltijoiden opetusvapautta ei lahjoittajan taholta mitenkään rajoitettaisi”, joten Sarmento ja Louhivaara pääsivät käynnistämään opetuksen puhtaalta pöydältä ja parhaiden kykyjensä mukaan.

Kolmanneksi opetustoiminnan käynnistäjäksi saatiin IBM:ltä Heikki Laitinen, joka aloitti työnsä laitoksella assistenttina heti syyskuussa 1967. Hänestä tuli sittemmin laitoksen pitkäaikainen lehtori, joka hoiti useaan otteeseen myös professorin ja apulaisprofessorin virkoja. Käytännössä Sarmanto ja Laitinen suunnittelivat ja toteuttivat kahteen pekkaan Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelyopin alkuvuosien opetuksen.

Tehtävässään fyysikko Sarmanto ja matemaatikko Laitinen ottivat mallikseen ACM:n (Association for Computing Machinery) vuonna 1965 alustavina ja keväällä 1968 lopullisina julkaistut undergraduate-tasoisten Computer Science -koulutusohjelmien (BSc) suosituksset, joiden mukaan niihin tulisi sisältyä pakollisina kursseina seuraavat:

- Introduction to Computing
- Computers and Programming
- Introduction to Discrete Structures
- Numerical Calculus
- Data Structures
- Programming Languages
- Computer Organization
- Systems Programming
- Vähintään kaksi seuraavista:
 - Compiler Construction
 - Switching Theory
 - Sequential Machines
 - Numerical Analysis I
 - Numerical Analysis II

Koska opettajia oli aivan liian vähän edes ACM:n suositusten mukaisten ydinkurssien opettamiseksi, koostui alkuvuosien opetus Jyväskylän yliopistossa pääasiassa ohjelmoinnista, harjoitustöistä, tietorakenteista ja numeerisesta analyysistä. Merkille pantavaa on, että vaikka professuuri perustettiin liike-elämän aloitteesta ja sijoitettiin talous- ja yhteiskuntatieteiden yhteyteen, ei tietojenkäsittelyopin alkuvuosien opetus sisältänyt juurikaan systeemin suunnittelua. Sarmanto puolusteli tätä ilmeistä ristiriitaa paitsi ACM:n suosituksilla myös kyseisen alueen ”vahvalla kaupallisella luonteella” ja sillä, että ”systeemin suunnittelun tehokas opettaminen edellyttää opiskelijoiden kunnollista perehtymistä yrityksen rakenteeseen ja toimintaperiaatteisiin”. Sarmanto ei siis ilmeisesti pitänyt ajatuksesta sotkea vapaaseen akateemiseen opetukseen liiaksi kaupallisia intressejä.

Tietojenkäsittelyopin Computer Science -luonne ei kuitenkaan näytä miellyttäneen emotiedekuntaa, sillä laitos joutui vuonna 1970 laatimaan yhteiskuntatieteellisten aineiden kehittämistoimikunnalle tietojenkäsittelyopin opetuksen ja tutkimuksen kehittämissuunnitelman vuosiksi 1972–76. Uudistuksen tuloksena oppiainetta siirrettiin aikaisempaa enemmän yritysjohtoa lähellä olevien systeemin suunnittelijoiden kouluttamiseen. Profilointiin vaikutti myös se, että Auvo Sarmannon jälkeen tietojenkäsittelyopin professuuria hoitaneilla Timo Järvellä ja Pekka Aholla oli systeemin suunnittelijan taustansa ansiosta ymmärrystä myös taloudellis-hallinnollisille kysymyksille.

Profiloinnin tuloksena syntyivät vuonna 1971 seuraavat tietojenkäsittelyopin tutkintovaatimukset:

Approbatur

1. ATK:n ja ohjelmoinnin peruskurssi
2. Suunnittelukurssi
3. Tietokoneen teknillinen ohjelmointi
4. Harjoitusohjelmia 2–3 kpl

Cum laude approbatur

1. Tietojenkäsittelyopin approbatur
2. Informaattiorakenteet
3. Algoritmiset kielet
4. Kaksi seuraavista kursseista: Numeerinen analyysi I, Systeemin suunnittelukurssi, Operaatioanalyysin perusteet, jokin muu erikseen sovittava kurssi
5. Osallistuminen proseminaariharjoituksiin
6. Laboratoriotöitä noin yhden lukuvuoden ajan

Laudatur

1. Tietojenkäsittelyopin cum laude approbatur
2. Neljä seuraavista kursseista: Systeemiohjelmointi, Automaattien teoria, Formaaliset kielet, Operaatioanalyysin jatkokurssi, Systeemisimulointi, Käännösohjelmien kurssi, Numeerinen analyysi II, Tietopankit ja informaatiohuolto, Käyttöjärjestelmät, jokin muu erikseen sovittava kurssi
3. Osallistuminen laboratoriotöihin noin lukuvuoden ajan
4. Osallistuminen laudaturseminaariin
5. Laudaturtyö

Vaatimukset sisälsivät ACM:n Computer Science -ydinaiheita, systeemin suunnittelua ja matematiikkaa. Ne vastasivat kysyntää sikäli, että tietojenkäsittelyoppia opiskeli pääaineena sekä kasvatus- ja yhteiskuntatieteellisen että matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan opiskelijoita. Myös opetus jakautui osin näiden tiedekuntien vastuulle, ja matemaattis-luonnontieteellisestä tiedekunnasta kortensa kantoi kekkoon erityisesti sovelletun matematiikan professori Aarni Perko, jonka viran opetus-alana oli nimenomaan tietojenkäsittelyoppi. Tietojenkäsittelyopissa oli runsaasti myös sivuaineopiskelijoita, koska se katsottiin – kuten muissakin yliopistoissa – muiden tieteenalojen oivaksi tukiaineeksi.

Tietojenkäsittelyopin sisällöllinen kahtiajako tehtiin konkreettisemmaksi vuonna 1973, jolloin opetus jaettiin kahteen osaan, matemaattiseen linjaan ja hallinnolliseen linjaan. Kahtiajako institutionalisoitiin vuonna 1974, kun tietojenkäsittelyopin laitos jaettiin yhteiskuntatieteelliseen ja matemaattis-luonnontieteelliseen osastoon, jotka sijoitettiin vastaavien tiedekuntien alaisiksi. Vuonna 1978 tätä jakoa vahvistettiin muuttamalla matemaattis-luonnontieteellinen osasto matematiikan laitoksen sovelletun matematiikan osastoksi ja jättämällä yhteiskuntatieteellinen osasto yhteiskuntatieteelliseen tiedekuntaan itsenäiseksi tietojenkäsittelyopin laitokseksi. 1980-luvulla pakkaa

sokettiin vielä entisestään yhdistämällä tietojenkäsittelyopin laitos ja tilastotieteen laitos, mutta toimimaton liitto kesti vain pari vuotta.

Ympäri käydään, yhteen tullaan, kun vuonna 1974 toisistaan erotetut veljekset löysivät taas toisensa 1990-luvun loppupuolella. Yhdistymiseen vaikutti osaltaan se, että vuonna 1993 modernimman nimen ottanut tietojenkäsittelytieteiden laitos ja matemaatiikan laitoksella omaksi ryhmäkseen erottunut tietotekniikka olivat tiivistäneet yhteistyötään mm. yhteisellä tutkijakoululla ja yhteisillä maisteriohjelmilla, ja osaltaan se, että jo muutoinkin outona lintuna yhteiskuntatieteellisessä tiedekunnassa pidetty tietojenkäsittelytieteiden laitos oli ajautumassa yliopiston rakenneuudistuksessa erilleen sille läheisestä kauppatieteellisestä koulutusalaista. Niinpä vuonna 1998 perustettiin Jyväskylän yliopistoon uusi informaatioteknologian tiedekunta, johon tuli kaksi laitosta, yhteiskuntatieteellisestä tiedekunnasta siirretty tietojenkäsittelytieteiden laitos ja matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan matematiikan laitoksesta lohkaistu tietotekniikan laitos. Tämä rakenne on edelleen voimassa vuonna 2014, jolloin Jyväskylän yliopistossa on kaiken kaikkiaan seitsemän tiedekuntaa.

Toisin kuin Tampereen ja Helsingin puuhamiehet Seppo Mustonen ja Olli Lehto, Ilppo Simo Louhivaara jätti 1960-luvulla Jyväskylässä tietojenkäsittelyopin käynnistämisen puolitiehen. Hän ei nimittäin huolehtinut siitä, että professorinvirkaan olisi tyrykällä tieteellisesti päteväksi katsottava taikka sellaiseksi kouluttautuva henkilö. Virka tosin julistettiin haettavaksi heti keväällä 1967, mutta siihen ei tullut yhtään hakijaa. Viran hoitajaksi saadulla Auvo Sarmanolla ei puolestaan ollut akateemisia ambitiesia ja hän otti tehtävän vastaan kuin minkä tahansa määräaikaisen projektin, alun perin vuodeksi. Vakinaisen professorin puuttuessa Sarmanto joutui vetämään kivirekeä matkalaukkuprofessorina lopulta kolme vuotta, minkä jälkeen hän siirtyi vuonna 1970 Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran suurtietokoneprojektin (DataSITRA) vetäjäksi ja siitä edelleen opetusministeriöön, vuonna 1972 tietokonepäälliköksi ja vuonna 1991 ylitarkastajaksi.

Jyväskylän yliopisto sai ensimmäisen nimitetyn tietojenkäsittelyopin professorin 1.8.1970, josta lukien virkaan nimitettiin Paavo Turakainen (s. 8.2.1942). Ilo jäi kuitenkin lyhytaikaiseksi, sillä Turakainen ei lopulta hoitanut virkaa päivääkään vaan siirtyi jo samana syksynä Helsingin yliopistoon tietojenkäsittelyopin apulaisprofessoriksi ja sieltä vuonna 1971 edelleen Oulun yliopistoon matematiikan professoriksi. Lähes yhtä huonosti kävi myös seuraavalla kerralla, kun 1.8.1974 virkaan nimitetty Pertti Järvinen (s. 5.4.1940) palasi puolestaan vuoden 1976 alussa Tampereen yliopistoon tietojenkäsittelyopin apulaisprofessoriksi.

Lopulta, yli kymmenen vuotta kestäneen yrittämisen jälkeen virkaan saatiin pysyvämpi professori, kun siihen 1.1.1979 lukien nimitetty Eero Peltola hoiti tehtävänsä vuoden 1985 loppuun saakka. Fyysikkotaustainen Peltola (s. 27.6.1938) oli aiemmin toiminut mm. Kaapelitehtaan Salmisaaren yliopistossa matemaatikkona ja ohjelmoijana sekä Helsingin yliopistossa Wegematic-operaattorina ja tietojenkäsittelyopin apulaisprofessorina, ja hänellä on ollut merkittävä rooli Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksen toiminnan vakiinnuttamisessa ja edelleen kehittämisessä. Tietojenkäsittelyopin toiseen professuuriin, opetusalanana tietojärjestelmät, nimitettiin vuonna 1987 Kalle Lyytinen.

Kuten muuallakin, myös Jyväskylän yliopistossa tietojenkäsittelyoppi houkutteli runsaasti atk-ammatteihin tähtääviä, kun syksyllä 1967 melkein 200 opiskelijaa aloitti approbatur-opintonsa. Valitettavasti erikummallinen uusi oppiaine osoittautui myös Jyväskylässä yhtä vaikeaksi kuin muissa yliopistoissa, sillä aloittajista ainoastaan kymmenen sai approbaturin kasaan kevään 1968 aikana. Ensimmäiset tietojenkäsittelyopin pro gradu -tutkielmat ja laudatur-oppimäärät valmistuivat vuonna 1971.

Silmiin pistää, että Jyväskylän yliopistossa oli selvästi enemmän naispuolisia tietojenkäsittelyopin opiskelijoita kuin muissa pioneeriyliopistoissa; esimerkiksi kahdeksan ensimmäistä alemman LuK- tai HuK-tutkinnon suorittanutta olivat naisia. Merkittävin syy naisten suureen osuuteen oli se, että Jyväskylän yliopistossa oli Suomen ainoa tietojenkäsittelyopin laitos, joka toimi kauppatieteellisellä alalla. Toiseksi selitykseksi feminiiniselle tutkintojakaumalle on tarjottu sitä, että naiset olivat jo tuohon aikaan tunnollisempia opiskelijoita kuin miehet, jotka siirtyivät heti opintojensa alussa mieluummin työelämään.

5. TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Suomen elinkeinoelämän tekniseen modernisointiin tarvittavan henkilökunnan kouluttamiseksi perustettiin Helsinkiin vuonna 1849 Helsingin Teknillinen reaalikoulu, joka muuttui vuonna 1872 Helsingin Polyteknilliseksi kouluksi, vuonna 1879 Helsingin Polyteknilliseksi opistoksi, vuonna 1908 yliopistotaseiseksi Suomen Teknilliseksi Korkeakouluksi ja lopulta vuonna 1942 Teknilliseksi korkeakouluksi (TKK). Korkeakoulu alkoi vuonna 1955 siirtyä vaiheittain Helsingistä Espoon Otaniemeen ja muutto saatiin päätökseen lopulta 1970-luvun puolivälissä. TKK, Helsingin kauppar korkeakoulu ja Taideteollinen korkeakoulu yhdistettiin vuonna 2010 säätiömuotoiseksi Aalto-yliopistoksi. TKK toimi vuoden ajan nimellä Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, kunnes se organisoitiin vuonna 2011 neljäksi Aalto-yliopiston tekniikan alan korkeakouluksi (Insinööritieteiden korkeakoulu, Kemian tekniikan korkeakoulu, Perustieteiden korkeakoulu, Sähkötekniikan korkeakoulu). Vuonna 2014 Aalto-yliopistossa on lisäksi Helsingin kauppar korkeakoulua vastaava Kauppar korkeakoulu ja Taideteollista korkeakoulua vastaava Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu.

Teknillisessä korkeakoulussa oltiin alusta lähtien suomalaisen tietokone- ja atk-toiminnan eturintamassa, olihan matematiikkakonekomitean ydinjoukossa useita TKK:n edustajia. TKK:n ensimmäinen tietokone, Kaapelitehtaalta vuokrattu Elliott 803 A, käynnistettiin 10.5.1961 päärakennuksen vanhassa piirustussalissa ja sijoitettiin hallinnollisesti sovelletun matematiikan laitoksen tietokonelaboratorioon. Elliott 803 A korvattiin tehokkaammalla Elliott 803 B:llä vuonna 1967, jolloin tietokonelaboratoriosta muodostettiin TKK:n yleinen palvelulaitos, laskentakeskus.

Elliottin sijoittaminen nimenomaan sovelletun matematiikan yhteyteen TKK:n yleiselle osastolle oli perusteltua sikäli, että yksi keskeisistä TKK:n atk-opetuksen käynnistäjistä oli sovelletun matematiikan professori Olli Lokki (28.4.1916–6.3.1994). Lokki luennoi mm. kevätlukukaudesta 1961 lähtien *Sovellettu matematiikka III* -kurssia, joka käsitteli elektronikoneiden loogisia toimintoja ja matematiikkakoneiden ohjelmointia.



Ohjelmoinnin merkitys kasvoi TKK:lla niin nopeasti, että se tuli lukuvuonna 1967–1968 pakolliseksi kaikille korkeakoulun opiskelijoille.

Toinen TKK:n atk-opetuksen pioneeriyksikkö oli teknillisen fysiikan osasto, jossa mm. matematiikkakonekomitean puuhamies Tage Carlsson piti lukuvuonna 1960–1961 kurssin *Matematiikkakonetekniikka*. Kurssista muokattua *Tietokonetekniikkaa* luennoi lukuvuodesta 1964–1964 lähtien puolestaan Teuvo Kohonen, joka nimitettiin teknillisen fysiikan, erityisesti elektroniikan professoriksi 1.4.1965 lukien. Opetuksen lisäksi osastolla tehtiin myös konstruktivista kehitystyötä: siellä valmistui vuonna 1967 Kohosen johdolla transistoritekniikkaan perustuva oma tietokone REFLAC (Reflex Arithmetics Computer), jota käytettiin tietokonetekniikan opetuksessa ja tutkimuksessa vuoteen 1972 saakka ja joka on sijoitettu hyvin ansaitsemalleen paikalle ESKOn vieheen tekniikan museoon. Todettakoon kuriositeettina, että TKK:n teknillisen fysiikan osasto on ollut varsinainen tutkimuksen huippuyksikkö paljon ennen kuin ne virallisesti keksittiin, sillä osaston 1960-luvun professoreista ovat Kohosen lisäksi myös Pekka Jauho ja Olli Lounasmaa edenneet aina akateemikoiksi asti.

Yleisen osaston ja teknillisen fysiikan osaston lisäksi atk-opetusta annettiin 1960-luvulla sähkötekniikan osastossa ja koneinsinööriosastossa, joten TKK:lla oli pakka melkoisen hajallaan. Sähkötekniikan osastolla oli mm. oma tietokone, vuonna 1967 hankittu IBM 1620, ja koneinsinööriosastossa opetettiin vuodesta 1966 lähtien systeemin suunnittelua. Pakka pantiin parempaan järjestykseen vuonna 1968, jolloin TKK:lle perustettiin 1.9. lähtien sekä sen ensimmäinen tietojenkäsittelyopin professorin virka että tietojenkäsittelyopin laitos (TKK:n terminologiassa ”laboratorio”). Uuden laitoksen ja professuurin omistuksesta kisasivat kiivaimmin teknillisen fysiikan osasto ja sähkötekniikan osasto, jolloin tyypillisenä suomalaisena nahkapäätöksenä se päätettiin sijoittaa neutraaliin maastoon eli koneinsinööriosastoon.

Olli Lokki otti tehtäväkseen junailta TKK:n ensimmäiseksi tietojenkäsittelyopin professoriksi matematiikkakonekomitean sihteerinä vuosina 1954–56 toimineen ja hyväksyi organisaattoriksi tunnetun Hans ”Hasse” Andersinin, joka oli työskennellyt pitkään IBM:ssä ja VTKK:ssa. Andersin (9.8.1930–24.10.2010) hoiti aluksi professuuria pari vuotta, kunnes hänet tekniikan tohtoriksi väittelemisen (1969) ja tieteellisen pätevöitymisen myötä nimitettiin virkaan vuonna 1970. Andersin jätti virkansa vuonna 1978 siirtyen Valmetin automaatio-osaston johtoon, mistä hän palasi vuonna 1986 TKK:lle ruotsinkieliseen tietotekniikan (automationsteknik) professorin virkaan.

Andersin sai apumiehikseen kaksi assistenttia, joista ensimmäinen, Reijo ”Shosta” Sulonen aloitti tehtävässään yhtä aikaa Andersinin ja koko laitoksen kanssa syksyllä 1968. Toisena assistenttina aloitti seuraavana vuonna Markku ”Murkku” Syrjänen, minkä jälkeen kolmikko Andersin-Sulonen-Syrjänen ryhtyi tarmokkaasti suunnittelemaan ja toteuttamaan TKK:n tietojenkäsittelyopin opetusta ja vähitellen myös alan tutkimusta.

Heti alkuun siirrettiin TKK:n yleinen ohjelmoinnin opetus sovelletusta matematiikasta luontevasti tietojenkäsittelyopin laitokselle. Toisin kuin useimmissa muissa yliopistoissa, TKK:lla nostettiin tietojenkäsittelyopin koulutuksen yleiseksi periaatteiksi ACM:n tiedehenkisten suositusten sijasta käytännöllisyys ja alan teollisuutta palveleva monipuolisuus. Kuten kaikkialla muualla, tietojenkäsittelyopin kurssit imivät puoleensa satoja opiskelijoita myös TKK:lla. ”Perusopintojen” ohjelmointikursseille osallistui

opiskelijoita kaikilta TKK:n osastoilta, ja pääaineenaan tietojenkäsittelyoppia opiskelleet jakaantuivat melko tasaisesti koneinsinööriosaston, sähkötekniikan osaston ja teknillisen fysiikan kesken.

Lukuvuonna 1972–1973 toteutettiin TKK:lla koulutuksen rakenteellinen uudistus, jossa tutkinnot modularisoitiin pääaineiksi (TKK:n terminologiassa ”pitkiksi ammattiaineiksi”) ja sivuaineiksi (”lyhyiksi ammattiaineiksi”) ja kurssit mitoitettiin 40 työtuntia vastaaviksi opintoviikoiksi (ov). DI-tutkinnon opintoviikkomääräksi asetettiin 180, josta 80 ov oli kaikille saman osaston opiskelijoille yhteisiä perusopintoja (so., yleisiä insinööriopintoja kuten matematiikkaa ja fysiikkaa), 40 ov pitkää ammattiainetta, 20 ov lyhyttä ammattiainetta, 20 ov diplomityötä ja 20 ov vapaasti valittavia opintoja.

Tietojenkäsittelyopin pitkäksi ammattiaineeksi (40 ov) vakiintuivat koneinsinööriosaston tutkintosäännössä seuraavat vaatimukset:

Esitiedot (yhteiset perusopinnot, joita ei lasketa ammattiaineeseen)

1. Johdatus ohjelmointiin (2 ov)
2. Johdatus tietojenkäsittelyyn (3 ov)

Pakolliset kurssit (28 ov)

1. Ohjelmointitekniikka (3 ov)
2. Tietokoneen arkkitehtuuri I (2 ov)
3. Informaatiojärjestelmät (4 ov)
4. Tietorakenteet ja tiedostot (4 ov)
5. Systeemiohjelmat (2 ov)
6. Lohkorakenteiset ohjelmointikielet (3 ov)
7. Tietojenkäsittelyopin ohjelmatyö (5 ov)
8. Tietojenkäsittelyopin erikoistyö (3 ov)
9. Tietojenkäsittelyopin seminaari (2 ov)

Valinnaiset kurssit (12 ov)

- Mitkä tahansa muut tietojenkäsittelyopin erikoiskurssit (mm. ohjelmointikielistä)
- Lisäksi mm. Työpsykologian yleiskurssi, Mekaanisen puuteollisuuden ATK-sovellutukset, Informaationkäsittely tekstin- ja kuvanvalmistuksessa, Prosessidynamiikka, Liikennetekniikan ATK, Temaattinen kartografia sekä digitaalitekniikan kurssit, tietoliikennetekniikan kurssit, tietokonetekniikan kurssit ja jotkut sovelletun matematiikan ja teollisuustalouden kurssit

Suomen korkeakoululaitosta 1970-luvulla uudistettaessa käynnistettiin myös laajamittainen TKK:n uudistusprosessi, joka johti lopulta vuonna 1985 Teknillistä korkeakoulua koskevaan lakiin ja sitä vuonna 1986 seuranneeseen asetukseen. Merkittävin muutos oli osastojen määrän radikaali vähentäminen yhdistämällä niitä uusiksi ”suurosas-toiksi”. Vaikka kuuden sisäisesti pirstaleisen suurosasoston muodostamista vastustettiin yleisesti, oli siitä tietojenkäsittelyopille se ilo, että aiemmin hajallaan eri osastoissa sijainneet opetus- ja tutkimusyksiköt saatiin koottua yhdeksi osastoksi. Vuonna 1986 toimintansa aloittaneeseen tietotekniikan osastoon kuuluivat automaatiotekniikan, tieto-

jenkäsittelytekniikan, teknillisen fysiikan, matematiikan ja systeemianalyysin laitokset, joista tietojenkäsittelytekniikka oli tietojenkäsittelyopin perillinen. Jo ennen hallinnollista yhdistymistä oli alan eri osastojen opetus yhdistetty tietotekniikan koulutusohjelmaksi.

TKK:lla palattiin vanhoihin hyviin ”pienosastoihin” vuonna 1996, jolloin tietotekniikan osastoon jätettiin lähinnä tietojenkäsittelytekniikka muiden laitosten siirryessä muihin osastoihin. Vuonna 2011 tehdyssä Aalto-yliopiston uudelleen organisoinnissa entinen tietotekniikan osasto sijoitettiin Perustieteiden korkeakouluun; lisäksi tietojenkäsittelytieteisiin kuuluvaa opetusta ja tutkimusta sijoitettiin Sähkötekniikan korkeakouluun ja Kauppakorkeakouluun.

Tietotekniikan osaston perustamisesta vuonna 1986 koitui myös se hyöty, että tietojenkäsittelyoppiin saatiin TKK:lle lopulta uusia professuureja, kun Martti Mäntylä nimitettiin vuonna 1987 tietotekniikan professoriksi ja Murkku Syrjänen vuonna 1988 tietojenkäsittelytekniikan professoriksi. Jo sitä ennen, vuonna 1980, oli Shosta Sulonen nimitetty Hans Andersinilta vapautuneeseen tietojenkäsittelyopin professorin virkaan.

Osittain Aalto-yliopistossa ja osittain Helsingin yliopistossa toimii myös niiden yhteinen Tietotekniikan tutkimuslaitos HIIT (Helsinki Institute for Information Technology), jossa tehdään sekä tietotekniikan perustutkimusta että soveltavaa tutkimusta. HIIT perustettiin vuonna 1999 (osittain Helsingin yliopiston rahoittamana) Teknilliseen korkeakouluun ja se muuttui vuonna 2001 emoyliopistojensa yhteiseksi laitokseksi, kun siihen perustettiin Helsingin yliopistoon sijoitettu ”perustutkimusyksikkö” aiemman HIITin muuttuessa samalla Teknilliseen korkeakouluun sijoitetuksi ”tavoitetutkimusyksiköksi”. Perustutkimusyksikön ensimmäiseksi johtajaksi valittiin Heikki Mannila ja tavoitetutkimusyksikön johtajaksi HIITin johtajana alusta pitäen toiminut Martti Mäntylä. Yksiköt yhdistettiin vuonna 2009, jolloin HIITin ainoaksi johtajaksi valittiin Heikki Mannila. Hänen siirryttyään muihin tehtäviin johtajaksi valittiin vuonna 2010 alkaneeksi viisivuotiskaudeksi Sami Kaski.

6. OULUN YLIOPISTO

Vuonna 1958 perustettu Oulun yliopisto siirtyi tietokoneaikaan vuoden 1965 lopussa, kun tietokonekeskus aloitti toimintansa. Käytännön tietokonepalvelujen lisäksi tietokonekeskus järjesti tietojenkäsittelyn ja ohjelmoinnin peruskursseja, kunnes yliopiston atk-toiminnan laajentuessa tietokonepalvelut piti jo parin vuoden kuluttua organisoida uudelleen. Remontti toteutettiin perustamalla vuoden 1968 lopussa tietojenkäsittelyopin laitos, joka aloitti toimintansa vuoden 1969 alussa. Avainhenkilönä laitoksen perustamisessa oli matematiikan professori Yrjö Kilpi (7.3.1924–6.2.2010). Toisin kuin muissa Suomen yliopistoissa, tietojenkäsittelyopin laitosta ei Oulussa sijoitettu mihinkään tiedekuntaan vaan siitä tehtiin yliopiston erillisyksikkö. Pääsyy erikoiseen statukseen oli se, että laitoksen vastuulla olivat atk-alan opetuksen lisäksi yliopiston yleiset tietokonepalvelut, joita hoiti sen alayksiköksi sijoitettu laskentakeskus.

Laitos pysyi erillisyksikkönä aina 1980-luvulle saakka, jolloin sen opetus- ja tutkimustoiminta oli laajentunut siinä määrin, että yliopistossa katsottiin lopulta aiheelliseksi liittää laitos johonkin tiedekuntaan normaaliksi ainelaitokseksi. Laitoksella ei ai-

nakaan yksimielisesti kannatettu hallinnollisen aseman muuttamista, koska erillisyyksikön aseman menettämisen pelättiin heikentävän laitoksen resursseja. Pitkällisen väännön jälkeen tietojenkäsittelyopin laitos siirrettiin kuitenkin 1.8.1987 alkaen luonnontieteellisen tiedekunnan ainelaitokseksi ja samalla laskentakeskuksesta muodostettiin uus-vanha yliopiston erillisyksikkö, ATK-keskus. Myös tiedekuntasijoittelussa laitoksen oma tahto jyrättiin, sillä siellä olisi mieluummin liitytty opetusta ja tutkimusta lähempänä olevaan teknilliseen tiedekuntaan.

Yhtä aikaa tietojenkäsittelyopin laitoksen kanssa perustettiin Oulun yliopistoon myös tietojenkäsittelyopin professorin virka. Sen ensimmäisinä hoitajina toimivat lyhyillä pätkillä Pekka Malinen, Björn Cronhjort ja Seppo Sarna, kunnes laitokselle saatiin sen varsinainen grand old man, Pentti Kerola. Hoidettuaan ensin tietojenkäsittelyopin apulaisprofessorin ja sitten professorin virkaa syksystä 1971 lähtien Kerola nimettiin professoriksi 1.6.1973 lukien.

Ainoana tietojenkäsittelyopin professorina Kerola (s. 23.3.1935) oli avainhenkilö, kun laitoksen toimintaa vakiinnutettiin ja sen opetukselle ja tutkimukselle luotiin 1970- ja 1980-luvuilla omaa profilia. Kerolalla oli aikaisempaa työkokemusta mm. IBM:stä ja Enso Gutzeit Oy:stä, joissa omaksumiensa näkemysten mukaisesti hän suuntasi Oulussa tietojenkäsittelyopin opetuksen systemoinniksi kutsuttuun hallinnolliseen tietojenkäsittelyyn. Kerola oli sittemmin tietojärjestelmätieteeksi muotoutuneen tutkimusalueen suomalaisia uranuurtajia, jonka yhdessä Tampereen ja Jyväskylän yliopistojen professorin Pertti Järvisen kanssa vuosina 1973 ja 1975 julkaisemat *Systemointi I* ja *Systemointi II* olivat alueen ensimmäiset suomalaiset oppikirjat.

Tietojenkäsittelyopin laitoksen ensimmäisinä toimintavuosina sen tärkein tavoite oli saada käyntiin opetustoiminta. Koska laitoksen tehtävä yliopiston erillisyyksikkönä oli palvella kaikkien tiedekuntien atk-tarpeita, koostui siellä annettava approbatur-opetus alkuvuosina pelkästään käytännönläheisestä ohjelmoinnista ja tietokoneiden käyttötaidoista. Laaja-alaisempi cum laude -tason opetus aloitettiin keväällä 1970 ja laudatur-opetus syksyllä 1971. Tavanomaisen alkukankeuden lisäksi opetustoimintaa häirtäsi se, että laitoksen opettajat joutuivat huolehtimaan myös joistakin periaatteissa sen alayksikölle, tietokonekeskukselle, kuuluvista palvelutehtävistä; tosin vastavuoroisesti laskentakeskuksen henkilökunta osallistui opetukseen.

Pentti Kerolan suunnattua laitoksen opetusta määrätietoisesti profiililtaan hallinnolliseksi tietojenkäsittelyopin tutkintovaatimukset vakiintuivat kokonaisvaltaiseksi systemoinnin suuntautumisvaihtoehdoksi. Esimerkiksi lukuvuoden 1972–1973 tutkintovaatimukset olivat seuraavanlaiset:

Approbatur

1. ATK-peruskurssi
2. Ohjelmointi I
3. Ohjelmointi II

Cum laude approbatur

1. Tietojenkäsittelyopin approbatur
2. Tietorakenteet
3. Systemointi I
4. Systemointi II



5. Systemiohjelmointi
6. Kolme valinnaista kurssia esimerkiksi seuraavista: Simulointi, Operaatiotutkimus, Lajittelu- ja hakumenetelmät, Sovellusseminaari

Laudatur

1. Tietojenkäsittelyopin cum laude approbatur
2. Ohjaussysteemien teoria I
3. Ohjaussysteemien teoria II
4. Laudaturseminaari I
5. Laudaturseminaari II
6. Laudaturerikoistyöt
7. Neljä tai viisi valinnaista kurssia esimerkiksi seuraavista: Systemointi III, Systemoinnin menetelmät, Verkkoteoria, Verkkomenetelmät, Numeerinen matriisilaskenta, muut erikseen sovittavat matematiikan laudaturkurssit

Tietojenkäsittelyopin laitoksen erillisyksikköasemasta johtuen sillä ei aluksi ollut omaa opiskelijoiden sisäänottoa, vaan he tulivat tietojenkäsittelyoppiin tiedekuntien kautta. Pääaineena tietojenkäsittelyoppia saattoi opiskella ainoastaan luonnontieteellisessä tiedekunnassa, ja ensimmäiset tietojenkäsittelyopin pääaineopiskelijat (10 kappaletta) valittiin vuonna 1972. Ensimmäiset tietojenkäsittelyopin approbatur-kokonaisuudet (2) valmistuivat heti laitoksen ensimmäisenä toimintavuonna 1969 ja ensimmäiset laudatur-kokonaisuudet ja maisterit (5) vuonna 1973.

Suurelta osin tietojenkäsittelyopin laitoksen, Oulussa sijaitsevan VTT:n yksikön ja paikallisten alan yritysten välisen yhteistyön ansiosta tietojenkäsittelyopin tutkimus ja opetus suuntautuivat 1980-luvulla yhä enenevässä määrin ohjelmistotuotantoon. Toiminnan vakiinnuttamiseksi laitokselle perustettiin vuonna 1986 toinen professuuri, jonka alaksi täsmennettiin ohjelmistotuotanto. Samalla tietojenkäsittelyopin koulutusohjelmaan perustettiin ohjelmistotuotannon suuntautumisvaihtoehto, jonka opetus käynnistyi syksyllä 1986. Vuonna 1990 professuuriin nimitettiin VTT:ltä laitokselle vuonna 1988 viranhoitajaksi siirtynyt Samuli Saukkonen.

Tietojenkäsittelyopin laitoksen lisäksi automaattista tietojenkäsittelyä on Oulun yliopistossa harjoitettu myös teknillisessä tiedekunnassa, jonka sähkönsinööriosastoon (vuodesta 1975 lähtien: sähkötekniikan osasto) 1960-luvun lopulla perustetuista sähkötekniikan professuureista kaksi suunnattiin myöhemmin tietoliikennetekniikkaan ja tietokonetekniikkaan. Lisäksi vuonna 1986 osaston tietoliikennetekniikan laboratorioon perustettiin tietoliikennetekniikan professuuri ja vuonna 1990 tietokonelaboratorioon tietotekniikan professuuri. Näihin virkoihin nimitettiin vuonna 1988 Awnashilal B. Sharma ja vuonna 1991 Matti Pietikäinen.

Vaikka tietojenkäsittelyopin laitos olisi vuoden 1987 rakenneuudistuksessa siirtynyt mieluummin teknilliseen tiedekuntaan kuin luonnontieteelliseen tiedekuntaan, oli sillä myös jälkimmäiseen luontevia sidoksia: valtaosa laitoksen opiskelijoista oli luonnontieteellisestä tiedekunnasta ja matematiikka oli tietojenkäsittelyopin tärkein sivuaine. Lisäksi matematiikan laitoksella työskenteli useita tietojenkäsittelyoppissakin kun-

nostautuneita opettajia, kuten aikaisemmin Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin apulaisprofessoriksi ja Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelyopin professoriksi nimetty Paavo Turakainen, joka jatkoi automaattien ja formaalien kielten tutkimista myös Oulun yliopistossa.

1990- ja 2000-luvuilla tietojenkäsittelyopin laitoksen tutkimus- ja opetustoiminta laajeni ja monipuolistui mm. tietokoneavusteiseen systeemyöhön, digitaaliseen mediaan, käyttöliittymiin ja mobiilipalveluihin. Vuonna 2014 Oulun yliopistossa on kahdeksan tiedekuntaa ja lisäksi kauppakorkeakoulu, ja tietojenkäsittelytieteet, tietotekniikka ja tietoliikennetekniikka on sijoitettu tieto- ja sähkötekniikan tiedekuntaan.

7. TURUN YLIOPISTO

Kun Turun Akatemia siirrettiin vuonna 1827 Helsinkiin, loppui akateeminen opetus Turussa lähes sadaksi vuodeksi. Lopulta vuonna 1918 sinne perustettiin ruotsinkielinen Åbo Akademi ja sen suomenkieliseksi vastapainoksi vuonna 1920 Turun yliopisto, jota kutsuttiin aluksi kansallismielisesti Turun suomalaiseksi yliopistoksi. Siihen saakka yksityisenä yliopistona toiminut Turun yliopisto valtiollistettiin vuonna 1974. Vuonna 2010 se yhdistettiin Turun kauppakorkeakoulun kanssa konsortioksi, jonka nimeksi tuli Turun yliopisto.

Turun yliopistossa oli alusta lähtien, humanistisen tiedekunnan ohella, matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, joten matematiikka oli siellä vahvassa asemassa. Yksi suomalaisen tietojenkäsittelyopin tärkeimmistä pioneereista, Arto Salomaa (s. 6.6.1934), onkin muodollisesti Turun yliopiston matematiikan professori, johon virkaan hänet nimitettiin vuonna 1966. Pitkälti Salomaan ansiosta Turussa tietojenkäsittelyoppi ja (sovellettu) matematiikka ovatkin olleet lähempänä toisiaan kuin muissa Suomen yliopistoissa.

Turun yliopisto oli aivan eturintamassa atk:n saralla: siellä otettiin ensimmäisenä Suomen yliopistoista käyttöön tietokone (Wegematic 1000) vuoden 1960 lopussa. Turun yliopisto aloitti myös ensimmäisenä atk-koulutuksen. Jo keväällä 1959 matemaattikkakonekomitean jäsen Olli Varho piti siellä kurssin *On Electronic Computing Machines*, ja keväällä 1960 käynnistettiin paitsi Varhon toimesta Fortran-opetus myös tulossa olevan tietokoneen hyödyntämistä varten Wegematic-ohjelmointikoulutus, johon ensimmäiset opettajat tulivat koneen toimittajalta, Wenner-Grenin säätiöltä. Syksyllä 1962 koulutusta laajennettiin Sovelletun matematiikan ja tietojenkäsittelyalan tutkimussäätien tuella systeemin suunnitteluun.

Matematiikan laitoksella oli Arto Salomaan lisäksi erityisesti matemaattisen tilastotieteen ja sovelletun matematiikan professori Olavi Hellman hurahtanut automaattiseen tietojenkäsittelyyn. Hän luennoi 1960-luvun alkupuolella mm. kurssia *Hypoteettisen tietokoneen rakenteesta ja ohjelmoinnista*, jolla ohjelmointia opeteltiin täysin yleisellä ja mihinkään todelliseen tietokonemalliin kuulumattomalla konekielellä. Hellmanin opetus oli hyvää vastapainoa Salomaan teoreettisemmille kursseille, joilla käsiteltiin mm. Turingin konetta ja algoritmeja.

Tärkeä askel kohti tietojenkäsittelyoppia otettiin Turun yliopistossa vuonna 1966, jolloin matematiikan laitoksesta erotettiin omaksi yksikökseen sovelletun matematiikan laitos. Laitoksen esimieheksi valittiin Hellman, ja sen tehtäväksi määrättiin sovelletun matematiikan opetus- ja tutkimustyön lisäksi muiden laitosten avustaminen tietokonekysymyksissä (Wegematicin korvannut IBM 1130). Hellman laajensi sovelletun matematiikan laitoksen reviiriä siten, että siellä käynnistettiin tietojenkäsittelyopin approbatur-opetus keväällä 1969 ja cum laude syksyllä 1970. Ensimmäisiksi varsinaisiksi tietojenkäsittelyopin opettajiksi värvättiin lehtori Pekka Aho ja assistentti Olli Nevalainen.

Vuonna 1970 sovelletun matematiikan laitokseen perustettiin tietojenkäsittelyopin apulaisprofessorin virka, johon nimitettiin vuonna 1972 Aarni Perko. Samana vuonna oppiaine virallistettiin, kun matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan perustettiin tietojenkäsittelyopin laitos. Tietojenkäsittelyopin professorin viran perustamisen myötä käynnistettiin laudatur-opetus syksyllä 1973, ja ensimmäinen FK-tutkinto tietojenkäsittelyopista suoritettiin vuonna 1975. Professorin virkaan nimitettiin vuonna 1975 sen ensimmäinen hoitaja, Timo Järvi (s. 10.1.1942). Seuraavia täysiä professoreita saatiinkin sitten odottaa 1990-luvulle asti, jolloin apulaisprofessorin nimike muutettiin professoriksi. Heistä virkaiältään vanhin on vuonna 1979 apulaisprofessoriksi nimitetty Olli Nevalainen.

Tietojenkäsittelyopin opetus oli Turun yliopistossa alkuvuosina opettajien taustan takia varsin matematiikkapainotteista, joskin mallia tutkintovaatimuksiin ja opetusohjelmaan otettiin myös muista Suomen yliopistoista ja ACM:n suosituksista. Tietojenkäsittelyopin tutkintovaatimukset olivat lukuvuonna 1974–1975 seuraavanlaiset:

Approbatur

1. Tietojenkäsittelyopin approbaturkurssi (1 lukuvuosi 4 vt.)
2. Tietokoneella suoritettavia harjoitustöitä

Cum laude approbatur

1. Tietojenkäsittelyopin approbatur
2. Ohjelmointikielet
3. Numeerinen analyysi ja statistiikan laskumenetelmät
4. Operaatioanalyysin peruskurssi
5. Kaupalliset sovellukset
6. Tietokoneen loogiset perusteet
7. Datastruktuurit

Lisäainevaatimus: Matematiikassa arvosana approbatur

Laudatur

- A
1. Tietojenkäsittelyopin cum laude approbatur. Kolmen kuukauden käytännöllinen harjoittelu.
 2. Perusteellinen perehtyminen johonkin tietokonejärjestelmään
 3. Simulointi- ja optimointimenetelmät
 4. Automaattien teoria
 5. Kolme erikoiskurssia valinnaisesti seuraavilta aloilta:
 - automaattien ja kielten teoria
 - numeerinen analyysi
 - operaatioanalyysi

- datalogia
 - kaupallisen tietojenkäsittelyn erikoiskysymykset
- B. Lisäainevaatimus: Matematiikassa arvosana cum laude approbatur

Valtiollistaminen vuonna 1974 käynnisti Turun yliopistossa hallinnon uudistamisen, jossa – normaaliin tyyliin – yhdistettiin pieniä laitoksia suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Yhtenä tällaisena kokonaisuutena perustettiin vuonna 1975 matemaattisten tieteiden laitos, jossa oli kolme oppiainetta, matematiikka, sovellettu matematiikka ja tietojenkäsittelyoppi. Hallinnollinen uudistus ei juurikaan vaikuttanut tutkimukseen ja opetukseen, koska siinä vain koottiin organisaatiossa erilleen ajautuneet kumppanit takaisin samaan pakettiin. Yhteiselo kesti tällä kerralla varsin pitkään, kunnes tietojenkäsittelyoppi yhdistyi vuonna 2002 sovelletun fysiikan laitoksen elektroniikan ja tietoliikennetekniikan kanssa uudeksi informaatioteknologian laitokseksi. Vuonna 2014 laitos kuuluu matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan, ja sen ylemmän tutkimuksen pääaineina tai linjoina ovat tietojenkäsittelytiede, didaktinen tietotekniikka, ohjelmistotekniikka, sulautettu elektroniikka ja tietoliikennetekniikka. Turun yliopistossa on vuonna 2014 kuusi tiedekuntaa ja lisäksi kauppakorkeakoulu.

Turun yliopistojen yhteistyö tietojenkäsittelytieteissä tiivistyi merkittävästi, kun Turun yliopiston, Turun kauppakorkeakoulun ja Åbo Akademin alan laitokset muuttivat vuonna 1988 yhteiseen rakennukseen, DataCityyn Turun teknologiakeskuksessa. Vuonna 2006 Turun yliopiston ja Åbo Akademin laitokset muuttivat uuteen ICT-taloon yhdessä Turun tietotekniikan tutkimus- ja koulutuskeskuksen (TUCS) ja Turun ammattikorkeakoulun tietoliikenteen ja sähköisen kaupan kanssa.

TUCS perustettiin vuoden 1993 syksyllä, alun perin nimellä Turku Graduate School in Computer Science, tehostamaan tietojenkäsittelytieteiden tohtorikoulutusta Turun yliopistoissa. Mallia otettiin Caltechista (California Institute of Technology), jossa Åbo Akademin professori Ralph Back oli vastikään ollut vuoden mittaisella vierailulla, ja mukaan lähtivät Turun yliopiston matemaattisten tieteiden laitoksesta tietojenkäsittelyoppi ja diskreetti matematiikka, Åbo Akademin tietojenkäsittelyopin (informationsbehandling) laitos ja Turun kauppakorkeakoulun hallinnon laitoksesta tietojärjestelmätiede. Turun tohtorikoulu, jonka nimeksi muutettiin keväällä 1994 tutkimusyhteistyön vahvistamisen myötä Turun tietotekniikan tutkimuskeskus (Turku Centre for Computer Science, TUCS), oli organisoidun tohtorikoulutuksen käynnistäjiä Suomessa ja sitä käytettiin mallikappaleena luotaessa vuonna 1995 kansallista graduate school -järjestelmää. Lisäksi TUCS nimettiin vuosiksi 1995-1999 valtakunnalliseksi tutkimuksen huippuyksiköksi. Sen ensimmäiseksi johtajaksi valittiin hyvien tapojen mukaisesti aloitteen tekijä Ralph Back ja varajohtajaksi Timo Järvi.

8. MUUT YLIOPISTOT JA TUTKIMUSLAITOKSET

1960-luvun loppuun ja 1970-luvun alkuun sijoittuvan ensimmäisen aallon jälkeen tietojenkäsittelyopin laitoksia ja professuureja perustettiin 1970- ja 1980-luvuilla Suomen kaikkiin muihinkin korkeakouluihin. Erityisesti 1980-luvun voimakkaat laajennukset tekivät tietojenkäsittelyopista lopullisesti todellisen ja vakavasti otettavan akateemisen oppiaineen.



Tampereen teknillinen korkeakoulu

Tampereen teknillinen korkeakoulu aloitti toimintansa vuonna 1965 Teknillisen korkeakoulun sivukorkeakouluna. Se itsenäistyi vuonna 1972, muutti nimensä vuonna 2003 Tampereen teknilliseksi yliopistoksi ja muuttui säätiömuotoiseksi vuonna 2010.

Korkeakoulussa annettiin 1970-luvulla tietoteknistä opetusta sähkötekniikan osastossa, jonne vuonna 1976 nimitettiin elektroniikan professoriksi Yrjö Neuvo. Elektroniikan laitokseen perustettiin vuonna 1980 tietojenkäsittelytekniikan professuuri, johon nimitettiin kutsusta Tampereen yliopistosta siirtynyt Reino Kurki-Suonio. Vuonna 1985 korkeakoulussa käynnistettiin tietotekniikan koulutusohjelma ja vuonna 1993 sinne perustettiin tietotekniikan osasto. Vuonna 2014 alan tutkimus ja opetus on sijoitettu pääosin tieto- ja sähkötekniikan tiedekuntaan, jossa on kaksi hakukohdetta (sähkötekniikka, tietotekniikka) ja neljä laitosta (elektroniikka ja tietoliikennetekniikka, signaalinkäsittely, sähkötekniikka, tietotekniikka). Lisäksi tietojenkäsittelytiedettä harjoitetaan luonnontieteiden tiedekuntaan kuuluvassa matematiikan laitoksessa.

Åbo Akademi

Suomen ensimmäinen ruotsinkielinen yliopisto, Åbo Akademi, perustettiin vuonna 1918. Se on näin ollen Suomen kolmanneksi vanhin yliopisto Helsingin yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun jälkeen. Åbo Akademi oli yksityinen vuoteen 1981 saakka, jolloin se valtiollistettiin viimeisenä Suomen yliopistoista.

Åbo Akademiassa aloitettiin atk-opetus jo 1960-luvun alussa hyödyntämällä Turun yliopistojen yhteiskäyttöön hankittua Wegematic 1000 -tietokonetta. Alkuvuosina opetusta järjesti pääasiassa yliopiston yhteydessä toiminut kauppakorkeakoulu (Handelshögskolan vid Åbo Akademi), kunnes päävastuu siirtyi vähitellen matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan matematiikan laitokselle. Laitoksella käynnistettiin tietojenkäsittelyopin (informationsbehandling) approbatur-opetus keväällä 1968. Approbaturin tentaattorina toimi sovelletun matematiikan professori Bertil Qvist, ja alan opetuksesta huolehti pääasiassa vuosina 1970-1980 informaatioteorian ja tietojenkäsittelyopin (informationsteori och databehandling) sekä päätöksenteon ja tietojenkäsittelyopin (beslutsplanering och informationsbehandling) apulaisprofessoreja kauppakorkeakoulussa hoitanut Aimo Törn.

Vuoden 1981 valtiollistamisen yhteydessä kauppakorkeakoulu sulautettiin Åbo Akademiin, jolloin kaikki tietojenkäsittelyopin virat sijoitettiin matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan. Samassa yhteydessä perustettiin tietojenkäsittelyopin (informationsbehandling) professorin virka ja virallistettiin tietojenkäsittelyopin laitoksen (institutionen för informationsbehandling) asema tiedekunnassa. Professoreihin nimitettiin vuonna 1983 Ralph-Johan Back. 1980-luvulla Åbo Akademin ja Turun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitosten välinen yhteistyö tiivistyi siinä määrin, että ne muuttivat vuonna 1988 yhteiseen DataCity-rakennukseen ja perustivat vuonna 1993 (yhdessä Turun kauppakorkeakoulun kanssa) yhteisen tutkimus- ja koulutuskeskuksen TUCS.

DI-koulutuksen aloittaminen Åbo Akademiassa vuonna 1999 lisäsi merkittävästi IT-alan opiskelijamääriä ja oli askel kohti vuonna 2006 perustettua informaatioteknologian laitosta (institutionen för informationsteknologi). Vuonna 2010 Åbo Akademi organisoitiin kolmeksi tiedekunta-alueeksi. Informaatioteknologian laitos sijoitettiin tuol-

loin kolmen muun laitoksen kanssa luonnontieteiden ja tekniikan tiedekunta-alueelle (fakultetsområdet för naturvetenskaper och teknik). Vuonna 2014 laitoksen valikoi-maan kuuluvat kaikki kolme tieteenalan päähaaraa, tietojenkäsittelytiede (dataveten-skap), tietotekniikka (datateknik) ja tietojärjestelmätiede (informationssystem).

Helsingin kauppakorkeakoulu

Suomessa käynnistyi 1800-luvun puolivälissä keskustelu ”käytännöllistä tietoa” tuot-tavien korkeakoulujen tarpeellisuudesta, ja 1880-luvulla ryhdyttiin mm. suunnittele-maan kaupallisen opetuksen liittämistä insinöörejä kouluttavaan Polyteknilliseen opis-toon. Suunnitelma kariutui kuitenkin vuonna 1889 annettuun komiteamietintöön, jossa todettiin seuraavaan tapaan, ettei teknillistä ja kaupallista opetusta kannata pa-kottaa saman katon alle:

Totta kyllä on, ettei kauppamiehen ammatti samassa määrin kuin monen muun, esim. insinöörin, lepää tieteellisillä perustuksilla, ja sekin, että niitä keinotietoja, joita kauppias tarvitsee, voipi itselleen hankkia myöskin palve-luksessa olemalla kelvollisissa kontooreissa koti- tahi ulkomaalla.

Koska korkeampaa kaupallista opetusta ei saatu liitetyksi olemassa oleviin opinahjoi-hin, päätti suomalainen kauppiaskunta ottaa ohjat omiin käsiinsä: vuonna 1898 perus-tettiin Suomen Liikemiesten Kauppaopisto, jonka yhteyteen perustettiin vuonna 1911 ylioppilastasoinen Kauppakorkeakoulu. Sen ensimmäiseen opetusohjelmaan sisältyi kansantaloustiedettä, tilastotiedettä, liikkeenhoito-oppia, kemiaa ja kemian teknologi-aa (!), kirjapitoa, kauppalaskentaa, kauppakirjeenvaihtoa ja kieliopintoja kuudessa kie-lessä. Yksityinen Kauppakorkeakoulu siirtyi valtiolle vuonna 1974 ja samalla sen nimi muutettiin Helsingin kauppakorkeakouluksi.

Helsingin kauppakorkeakoulussa opetettiin atk:n perusteita ja atk-systeemien suunnittelua liiketaloustieteen yhteydessä jo 1960-luvun alkupuolella. Ala sai oman statuksen vuonna 1980, kun korkeakouluun perustettiin Tietojenkäsittelyliiton lahjoi-tusvaroin tietojenkäsittelyn professorin virka, johon nimitettiin vuonna 1983 Markku Sääksjärvi. Kauppakorkeakoulussa alan opetus ja tutkimus ovat keskittyneet tietojär-jestelmätieteeseen.

2000-luvulle tultaessa ajat olivat muuttuneet 1800-luvusta siinä määrin, ettei insi-nöörien ja kauppamiesten yhteiskoulutusta enää pidetty tuhoon tuomittuna ajatuksena. Vuonna 2010 perustetussa Aalto-yliopistossa ovatkin edustettuna sekä tekniset tieteet (Teknillinen korkeakoulu) että kauppatieteet (Helsingin kauppakorkeakoulu), höystetty-nä taideaineilla (Taideteollinen korkeakoulu). Vuonna 2014 tietojärjestelmätiede sijoittuu Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulussa tieto- ja palvelutalouden laitokseen.

Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu

Pitkien aluepoliittisten kädenvääntöjen ja lehmänkauppojen ansiosta Lappeenrantaan perustettiin teknillinen korkeakoulu vuonna 1969. 1970-luvun alkupuolella korkea-koulun opetus organisoitiin kemiantekniikan laitokseksi, tuotantotalouden laitokseksi, energiatekniikan laitokseksi, koneenrakennuksen laitokseksi ja yleisten tieteiden lai-



tokseksi. Lisäksi erillislaitosten joukossa oli mm. vuonna 1973 perustettu laskentakeskus. Vuonna 2002 korkeakoulun nimeksi muutettiin Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Tietojenkäsittelyopin opetus kuului korkeakoulun opetusohjelmaan alusta alkaen. Siitä vastasi yleisten tieteiden laitos (myöhemmin: osasto), jossa käynnistettiin vuonna 1985 tietotekniikan koulutusohjelma. Ohjelman käynnistämiseksi kunnostautuivat mm. sovelletun matematiikan apulaisprofessori Markku Lukka ja tietojenkäsittelyopin apulaisprofessori Pekka Neittaanmäki. Yleisten tieteiden osasto muutettiin vuonna 1987 tietotekniikan osastoksi, ja samassa yhteydessä nimitettiin Erkki Oja Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun ensimmäiseksi tietojenkäsittelytekniikan professoriksi. Vuonna 2014 osaston seuraaja, ohjelmistotuotannon ja tiedonhallinnan laitos, kuuluu Lappeenrannan teknillisen yliopiston tuotantotalouden tiedekuntaan.

Kuopion yliopisto

Kuopion korkeakoulu aloitti toimintansa vuonna 1972, ja sen nimi muutettiin Kuopion yliopistoksi vuonna 1984. Vuonna 2010 Kuopion yliopistosta ja Joensuun yliopistosta muodostettiin Itä-Suomen yliopisto, jossa oli neljä tiedekuntaa. Tietojenkäsittelytieteen laitos sijoitettiin fuusiossa luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekuntaan ja kahdelle kampukselle sellaisella työnjaolla, että Kuopion kampuksella opetuksen painopisteinä ovat kandidaattikoulutus ja suomenkielinen maisterikoulutus ja Joensuun kampuksella tietotekniikan opettajakoulutus ja englanninkielinen maisterikoulutus. Vuonna 2014 laitoksen oppiaineena on tietojenkäsittelytieteen lisäksi tilastotiede.

Kuopion korkeakoulun suunnittelutoimikunta esitti tietojenkäsittelyopin professorin virkaa jo vuoden 1972 tulo- ja menoarvioon, mutta sellainen saatiin vasta vuonna 1985. Virkaa hoiti aluksi matematiikan apulaisprofessori Erkki Oja, kunnes siihen nimitettiin vuonna 1987 Martti Penttonen. Tietojenkäsittelyopista tuli jo sitä ennen, vuonna 1983 fysiikan koulutusohjelman suuntautumisvaihtoehto (sovelletun matematiikan laitoksessa) ja vuonna 1990 oma koulutusohjelmansa. Alan tutkimustoiminnan suuntaamiseen Kuopion yliopistossa vaikutti merkittävästi paitsi tietojenkäsittelyopin laitoksen profiloituminen, myös vuonna 1974 perustetun laskentakeskuksen johtosääntöön kirjattu tehtävä tietojenkäsittelymenetelmien kehittämistä terveydenhuollon ja lääketieteen tarpeisiin.

Turun kauppakorkeakoulu

Turun kauppakorkeakoulu perustettiin paikallisen yritys-elämän aloitteesta vuonna 1950. Se siirrettiin valtion omistukseen vuonna 1977 ja liitettiin Turun yliopistoon vuonna 2010.

Korkeakoulun atk-opetus aloitettiin liiketaloustieteeseen kuuluneella *Tietokoneiden systeemin suunnittelukurssilla* syksyllä 1963. Tietojenkäsittelyoppi (peruskurssi ja lyhyt oppijakso) ilmestyi itsenäisenä oppiaineena opetusohjelmaan jo lukuvuonna 1966–1967. Approbatur ja cum laude tulivat ohjelmaan lukuvuonna 1968–1969. Tietojenkäsittelyopin asemaa korkeakoulussa edisti alkuvuosina aktiivisimmin talousmatematiikan ja tilastotieteen professori Pentti Malaska, ja opetuksen kehittämisen avainhenkilöitä oli tietojenkäsittelyopin lehtori ja yliassistentti Markku Nurminen.

Kauppakorkeakouluun perustettiin tietojenkäsittelyopin laitos vuonna 1971 ja tietojenkäsittelyopin professorin virka vuonna 1987. Siihen nimitettiin vuonna 1989 aiemmin apulaisprofessorina toiminut Tapio Reponen, jonka viran alaksi muutettiin tietojärjestelmätiede vuonna 1998. Turun kauppakorkeakoulun tietojärjestelmätiede oli vuonna 1993 mukana perustamassa Turun yliopistojen yhteistä tutkimus- ja koulutuskeskusta TUCS. Vuoden 2010 yliopistofuusiossa laitoksen vahvuusalue, tietojärjestelmätiede, sijoitettiin Turun kauppakorkeakoulun johtamisen laitokseen, jonka nimi vuonna 2014 on johtamisen ja yrittäjyyden laitos.

Joensuun yliopisto

Joensuun korkeakoulu aloitti toimintansa vuonna 1969, ja sen nimi muutettiin Joensuun yliopistiksi vuonna 1984. Vuonna 2010 Joensuun yliopistosta ja Kuopion yliopistosta muodostettiin Itä-Suomen yliopisto.

Tietojenkäsittelyopin opetus aloitettiin vuonna 1974 matematiikan ja fysiikan osastossa. Tietojenkäsittelyopin laitos perustettiin matemaattis-luonnontieteelliseen tiedekuntaan vuonna 1984, jolloin perustettiin myös alan ensimmäinen professorin virka. Siihen nimitettiin vuoden 1990 alusta lukien Kuopion yliopistosta siirtynyt Martti Penttonen.

Vaasan yliopisto

Reilun kymmenen vuoden poliittisen kamppailun jälkeen myös Pohjanmaalle saatiin korkeakoulu, kun yksityinen Vaasan kauppakorkeakoulu aloitti toimintansa vuonna 1968. Se valtiolistettiin vuonna 1977, ja sen nimi muutettiin toiminnan laajentumista vastaten Vaasan korkeakouluksi vuonna 1980 ja edelleen Vaasan yliopistiksi vuonna 1991.

Tietokoneiden käyttäjiä palvellut atk-opetus laajennettiin vähitellen tietojenkäsittelyopiksi, ja kaupallis-tekniseen tiedekuntaan saatiin tietotekniikka pääaineeksi vuonna 1988. Ensimmäiseksi tietotekniikan professoriksi nimitettiin vuonna 1990 Matti Jakobsson. Vuonna 2014 alan tutkimuksesta ja opetuksesta Vaasan yliopistossa vastaa teknillinen tiedekunta, pääosin tieto- ja tietoliikennetekniikan yksikkö ja pieneltä osin sähkö- ja energiatekniikan yksikkö.

Svenska handelshögskolan

Ruotsinkielinen kauppakorkeakoulu Svenska handelshögskolan (Hanken) perustettiin vuonna 1927 vuonna 1909 perustetun kauppakoulun Högre Svenska Handelsläroverket pohjalta. Hanken valtiolistettiin muiden yliopistojen mukana vuonna 1975.

Atk-opetus käynnistettiin Hankenissa jo 1960-luvun alkupuoliskolla pakollisella luentosarjalla *Databehandlingsorganisation*. Ala sai oppiainestatuksen vuonna 1978, jolloin tilastotiede (statistik) ja tietojärjestelmätiede (kvantitativ planering och systemering) muodostivat laitoksen Institutionen för statistik och adb. Adb-opetuksen käynnistäjiä Hankenilla olivat lehtori Björn-Eric Mattsson ja 1990-luvulla apulaisprofessorina toiminut Inger Eriksson. Vuonna 1999 Hankeniin perustettiin tietojenkäsittelyopin (informationsbehandling) professorin virka, johon nimitettiin seuraavana vuonna Bo-Christer Björk. Vuonna 2014 tietojärjestelmätiede sijaitsee Hankenissa yritysjohtamisen ja organisaation laitoksessa (institutionen för företagsledning och organisation).

VTT

Valtion teknillinen tutkimuslaitos (VTT) perustettiin vuonna 1942 säätämällä sitä koskeva laki. Lain ja asetuksen mukaan VTT oli kauppa- ja teollisuusministeriön alaisuudessa toimiva itsenäinen tutkimuslaitos, jonka tehtävänä oli ”harjoittaa teknillistä tutkimustoimintaa tieteellisessä ja yleishyödyllisessä tarkoituksessa”. Lisäksi VTT:n oli testattava viranomaisten ja yksityisten henkilöiden sekä yritysten ja yhteisöjen pyynnöstä materiaaleja ja rakenteita ja sillä oli oikeus tehdä maksullisia toimeksiantotutkimuksia. VTT:n nimi muutettiin vuonna 1972 Valtion teknilliseksi tutkimuskeskukseksi ja vuonna 2010 Teknologian tutkimuskeskus VTT:ksi.

Vaikka VTT oli virallisesti itsenäinen, se oli aluksi tiiviisti sidoksissa Teknilliseen korkeakouluun ollen mm. sen alitilittäjä. VTT:ssä oli alussa kymmenen laboratoriota: rakennusteknillinen laboratorio, puuteknillinen laboratorio, paloteknillinen laboratorio, metallitekniillinen laboratorio, vuoritekniillinen laboratorio, sähkötekniillinen laboratorio, kemiallistekniillinen laboratorio, sillanrakennus- ja staattinen laboratorio, tie-laboratorio ja elintarviketeollisuuslaboratorio. VTT toimi pitkään osittain TKK:n tiloissa saaden oman päärakennuksensa Espoon Otaniemeen vasta vuonna 1975. Lopullinen pesäero VTT:n ja TKK:n välille tehtiin Suomen yliopistojen ja korkeakoulujen valtiolistamisprosessin yhteydessä, kun TKK pakkosirrettiin vuonna 1971 opetusministeriön alaisuuteen VTT:n jäädessä kauppa- ja teollisuusministeriölle.

Laboratorioiden määrä lisääntyi nopeasti: vuonna 1950 VTT:ssä oli 15 ja vuonna 1965 jo 26 laboratoriota. Laboratorioiden johtajat olivat sivutoimisia TKK:n professoreita; esimerkiksi teknillisen fysiikan laboratoriota johti vuosina 1946-1972 matemaatiikkakonekomitean napamiehiinkin kuulunut TKK:n teoreettisen fysiikan professori Erkki Laurila. Jotta VTT:n rönssyilevään rakenteeseen olisi saatu jotakin tolkkua, organisoitiin laboratoriot vuonna 1972 kolmeen tutkimusosastoon, rakennus- ja yhdyskuntatekniikkaan, materiaali- ja prosessitekniikkaan sekä sähkö- ja atomitekniikkaan. Senkin jälkeen VTT:ssä on ollut lukuisia organisaatiouudistuksia. Vuonna 2014 VTT:n tutkimuksella on kahdeksan teknologista painoaluetta: bio- ja kemianprosessit, energia, liiketoimintatutkimus, mikroteknologiat ja elektroniikka, palvelut ja rakennettu ympäristö, sovellettu materiaalitekniikka, teolliset järjestelmät sekä tieto- ja viestintäteknologiat (mediateknologiat, ohjelmistokehitys, sulautetut järjestelmät, tietointensiiviset palvelut, tietoliikennealustat, tietoturva, tilannetietoiset palvelut, verkkoteknologiat).

Koska VTT on perustettu valtakunnalliseksi tutkimuslaitokseksi, on sen yksiköitä hajautettu ympäri maata. Suurimmat keskittymät ovat syntyneet pääkaupunkiseudulle (Espooseen), Ouluun ja Tampereelle. Vuonna 2014 VTT:llä on Suomessa toimipisteitä lisäksi Jyväskylässä, Kajaanissa, Kuopiossa, Lappeenrannassa, Raahessa, Rajamäellä ja Turussa sekä ulkomailla Washingtonissa (USA), Shanghaissa (Kiina), Tokiossa (Japani), Soulissa (Etelä-Korea), Brysselissä (Belgia), São Paulossa (Brasilia) ja Genevessä (Sveitsi).

Tietojenkäsittelytieteet alkoivat nousta VTT:ssä esiin 1970-luvun lopulla, kun valtion teknologiakomitea määritteli mikroelektroniikan, tietoliikenteen, tietojenkäsittelyn, tuotannonohjauksen ja automaatiotekniikan Suomen teknisen kehityksen painopistealoiksi, joihin ryhdyttiin määrätietoisesti ohjaamaan kansallista tutkimus- ja kehitysrahoitusta. VTT vastasi kehityksen kulkuun jakamalla vuonna 1983 sähkö- ja atomitekniikan tutki-

musosastonsa kahtia, informaatiotekniikan tutkimusosastoksi ja energiatekniikan tutkimusosastoksi. Uuden informaatiotekniikan tutkimusosaston ensimmäiseksi tutkimusjohtajaksi nimettiin teletekniikan laboratorion johtaja Esko Heikkilä.

Vuonna 1984 VTT:lle perustettiin tietojenkäsittelytekniikan laboratorio, jonka johtajaksi nimettiin seuraavan vuoden alusta Salmisaaren yliopiston kasvatti ja Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelyopin professori Eero Peltola. Muut 1980-luvulla perustetut informaatiotekniikan tutkimusosaston laboratoriot olivat elektroniikan laboratorio, graafinen laboratorio, instrumenttitekniikan laboratorio, optoelektroniikan laboratorio, puolijohdelaboratorio, sairaalatekniikan laboratorio, teletekniikan laboratorio ja tietokonetekniikan laboratorio. Vuonna 1994 informaatiotekniikan tutkimusosasto organisoitiin uudelleen, VTT Tietotekniikaksi (tutkimusjohtaja: Pekka Silvennoinen) ja VTT Elektroniikaksi (Jorma Lammasniemi). Näistä ”tulosityksiköistä” siirryttiin vuonna 2005 ”teknologiapainoalueisiin”, joiden joukossa on siitä lähtien ollut VTT Tietotekniikan perillisenä tieto- ja viestintäteknologiat.

Nokia Research Center

Nokia perusti vuonna 1986 oman tutkimuskeskuksen (Nokia Research Center, NRC), paitsi tekemään Nokian liiketoimintoihin liittyvää soveltavaa tutkimusta myös koordinoimaan Nokian osallistumista kansallisiin ja kansainvälisiin tutkimus-, kehitys- ja standardointihankkeisiin. NRC:n ensimmäiseksi johtajaksi nimettiin aiemmin Teknillisessä korkeakoulussa mm. tietoliikennetekniikkaa opettanut Viljo Hentinen. Kun Nokia päätti 1990-luvun alkupuolella keskittyä tietoliikenteeseen, suunnattiin NRC:ssä tehtävä tutkimus tätä liiketoimintasektoria tukeville alueille, kuten radio- ja tietoverkkotekniikkaan, tietoliikenneprotokolleihin, käyttöliittymiin, tietoturvaan ja ohjelmistotekniikkaan. NRC:n tutkijat ovat myös tuottaneet aktiivisesti julkaisuja näiden tietojenkäsittelytieteen osa-alueiden tieteellisillä foorumeilla.

NRC on ollut läheisessä yhteistyössä yliopistojen kanssa ja sen palvelukseen on siirtynyt suuri joukko Suomen yliopistoista valmistuneita maistereita ja tohtoreita. Lisäksi NRC:ssä on työskennellyt useita yliopistojen professoreita johtavissa asiantuntijatehtävissä, joko osa-aikaisina tai päätoimisina (virkavapaalla). Vilkkainta tällainen vuorovaikutus oli 2000-luvun alussa, jolloin NRC:n palveluksessa työskentelivät professorikunnasta mm. Kai Koskimies (Tampereen teknillinen korkeakoulu / yliopisto), Heikki Mannila (Helsingin yliopisto / Teknillinen korkeakoulu), Kaisa Nyberg (Teknillinen korkeakoulu), Jukka Paakki (Helsingin yliopisto), Kimmo Raatikainen (Helsingin yliopisto) ja Heikki Saikkonen (Teknillinen korkeakoulu). Näyttävin urakehitys on NRC:n palvelukseen vuonna 2004 siirtyneellä Helsingin yliopiston professori Henry Tirrillä, joka on edennyt aina Nokian teknologiajohtajaksi ja johtokunnan jäseneksi saakka. Tirri onkin Yrjö Neuvon ohella Nokiassa parhaiten menestynyt tietojenkäsittelytieteiden akateeminen tutkija.

II

SUOMEN

TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN

TUTKIMUS

Kun tietojenkäsittelyopin koulutus oli saatu Suomessa hyvään vauhtiin 1960-luvulla, oli vuorossa tieteellinen tutkimus. Se käynnistettiin ensimmäiseksi tutkimusalueilla, jotka olivat lähellä alan ensimmäisten professorien omien opintojen tieteenalaa, joka oli useimmissa tapauksissa matematiikka tai fysiikka. Niiden pohjalta käynnistyi 1960-luvulla erityisesti formaalien kielten, automaattien teorian ja neuroverkkojen tutkimustyö Turun yliopistossa ja Teknillisessä korkeakoulussa. Ensimmäinen tietojenkäsittelyopin ydinaineeseen keskittynyt laajempi tutkimushanke oli 1970-luvun puolivälissä Helsingin yliopistossa käynnistetty ohjelmointikielten kääntäjien automaattista tuottamista tutkinut metakääntäjäprojekti. 1970- ja 1980-luvuilla tutkimus levisi muillekin tietojenkäsittelytieteiden alueille, joista useimmissa suomalaiset tutkijat ovat tehneet kansainvälisesti katsottuna huippuluokan tieteellistä tutkimusta.

9. TUTKIMUSTOIMINNAN KÄYNNISTÄMINEN

Tietojenkäsittelyoppi tuotiin Suomen yliopistoihin ja korkeakouluihin 1960- ja 1970-luvulla täyttämään atk-alalle ennustettua työvoimapulaa, joten ensimmäisten professorien ja muiden opettajien aika kului rattoisasti koulutuksen ylösajossa eikä tutkimukselle jäänyt juurikaan aikaa. Ei heillä sitä paitsi olisi ollut tietojenkäsittelyopin tieteelliseen tutkimukseen tarvittavaa tieteellistä pätevyyttäkään, koska kaikki pioneerit olivat suorittaneet sekä perus- että jatkotutkintonsa joltakin muulta tieteenalalta, useimmiten matematiikasta tai fysiikasta.

Itse asiassa moni varsin menestynyt tutkija onkin aloittanut tieteellisen uransa joko matematiikassa tai fysiikassa ja siirtynyt myöhemmin tietojenkäsittelytieteen piiriin (taikka heidät on sinne adoptoitu tiedeyhteisön hiljaisella päätöksellä). Parhaita esi-

merkkejä näistä loikkareista ovat Teuvo Kohonen ja Arto Salomaa, jotka voidaan nimitä suomalaisen tietojenkäsittelytieteen tutkimuksen varsinaisiksi grand old maneiksi ja oman eloon jääneen koulukuntansa perustajiksi.

Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan ja elektroniikan professorina vuosina 1965-1993 toiminut Teuvo Kohonen kiinnostui 1960-luvulla ”oppivien koneiden” problematiikasta kehittäessään korkeakoulun digitaalitekniikan ja tietokonetekniikan opetusta. Oppivan koneen käsite kristallisoitui tutkimuksen myötä vähitellen adaptiiviseksi assosiaatiomuisteiksi ja niistä edelleen 1980-luvun alussa julkaistuksi itseorganisoivan kartan (Self-Organizing Map, SOM) laskentamalliksi. Kohosen uraa uurtava tutkimustyö on luonut perustan laajalle ja menestyksekkäälle neuroverkkojen, hahmontunnistuksen ja älykkäiden järjestelmien tutkimussuunnalle.

Turun yliopiston matematiikan professorina vuosina 1966-1998 toiminut Arto Salomaa puolestaan aloitti jo 1960-luvun alkupuolella formaalien kielten ja automaattiteorian tutkimuksen. Hän oli kymmenien vuosien ajan näkyvimpiä hahmoja teoreettisen tietojenkäsittelytieteen tiedeyhteisössä, kyseisen alueen suomalainen oppi-isä ja eittämättä ensimmäinen kansainvälisesti tunnettu ja arvostettu tietojenkäsittelytieteen tutkijamme. Myöhemmin Salomaa laajensi tutkimustyötään erityisesti salakirjoitukseen.

”Virallinen” tietojenkäsittelytieteen tutkimustoiminta käynnistettiin ensimmäisenä luonnollisesti niissä yliopistoissa, joihin perustettiin ensimmäiset tietojenkäsittelyopin laitokset ja professuurit. Alkuvaiheissa paneuduttiin muita tieteenaloja opiskelleille professoreille, tutkijoille ja jatko-opiskelijoille tuttuihin ja turvallisiin aiheisiin, kuten sovellettuun matematiikkaan, kunnes 1970-luvulla siirryttiin varsinaiseen tietojenkäsittelytieteeseen. Tähän vaikutti paitsi tutkijakunnan pätevytyminen, myös Computer Science -oppiaineen sisäinen kypsyminen omaleimaiseksi tieteenalaksi. Ensimmäiseksi laajemmaksi tietojenkäsittelytieteen tutkimushankkeeksi voidaan katsoa Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksella vuonna 1975 käynnistetty ja valtion luonnontieteellisen toimikunnan rahoittama ”Metakääntäjät ja ohjelmointikielten semantiikka”, joka samalla käynnisti aina 1990-luvun alkupuolelle jatkuneen ja varsin hyviä tuloksia tuottaneen metakääntäjien tutkimustoiminnan.

Vielä 1970-luvulla ulkopuolisesti rahoitettuja tutkimusprojekteja oli vähän ja ne olivat varsin pieniä, mutta rahahanat aukenivat vuonna 1983, jolloin perustettiin *teknologian kehittämiskeskus Tekes* (nykyisin *teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus*). Tekes rahoitti tietojenkäsittelytieteessä messevästi sekä fokuoituja tutkimushankkeita että laajempia tutkimusohjelmia, joihin piti saada sekä yritysten rahoitusta että yliopistojen tutkijoita. Erityisen merkittävä panostus tutkimukseen ja tuotekehitykseen oli ohjelmistoteknologian Finsoft-ohjelma, jota Tekes rahoitti vuosina 1988-1991. Yliopistoille Finsoft oli tärkeä paitsi siksi, että ne saivat ohjelmasta runsaasti tutkimusrahoitusta, myös siksi, että sen kaikkien kolmen osaohjelman johtajana oli professori: Finsoft I:ssä (sulautetut järjestelmät) Reino Kurki-Suonio, Finsoft II:ssa (tieto- ja toimistojärjestelmät) Pentti Kerola ja Finsoft III:ssa (rinnakkaisjärjestelmät) Ralph Back.

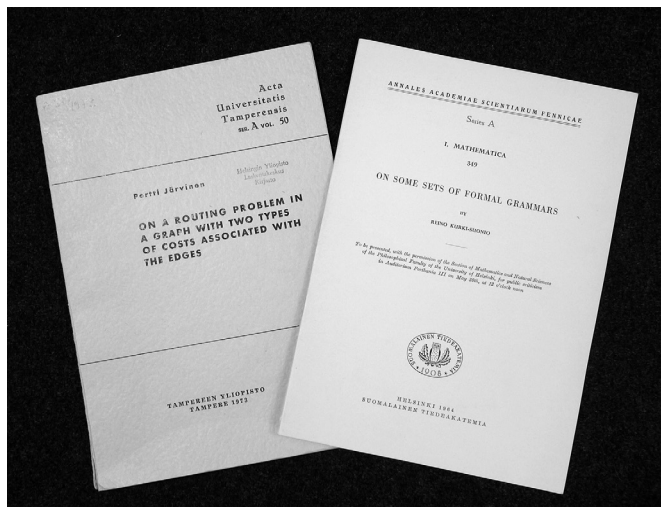
Kun 1970-luvulla opetusministeriössä ja yliopistoissa pidettiin yritysten kanssa tehtävää yhteistyötä vähintäänkin epäilyttävänä toimintana, muuttui yhteistyö Teke- sin ansiosta 1980-luvulla huomattavasti avoimemmaksi ja jopa hyväksytyksi. Samalla Suomen Akatemian rahoittaman ns. ”perustutkimuksen” rinnalle saatiin Tekesin ja yri-

tysten rahoittamaa ”soveltavaa tutkimusta”, vaikka jako näihin kahteen tutkimustyyppiin on aina ollut kovin epämääräinen ja keinotekoinen. Alkuun yritykset olivat Teke-sin rahoittamissa yliopistojen tutkimushankkeissa mukana ainoastaan johtoryhmissä seuraamassa tilannetta ja hyväksymässä aikaansaannoksia, mutta myöhemmin ne ovat sijoittaneet hankkeisiin myös omia tutkijoitaan.

Tekesin ohella toinen merkittävä tekijä tietojenkäsittelytieteen tutkimustoiminnan kehittymiselle 1980-luvulla oli tutkijakunnan tieteellinen pätevytyminen: kun alan ensimmäiset professorit olivat taustaltaan matemaatikoita ja fyysikoita, oli professorikunnan toinen sukupolvi jo väitellyt tietojenkäsittelyopista. Täten kun 1980-luvulla perustettiin kaikkiin Suomen yliopistoihin uusia professuureja ja uusiin tutkimushankkeisiin tarvittiin runsaasti tutkijoita, saatiin vakansseihin pätevää väkeä. Voidaan tiivistäen todeta, että kun 1970-luku oli tutkimuksessa vielä lähinnä harjoittelua ja suunnan hakemista, päästiin 1980-luvulla jo itse asiaan. 1990-luvulla tietojenkäsittelytiede sitten kypsyy lopullisesti täysipainoiseksi ja tunnustetuksi akateemiseksi tieteenalaksi eikä sitä enää pidetty varsinaisten tieteenalojen mitättömänä apulaisena.

Ensimmäisistä tietojenkäsittelytieteen tutkimusaiheista saa edustavan kuvan tarkastelemalla varhaisia alalta laadittuja väitöskirjoja. Ensimmäinen väitöskirja, joka aiheensa puolesta voidaan katsoa kuuluvaksi tietojenkäsittelytieteen ydinainekseen, on varmaankin vuonna 1964 Helsingin yliopistossa valmistunut Reino Kurki-Suonion matematiikan väitöskirja *On Some Sets of Formal Grammars*. Ensimmäinen nimenomaan tietojenkäsittelyopista kirjoitettu väitöskirja on puolestaan Pertti Järvisen vuonna 1973 Tampereen yliopistossa puolustama *On a Routing Problem in a Graph with Two Types of Costs Associated with the Edges*.

Ensimmäiset tietojenkäsittelytieteiden väitöskirjat. Reino Kurki-Suonion väitöskirja (1964) oikealla ja Pertti Järvisen väitöskirja (1973) vasemmalla.



Muissa alan pioneeriyliopistoissa ensimmäisinä valmistuneet tietojenkäsittelyopin väitöskirjat ovat seuraavat:

Helsingin yliopisto

Seppo Linnainmaa: *Analysis of Some Known Methods of Improving the Accuracy of Floating-Point Sums*, 1974

Jyväskylän yliopisto

Pekka Aho: *Adaptive Control Systems for Spare Part Inventory Networks*, 1974

Teknillinen korkeakoulu

Reijo Sulonen: *A Study in Concepts for an Interactive Graphic Programming Language*, 1975

Turun yliopisto

Olli Nevalainen: *On the Design and Use of a Simulation Game Map*, 1976

Oulun yliopisto

Juhani Iivari: *Contributions to the Theoretical Foundations of Systemeering Research and the PICO Model*, 1983

Millaista tieteellistä substanssia sitten sisältyi Suomen ensimmäisiin tietojenkäsittelytieteen väitöskirjoihin? Kurki-Suonion väitöskirja käsittelee formaaleja kieliä ja niitä määritteleviä kielioppeja. Sidos matematiikan ja tietojenkäsittelytieteen välille syntyy siitä, että väitöskirjassa käsiteltäviä formalismeja voidaan hyödyntää mm. ohjelmointikielten kääntäjissä, ja työssä viitataan useasti vuonna 1960 julkaistuun Algol-kielen syntaksin määrittelyyn. Väitöskirja sisältää 11 määritelmää (Definition), 8 teoreemaa (Theorem), 5 lemmaa (Lemma) ja yhden korollarin (Corollary). Teoreemojen joukossa on esimerkiksi seuraava:

Theorem 5.2. *The sets of non-self-embedding type 2 languages, type 3 languages, finite-state languages and regular languages are equal.*

Järvisen väitöskirja puolestaan voidaan luokitella 1960-1970-lukujen terminologiassa operaatiotutkimuksen ja nykykielessä verkkoteorian piiriin. Siinä tarkastellaan seuraavaa verkon reititysongelmaa:

Find a route R in a simple undirected 2-connected graph (without loops) denoted as $G = (V, E)$ such that

$$C_R = c_1 \sum_{(i \& j) \in R} d_{ij} + c_2 \sum_{\substack{(i \& j) \notin R \\ (i \& j) \in R}} f_{ij}$$

receives its minimum value. The coefficients c_1 , c_2 , d_{ij} and f_{ij} are non-negative real numbers for every edge $(i \& j) \in E$. If edge $(i \& j) \in R$, then factor d_{ij} must be added as many times to sum $\sum d_{ij}$ as this edge $(i \& j)$ belongs to route R .

Ongelma ratkaistiin työssä viidellä algoritmilla (branch-and-bound, branch-and-bound without backtracking, “shortest path”, route improvement, fast route), joiden te-

hokkuutta verrattiin Fortran IV -toteutusten avulla. Nimensä mukaisesti nopeimmaksi reititysalgoritmiksi osoittautui *fast route*.

Kurki-Suonion väitöskirjassa on 26 asiasivua ja 13 lähdeviitettä, Järvisen väitöskirjassa 40 asiasivua, 5 liitesivua ja 33 lähdeviitettä. Vanhaan hyvään aikaan osattiinkin keskittyä paitsi tärkeisiin myös sopivan kokoisiin ongelmiin ja ratkaista ne tiivistetyksi. Myös molempien töiden esipuheet (Preface) ovat varsin pelkistettyjä, Kurki-Suoniolla 12 ja Järvisellä 16 riviä, verrattuna nykyisiin ylisanoilla pilattuihin kiitosvirsiin (Acknowledgements).

Tietokoneiden ja automaattisen tietojenkäsittelyn alkuaikoina ei oikein tiedetty, mitä ylipäänsä pitäisi tutkia ja millaisia tuloksia tutkimuksesta arvaisi odottaa. Ensimmäisiä visionäärisiä ajatuksia alan tutkimuksesta esitti seuraavaan tapaan fil.kand. Reino Kurki-Suonio *Arkhimedes*-lehdessä vuonna 1962:

... Edellä sanotusta selvinnee, että tietokone on myös mielenkiintoinen tutkimuskohde. Sen tekniikka ja ohjelmointi kaipaavat vielä paljon teoreettista pohdintaa. Mitään irrallisia kohteita nämä eivät ole, vaan niillä on runsaasti liittymäkohtia muihin tieteisiin. Logiikka on kaiken perustana, ja ennen kaikkea juuri sitä tarvitaan uusien ideoiden löytämiseksi. Välttämättömänä apuna ovat hermofysiologia ja psykologia, jotka osaltaan valaisevat informaation käsittelyn ja päättelyiden tapahtumista elollisessa luonnossa. Teknilliset keksinnöt taas tekevät mahdolliseksi uusien ajatusten soveltamisen elottomiin automaatteihin. Ohjelmointi puolestaan on johtanut kommunikaatiossa käytettävien kielten teoreettiseen tarkasteluun, ja tällä on luonnollinen yhteys mm. tavallisten kielten loogisen struktuurin tutkimukseen. Muista tietokoneiden inspiroimista mielenkiintoisista tutkimuskohteista mainittakoon vielä automaattinen kielenkääntö, tietojen indeksointi ja referointi, koneellinen opetus, teollisuusprosessien automatisointi.

Kurki-Suonio oli näkemyksissään varsin maltillinen ja realistinen. Sen sijaan monet muut 1960-luvun visionäärit menivät pahasti metsään yliarvioidessaan tietokoneiden vaikutusta ihmiskunnan tulevaisuuteen. Esimerkiksi *Mitä-Missä-Milloin*-vuosikirjassa ennustettiin vuonna 1966 vuotta 2000 seuraavaan tapaan:

Tietokone (perheen tärkein laite) hoitaa myös perheen keittiön. Viikon ruokalista ohjelmoidaan reikäkortille ja ostokset pannaan automaattiseen varasto-syväjäädetytyslaatikkoon. Oikeaan aikaan valmistaa keittiöautomaatti halutun ruoan, jonka mekaaniset kädet tarjoilevat ruokapöytään. Samat kädet huolehtivat tiskistä, toiset robotit tekevät muut taloustyöt...

Futuristit arvelevat myös, että vuoden 2000 tienoilla otetaan ensimmäiset askeleet ihmisaivojen ja tietokoneiden yhteenliittämiseksi, jolloin ihmisen muis-tia voitaisiin parantaa huomattavasti.

Eipä osunut ennustus täysin nappiin: vuonna 2000 huolehti tietokoneen ja robottien sijasta edelleen mies niin kokkauksesta, tarjoilusta ja tiskaamisesta kuin muistakin taloustöistä täysin käsityönä, eikä aivokäyttöliittymistäkään ollut oikein mihinkään.

Tosin lähes kaikki muutkin 1960-luvun ennustukset näyttävät menneen enemmän tai vähemmän pieleen, kuten esimerkiksi seuraava samaisessa vuosikirjassa esitetty visio avaruuden valloituksesta:

Ihmisiä asuu kuussa, heillä on maata Marsissa – ja he lentävät ohi Venuksen ennen vuotta 2000.

Tietojenkäsittelytieteen sisällöllistä määrittelyä on koordinoitunut alan johtava tieteellinen järjestö ACM (Association for Computing Machinery). Se julkaisi ensimmäisen ns. CCS-luokituksensa (Computing Classification System) vuonna 1964. Koska kyseistä luokittelua käytettiin pitkään myös alan tieteellisten julkaisujen arviointeja julkaisseessa Computing Reviews -lehdessä, on siitä käytetty myös nimitystä CR Classification System.

Vielä vuonna 1964 Computer Science oli varsin suppea tieteenala, joten ensimmäinen CCS-luokitus mahtui kahdelle sivulle. Sen pääataso oli seuraavanlainen:

1. General Topics and Education
2. Computing Milieu
3. Applications
4. Programming
5. Mathematics of Computation
6. Design and Construction
7. Analog Computers

Tieteenala laajeni ja kehittyi 1970-luvulla siinä määrin, että seuraava, vuoden 1982 CCS-versio, oli jo kymmensivuinen. Tuo vuoden 1982 ACM:n CCS-luokitus on sikäli klassikko, että se kesti ajan hammasta uskomattoman hyvin aina vuoteen 2012 saakka: vuosina 1983, 1987, 1991 ja 1998 julkaistut versiot perustuivat rakenteeltaan ja sisällöltään vuoden 1982 versioon, lähinnä vain laajentaen sitä kulloinkin pinnalle nousseilla uusilla tietojenkäsittelyn virtauksilla. Koska vuoden 1982 CCS-luokitus oli kymmenien vuosien ajan alan tutkijoiden de facto pyhää sanaa, sen ylin taso ansaitsee paikan tietojenkäsittelytieteen historiassa:

- A. General Literature
- B. Hardware
- C. Computer Systems Organization
- D. Software
- E. Data
- F. Theory of Computation
- G. Mathematics of Computing
- H. Information Systems
- I. Computing Methodologies
- J. Computer Applications
- K. Computing Milieux

Vuoden 2012 CCS-luokitus onkin sitten jo varsin erilainen kuin edeltäjänsä. Paitsi että luokitukseen on perinteiseen tapaan otettu mukaan tietojenkäsittelytieteen uusimmat tuulet, on siitä poistettu alfanumeriikan käyttö hierarkian kuvaamisessa, ja – mikä merkittävintä – myös ylätasoinen ja alatasojen rakenne on uudistettu. Uusi rakenne poistaa useita vanhan luokittelun pahimpia puutteita; esimerkiksi ihmisen ja teknologian vuorovaikutus, joka ennen oli upotettuna Information Systems -kaatoluokkaan, on nyt nostettu peräti ylätasolle otsikolla ”Human-centered computing”. Toisaalta ”Information Systems”, joka Suomessa ja yleensäkin Euroopassa mielletään lähinnä tietojenkäsittelyn käyttäjänäkökulmaa ja yhteiskunnallisia ilmiöitä tarkastelevaksi tietojärjestelmätieteeksi, tarkoittaa CCS-luokituksessa edelleen tietokantoja ja tiedonhallintaa. Vielä jäi siis ACM:lle tarkentamisen varaa.

Alla esitetään vuoden 2012 CCS-luokituksen kaksi ylintä tasoa. Vaikka virallinen luokitus on numeroimaton, on pääluokille (12 kappaletta) annettu selvyuden vuoksi järjestysnumerot. Kuriositeettina voi todeta, että ACM:n julkaiseman luokituksen lopussa olevassa alan tärkeiden henkilöiden, tuotteiden ja yritysten luettelossa (”Proper nouns: People, technologies and companies”) on myös neljä aitoa suomalaista kuuluisuutta ja yksi suomalaisten omima keksintö, Nokia Corporation, Linus Torvalds, Linux, MySQL ja Short Message Service.

1. Hardware
 - Printed circuit boards
 - Communication hardware, interfaces and storage
 - Integrated circuits
 - Very large scale integration design
 - Power and energy
 - Electronic design automation
 - Hardware validation
 - Hardware test
 - Robustness
 - Emerging technologies
2. Computer systems organization
 - Architectures
 - Embedded and cyber-physical systems
 - Real-time systems
 - Dependable and fault-tolerant systems and networks
3. Networks
 - Network architectures
 - Network protocols
 - Network components
 - Network algorithms
 - Network performance evaluation
 - Network properties
 - Network services
 - Network types
4. Software and its engineering
 - Software organization and properties

- Software notations and tools
- Software creation and management
- 5. Theory of computation
 - Models of computation
 - Formal languages and automata theory
 - Computational complexity and cryptography
 - Logic
 - Design and analysis of algorithms
 - Randomness, geometry and discrete structures
 - Theory and algorithms for application domains
 - Semantics and reasoning
- 6. Mathematics of computing
 - Discrete mathematics
 - Probability and statistics
 - Mathematical software
 - Information theory
 - Continuous mathematics
- 7. Information systems
 - Data management systems
 - Information storage systems
 - Information systems applications
 - World Wide Web
 - Information retrieval
- 8. Security and privacy
 - Cryptography
 - Formal methods and theory of security
 - Security services
 - Intrusion/anomaly detection and malware mitigation
 - Security in hardware
 - Systems security
 - Network security
 - Database and storage security
 - Software and application security
 - Human and societal aspects of security and privacy
- 9. Human-centered computing
 - Human computer interaction (HCI)
 - Interaction design
 - Collaborative and social computing
 - Ubiquitous and mobile computing
 - Visualization
 - Accessibility
- 10. Computing methodologies
 - Symbolic and algebraic manipulation
 - Parallel computing methodologies
 - Artificial intelligence
 - Machine learning
 - Modeling and simulation
 - Computer graphics

Distributed computing methodologies
Concurrent computing methodologies

11. Applied computing
Electronic commerce
Enterprise computing
Physical sciences and engineering
Life and medical sciences
Law, social and behavioral sciences
Computer forensics
Arts and humanities
Computers in other domains
Operations research
Education
Document management and text processing
12. Social and professional topics
Professional topics
Computing / technology policy
User characteristics

Seuraavaksi käydään läpi suomalaista tietojenkäsittelytieteiden tutkimusta, sen suurimpia saavutuksia ja keskeisiä tutkijoita. Jotta esittelyyn saisi yleisesti hyväksyttyä ryhtiä, se on alla organisoitu vuoden 2012 CCS-luokituksen mukaisesti. Useat tutkimusalueet voisi sijoittaa useampaankin CCS-luokkaan, jolloin niille on yritetty valita teemaltaan luontevin tai tasapainon kannalta optimaalisin paikka. Tietojenkäsittelytieteiden osa-alueiden läpikäynnissä ei noudateta samaa järjestystä kuin ACM:n luokituksessa, vaan alueet käydään läpi suurin piirtein siinä järjestyksessä kuin niitä on Suomessa ryhdytty tutkimaan. On siis aloitettava matematiikkaan perustuvasta tutkimuksesta.

10. **TEOREETTINEN TIETOJENKÄSITTELYTIEDE (THEORY OF COMPUTATION)**

Tietojenkäsittelytieteen teoreettinen perusta luotiin 1930-luvulla, jo ennen kuin varsinaisia tietokoneita oli edes olemassa. Asialla olivat matemaatikot, jotka eivät niinkään halunneet rakentaa tietokoneita vaan tutkia laskennan mahdollisuuksia ja rajoja. Alueen klassinen perustyökälu on hypoteettinen, primitiivistä tietokonetta muistuttava *Turingin kone* (Turing machine), jonka brittiläinen matemaatikko Alan Turing kehitti vuonna 1936 mallintaakseen automatisoitavissa olevaa laskentaa.

Turingin konetta on tietojenkäsittelytieteessä käytetty paitsi laskettavuuden, myös algoritmien ja niiden vaativuuden analysointiin. Yksi teoreettisen tietojenkäsittelytieteen tukipilareista on Turingin ja amerikkalaisen matemaatikon Alonzo Churchin mukaan nimetty hypoteesi, ns. Churchin-Turingin teesi (Church-Turing thesis), jonka mukaan algoritmisesti ratkaistavien ongelmien joukko on täsmälleen sama kuin Turingin koneella laskettavissa olevien ongelmien joukko.



Turingin koneessa on siis laskennallista potkua, vaikka se olisi todellisiin tietokoneisiin verrattuna surkean primitiivinen. Koneessa on nimittäin ainoastaan neljä osaa: (1) ääretön muistinauha; (2) lukupää, joka lukee nauhalta symboleja, kirjoittaa niitä nauhalle ja siirtyy nauhalla eteen- tai taaksepäin; (3) tilarekisteri, joka sisältää koneen senhetkisen tilan; ja (4) siirtymäfunktio, joka koneen tilan (tilarekisterin) ja nauhalta lukupään kohdalta luetun symbolin perusteella määrittelee, poistetaanko symboli nauhalta, kirjoitetaanko sen tilalle uusi symboli, siirretäänkö lukupäätä askel oikealle tai vasemmalle vai pidetäänkö se paikoillaan sekä siirretäänkö kone (tilarekisteri) uuteen tilaan vai pidetäänkö tila ennallaan.

Myös tunnetuin tietojenkäsittelytieteen ongelma, ”onko $P = NP$ ”, on sidoksissa Turingin koneeseen. Ongelman määritteli Stephen Cook vuonna 1971, ja epäformaalisti tehtävänä on selvittää, ovatko kaikki polynomisessa ajassa epädeterministisellä Turingin koneella ratkeavat ongelmat (NP) ratkaistavissa myös deterministisellä Turingin koneella polynomisessa ajassa (P). Ongelma on osoittautunut teoreettisesti niin kovaksi pähkinäksi, että amerikkalainen Clay Mathematics Institute -tutkimuslaitos nimesen vuonna 2000 vuosituhatosen vaihtumisen kunniaksi yhdeksi seitsemästä avoimesta matematiikan (!) ongelmasta, joista kunkin ratkaisijalle tutkimuslaitos lupasi miljoonan dollarin palkkion. Vuonna 2014 palkkio on edelleen pöydällä.

Kysymystä ” $P = NP$ ” on yritetty ratkaista erityisesti tutkimalla ns. *NP-täydellisiä* (NP-complete) ongelmia. NP-täydelliseksi kutsutaan sellaista epädeterministisellä Turingin koneella polynomisesti ratkeavaa NP-ongelmaa, jolle löytyvä polynomiainkainen ratkaisu myös deterministisellä Turingin koneella johtaisi deterministisen polynomiainkaisen ratkaisun olemassaoloon kaikille muillekin NP-luokkaan kuuluville ongelmille. Tämä tarkoittaisi sitä, että ” $P = NP$ ” pätee. Kovasta yrityksestä huolimatta tällaista ratkaisua ei ole onnistuttu löytämään yhdellekään NP-täydelliselle ongelmalle, joista kuuluisin on eri kaupunkien kautta kulkevan optimaalisen reitin löytävä ns. kauppatukustajan ongelma.

Ongelma ” $P = NP$ ” vaikuttaa päällisin puolin mitä pahimman sortin akateemiselta huuhaalta, mutta sillä on myös käytännön merkitystä, sillä vaativuusluokkaan P kuuluvat eli polynomisessa ajassa syötteen koon suhteen toimivat algoritmit ovat yleensä riittävän nopeita käytännön sovelluksiin. Ei-polynomiset (esimerkiksi aikavaativuudeltaan eksponentiaalisesti syötteen koon mukana kasvavat) algoritmit eivät puolestaan sellaisia ole, ainakaan hirvittävän suurilla syötteillä.

Toinen keskeinen, Turingin konetta rajoittuneempi laskennan teorian abstraktio on *äärellinen automaatti* (finite state machine, finite state automaton), jota käytetään tietojenkäsittelytieteessä varsin monipuolisesti kuvaamaan sellaista laskentaa tai toimintaa, jossa laite tai sovellus siirtyy kulloisestakin tilanteesta riippuen tilasta toiseen. Tietojenkäsittelytieteilijät ovat kehittäneet uskomattoman määrän erilaisia automaatteja mitä erilaisimpiin tarkoituksiin, mutta kaikissa niissä on yhteisenä sama peruseriaate, tilasta toiseen siirtyminen syötteen perusteella. Esimerkiksi deterministinen äärellinen automaatti (deterministic finite-state automaton) määritellään formaalisti viisikkona $(\Sigma, S, s_0, \delta, F)$, missä

- Σ on syöteaakkosto (äärellinen epätyhjä joukko symboleja)
- S on äärellinen epätyhjä joukko tiloja

- $s_0 \in S$ on alkutila
- δ on tilasiirtymäfunktio: $\delta : S \times \Sigma \rightarrow S$
- $F \subseteq S$ on äärellinen (mahdollisesti tyhjä) joukko lopputiloja

Alun perin automaatteja käytettiin kielten tunnistamiseen: symbolijono (sana tai lause) kuuluu kieleen, mikäli äärellinen automaatti hyväksyy sen eli päättyy lopputilaan aloittaessaan alkutilasta ja edetessään tilasta toiseen tilasiirtymäfunktion ja symbolijonon symbolien määräämällä tavalla. Kielten määrittelyyn käytetään puolestaan kieliopeja. Kuuluisin kielioppien teorian kehittäjä on amerikkalainen yleisnero Noam Chomsky, joka mm. määritteli vuonna 1956 kielioppiluokkien ilmaisuvoimaa kuvaavan Chomskyn hierarkian (Chomsky hierarchy). Hierarkiassa on neljä tasoa (type-0, type-1, type-2, type-3) siten, että tasolle n kuuluvien kielioppien määrittelemät kielet sisältävät kaikki tasolle $n+1$ kuuluvien kielioppien määrittelemät kielet.

Tietojenkäsittelytieteessä yleisimmin hyödynnetty Chomskyn hierarkian kielioppi-
luokka ovat tason 2 (type-2) yhteydettömät eli *kontekstittomat kieliopit* (context-free grammar). Ne määritellään formaalisti nelikkona (V_N, V_T, P, S) , missä

- V_N on äärellinen epätyhjä joukko välikesymboleja
- V_T on äärellinen epätyhjä joukko päätesymboleja ($V_N \cap V_T = \emptyset$)
- P on äärellinen epätyhjä joukko muotoa $N \rightarrow \beta$ olevia produktioita, missä $N \in V_N$ ja $\beta \in (V_N \cup V_T)^*$
- $S \in V_N$ on lähtösymboli

Kieliopin määrittelemä (tai tuottama) kieli koostuu niistä päätesymbolien jonoista, jotka voidaan johtaa kieliopin lähtösymbolista soveltaen kieliopin produktioita siten, että jokin produktion vasemmalla puolella oleva välikesymbole korvataan symbolijonossa produktion oikealla puolella. Kielioppien tuottamia kieliä voidaan tunnistaa automaateilla. Esimerkiksi kontekstittomien kielioppien tuottamat kontekstittomat kielet voidaan tunnistaa pinoautomaateilla (pushdown automaton), mutta ei ilmaisuvoimaltaan niitä rajoitetummilla deterministisillä äärellisillä automaateilla.

Laskennan historiaa mukaillen voidaan teoreettinen tietojenkäsittelytiede jakaa kahteen laajaan pääalueeseen, jotka toki menevät osittain päällekkäin: algoritmien ja niiden vaatavuuden tutkimukseen sekä laskennan ja tietojenkäsittelyn formaalien mallien tutkimukseen. Turingin kone ja NP-täydellisyys kuuluvat näistä ensimmäiseen alueeseen, kieliopit, formaalit kielet ja automaattit puolestaan jälkimmäiseen. Näiden lisäksi tietojenkäsittelyteoria sisältää mm. kompleksisuusluokkien, tietorakenteiden ja erilaisten päättelymekanismien tutkimuksen.

Formaalit kielet ja automaattit

Suomessa teoreettisen tietojenkäsittelytieteen opetus ja tutkimus käynnistyivät 1960-luvun alkupuoliskolla, kun Turun yliopiston matematiikan professori Arto Salomaa erikoistui automaatteihin ja formaaleihin kieliin. Vaikka Salomaa teki väitöskirjansa logiikasta väitellen siitä vuonna 1960, hän perehtyi jo jatko-opintojensa aikana myös automaattien teoriaan ollessaan vuosina 1956–57 ASLA-stipendiaattina Berkeleyssä, jossa työskenteli tuolloin useita alan pioneereja. Mielenkiintoinen kuriositeetti on, että saatuaan nimeä automaattiteoretikkona Salomaa vieraili Berkeleyssä useaan otteeseen 1960-luvulla, jolloin hänen kuulijakuntaansa kuului mm. sittemmin Una-

bomber-terroristina mainetta niittänyt matematiikan yliassistentti (assistant professor) Ted Kaczynski.

Salomaa piti vuonna 1962 Turun yliopistossa kurssin laskettavuuden teoriasta, jota seurasi vuonna 1963 hänen käynnistämänsä pitkäaikainen automaattien teorian seminaari. Kurssit ja seminaarit olivat alusta lähtien varsin suosittuja ja vetivät automaattien teorian pariin useita kyvykkäitä jatko-opiskelijoita, koska se oli jotain aivan uutta matematiikassa ja ajankohtainen ja kuuma aihe myös kansainvälisessä tiedeyhteisössä. Tätä Arto Salomaan ympärille 1960-luvulla syntynyttä tutkijayhteisöä voidaan perustellusti kutsua turkulaiseksi automaattien teorian koulukunnaksi.

Salomaan ensimmäisiä automaattien teorian ja formaalien kielten tutkimusaiheita olivat äärellisten kielten esitysmuodot ja niiden minimointi sekä probabilistiset automaattit, kuten Mealyn ja Mooren tilakoneet, joiden keskinäisestä ekvivalenssista hän esitti useita todistuksia. Kansainväliseen maineeseen Salomaa nousi 1960-luvun loppupuoliskolla formaalien kielten aksiomatisointia käsittelevillä tutkimuksillaan, joiden ansiosta hänelle alkoi sadella vierailukutsuja eri puolille maailmaa, mm. Kanadan Western Ontarioon, jossa hän oli vierailevana tutkijaprofessorina vuosina 1966–68.

Salomaan tieteellisen tutkimuksen päätuloksiin lukeutuu säännöllisten lausekkeiden välisten yhtälöiden formalisointi. Hän on mm. todistanut, että seuraava elegantti aksiomaattinen järjestelmä on sekä ristiriidaton (consistent) että täydellinen (complete); ts. kaikki järjestelmän sallimat yhtälöt voidaan johtaa sen omista säännöistä ja kaikki ko. säännöistä johdettavissa olevat yhtälöt sisältyvät järjestelmään:

1) Järjestelmässä on seuraavat aksioomat (α , β ja γ ovat säännöllisiä lausekkeita ja ϕ on tyhjää kieltä ilmaiseva symboli):

- $\alpha + (\beta + \gamma) = (\alpha + \beta) + \gamma$
- $\alpha(\beta\gamma) = (\alpha\beta)\gamma$
- $\alpha + \beta = \beta + \alpha$
- $\alpha(\beta + \gamma) = \alpha\beta + \alpha\gamma$
- $(\alpha + \beta)\gamma = \alpha\gamma + \beta\gamma$
- $\alpha + \alpha = \alpha$
- $\phi^*\alpha = \alpha$
- $\phi\alpha = \phi$
- $\alpha + \phi = \alpha$
- $\alpha^* = \phi^* + \alpha^*\alpha$
- $\alpha^* = (\phi^* + \alpha)^*$

2) Järjestelmässä on seuraavat päättelysäännöt:

- Olkoon säännöllinen lauseke Y_1 säännöllisen lausekkeen X_1 osa ja olkoon X_2 tulos, joka saadaan korvaamalla (jokin) Y_1 :n esiintymä X_1 :ssä säännöllisellä lausekkeella Y_2 . Silloin yhtälöistä $X_1 = Z$ ja $Y_1 = Y_2$ voidaan päätellä yhtälöt $X_2 = Z$ ja $X_2 = X_1$.
- Jos säännöllisestä lausekkeesta Y ei voi johtaa tyhjää sanaa (λ), voidaan yhtälöstä $X = XY + Z$ johtaa yhtälö $X = ZY^*$.

Arto Salomaan lisäksi hänen jatko-opiskelijansa Turun yliopistossa tutkivat automaattien teoriaa. Heistä ensimmäisiä olivat Paavo Turakainen (väitellyt 1968), Magnus Steinby (väitellyt 1969) ja Martti Penttonen (väitellyt 1974), jotka tutkivat stokastisia

kieliä, ilman eksplisiittistä alkutilaa olevia automaatteja ja yhteydellisiä (context-sensitive) eli Chomskyn hierarkiassa tyyppiä 1 olevia kielioppeja. Muualla Suomessa oli vielä 1960-luvulla varsin hiljaista teoreettisen tietojenkäsittelytieteen rintamalla; ainoastaan Reino Kurki-Suonio tutki Tampereen yliopistossa kielioppeja ja niiden hyödyntämistä ohjelmointikielten jäsentämisessä.

Arto Salomaa on saanut tiedeyhteisössä eniten tunnustusta oppikirjoistaan. Niistä ensimmäinen, *Theory of Automata*, ilmestyi vuonna 1969. Salomaa on koonnut kirjaan automaattien, säännöllisten lausekkeiden ja formaalien kielten keskeiset määritelmät ja teoreemat. Lähestymistapa on matemaattisen täsmällinen; kuten Salomaa kirjansa esipuheessa toteaa, ”this book deals with mathematical aspects of automata theory, rather than applications”. Kirjassa ei siten tarkastella matemaattisen teorian suhdetta tietojenkäsittelytieteeseen, jota lähimmäs päästään todistamalla ALGOLIN tapaisten (”ALGOL-like”) kielten joukko ekvivalentiksi kontekstittomien kielten kanssa.

Salomaan tunnetuin teos on vuonna 1973 julkaistu *Formal Languages*, jossa käydään edellistä kirjaa seikkaperäisemmin läpi niin kieliä ja kielioppeja koskevat klassiset tutkimustulokset kuin uudemmatkin aiheet. Kirja osui juuri sopivaan saamaan tuohon aikaan tietojenkäsittelytieteessä ykkösaiheena olleiden ohjelmointikielten ja kääntäji-en kanssa ja ansaitsee klassikon aseman tietojenkäsittelytieteen (ei niinkään matemaatiikan) kirjallisuudessa.

Formal Languages onkin huomattavasti lähempänä tietojenkäsittelytiedettä kuin *Theory of Automata*: siinä mm. käsitellään kääntäjätekniiikan keskeiset työkalut, $LR(k)$ - ja $LL(k)$ -kieliopit, ja käytetään kielten jäsentämisen havainnollistamiseen syntaksipuita. Kirjan lopussa tarkastellaan lyhyesti myös teoreettisen tietojenkäsittelytieteen toista pääaluetta, algoritmeja ja niiden vaativuutta, ja mm. luetellaan joukko formaalien kielten ja kielioppien ratkeamattomia ongelmia. Mustalla listalla ovat esimerkiksi seuraavat kontekstittomia kielioppeja koskevat ongelmat:

- Onko kielioppi yksiselitteinen (unambiguous)?
- Tuottavatko kaksi eri kielioppia saman kielen?
- Onko kahden eri kieliopin tuottamien kielten leikkaus tyhjä tai ääretön?

Kun Euroopan teoreettisen tietojenkäsittelytieteen tutkijat olivat vuonna 1972 organisoituneet ja perustaneet keskinäistä ajatustenvaihtoa ja yhteistyötä sekä tutkimuksen ja koulutuksen suuntaamista edistävän järjestön European Association for Theoretical Computer Science (EATCS), tuli Arto Salomaasta yksi sen keskeisistä hahmoista. Hänet mm. valittiin järjestön valtuustoon vuonna 1973 ja hän järjesti vuonna 1977 Turussa EATCS:n tärkeimmän tieteellisen tapahtuman, ICALP-konferenssin (International Colloquium on Automata, Languages and Programming), joka on järjestetty Turussa myös vuonna 2004. Salomaa on lisäksi kirjoittanut ahkerasti EATCS:n omaan Bulletin-lehteen mm. saunojen ja saunomisen teoriasta ja on toiminut pitkään EATCS:n perustaman Theoretical Computer Science -lehden toimituskunnassa.

1970-luvulla automaattien ja formaalien kielten tutkimus sirpaloitui uusille osa-alueille, joista moni oli varsin kaukana klassisesta teoriasta. Salomaan uusia tutkimusalueita olivat mm. alun perin kasvien rakenteen ja kasvun mallintamiseen kehitetyt rinnakkaiset Lindenmayerin järjestelmät (Lindenmayer system, L-system) ja formaalien

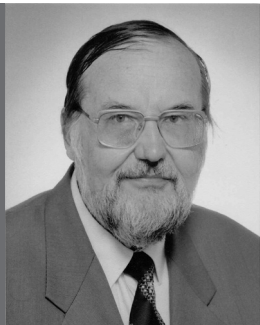


potenssisarjojen teoria. 1980-luvun alussa hän ryhtyi matemaattisesti elegantin kahden avaimen vaihtoon perustuvan Diffie-Hellman -menetelmän innoittamana tutkimaan lapsuutensa mieliharrastusta, salakirjoitusta, ollen myös sillä alueella yksi suomalaisista uranuurtajista.

Viimeisin Salomaan päätutkimusalueista on DNA-laskennan teoria, johon hän siirtyi 1990-luvun puolivälissä. Salomaan aina 2000-luvulle jatkuneen kirjatutannon joukossa on formaalien kielten ja automaattien teorian lisäksi myös salakirjoitusta ja DNA-laskentaa käsitteleviä oppikirjoja. DNA-laskennan lisäksi Turun yliopistossa on tutkittu toista uutta ja lupauksia antavaa laskennan mallia, kvanttilaskentaa, aktiivisimmin Mika Hirvensalon toimesta.

Salomaata seuranneen nuoremman turkulaisen teoreetikkosukupolven näkyvin edustaja on hänen oppilaansa Juhani Karhumäki. Karhumäki väitteli vuonna 1976 Lindenmayerin järjestelmistä, mutta tärkeimmät tuloksensa hän on saavuttanut sanojen kombinatoriikkaa eli symbolijonojen ominaisuuksia koskevalla tutkimuksellaan. Hän on tutkinut mm. yhdessä Tero Harjun kanssa (äärettömien) sanayhtälöryhmien ja niiden (äärellisten) aliyhtälöryhmien ekvivalenssia koskevaa ns. Ehrenfeuchtin kompaktisuusominaisuutta sekä matriisilaskennan ja sanojen kombinatoriikkaongelmien välistä yhteyttä. Salomaan nuorempaan koulukuntaan kuuluu lisäksi Jarkko Kari, joka on tutkimustyössään keskittynyt soluautomaatteihin ja tason ns. tiililysoongelmaan ((Wang's) tiling problem).

Turun yliopistossa on matematiikan (ja tilastotieteen) laitoksen lisäksi tutkittu tietojenkäsittelytieteen teoriaa tietojenkäsittelyopin (nyk. informaatioteknologian) laitoksella. Kantalinkki näiden kahden laitoksen ja ryhmän välillä on Martti Penttonen, joka väitteli Arto Salomaan ohjauksessa vuonna 1974 matematiikasta ja työskenteli matematiikan laitoksella vuoteen 1979 saakka, jolloin hän siirtyi tietojenkäsittelyopin laitokselle. Muuton myötä Penttonen siirtyi formaaleista kieliopista tutkimaan Jyrki Katajaisen ja Jukka Teuholan kanssa (rinnakkaisia) algoritmeja ja niiden laskennallista vaativuutta, kunnes jatkoi matkaansa Kuopion yliopistoon vuonna 1987.



Arto Kustaa Salomaa, syntynyt 6.6.1934 Turussa.

Ylioppilas 1952 (Turun klassillinen lyseo). FK 1954 (Turun yliopisto), FL 1959 (Helsingin yliopisto), FT 1960 (Turun yliopisto, matematiikka).

Assistentti ja ylimääräinen opettaja 1957–65 (Turun yliopisto), sovelletun matematiikan professori 1965 (Oulun yliopisto), matematiikan professori 1966–98 (Turun yliopisto). TUCS-tutkimuslaitoksen (Turku Centre for Computer Science) johtokunnan puheenjohtaja 1994–99. Jatko-opiskelija 1956–57 (University of California, Berkeley), vierailuva tutkijaprofessori 1966–68 (University of Western Ontario), vierailuva professori 1973–75 (Århus universitet), vierailuva professori 1981–82 (University of Waterloo). Suomen Akatemian tutkijaprofessori 1975-80 ja 1989–94, Suomen Akatemian akatemiaprofessori 1995–99. Akateemikko 2001.

European Association for Theoretical Computer Science, valtuuston jäsen 1973–99 ja presidentti 1979–85. IFIPin teknisen komitean TC 1 (Foundations of Computer Science) jäsen 1970-.

Suomen Kulttuurirahaston palkinto 1986, Suomen Tiedeseuran Magnus Ehrnroothin palkinto 1991, vuoden professori 1993, Nokian Säätiön palkinto 1998, European Association for Theoretical Computer Science Award 2004. Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1970, Suomen Tiedeseuran jäsen 1980, Academia Europaean jäsen 1992, Unkarin tiedeakatemian jäsen 1998. Åbo Akademin kunniatohtori 1988, Oulun yliopiston kunniatohtori 1989, Szegedin yliopiston kunniatohtori 1989, Bukarestin yliopiston kunniatohtori 1992, Magdeburgin teknillisen yliopiston kunniatohtori 1992, Riian valtionyliopiston kunniatohtori 1994, Grazin teknillisen yliopiston kunniatohtori 1999, Alexandru Ioan Cuza -yliopiston kunniaprofessori 1999, Western Ontario -yliopiston kunniatohtori 2013. Kauppalehti Option 100 suomalaisen tietotekniikan edelläkävijän listalla 2000.

Arto Salomaa aloitti formaalien kielten ja automaattiteorian tutkimisen 1960-luvun alkupuolella. Hän on yksi tämän tutkimusalueen kansainvälisistä pioneereista, turkulaisen koulukunnan perustaja ja Euroopan teoreettisen tietojenkäsittelytieteen tiedeyhteisön johtavia hahmoja. Salomaan muita tutkimusalueita ovat salakirjoitus ja DNA-laskenta. Salomaan julkaisutuotanto on mittava, ja erityisen ansiokasta on hänen kirjatuohtonsa: hän on kirjoittanut tai toimittanut yli 30 oppikirjaa, joukossa useita tietojenkäsittelytieteen varhaisia perusteoksia. Salomaa pitää itseään ensi sijassa matemaatikkona, mutta kansainvälisessä tiedeyhteisössä hänet katsotaan useimmiten tietojenkäsittelytieteilijäksi.

Arto on suomalaisen teoreettisen tietojenkäsittelytieteen varsinainen isähahmo, vanha kunnan grand old man. Maailmalla Arto tunnetaan tieteellisten ansioiden lisäksi suomalaisen saunan ehdottomana asiantuntijana, puolestapuhujana ja teoreettis-empiirisenä tarkastelijana. Ja ovatpa ulkomaiset saunavieraat puolestaan kirjoittaneet hänen omasta, noin vuonna 1870 rakennetusta Salosaunastaan yleviä englannin- ja saksankielisiä runoja ja lauluja. Arto on myös innokas klassisen musiikin kuuntelija, penkkiurheilija, erityisesti kissa-aiheisten postimerkkien keräilijä ja lastenlasten kanssa puuhastelija. Hänen mottonsa on käännteinen modaalogiikan lause "ab posse ad esse" (mahdollisesta todelliseksi), joka on myös Veikko Kiljusen vuonna 1986 suunnitteleman komean sukuvaakunan tunnuslause.

Algoritmit

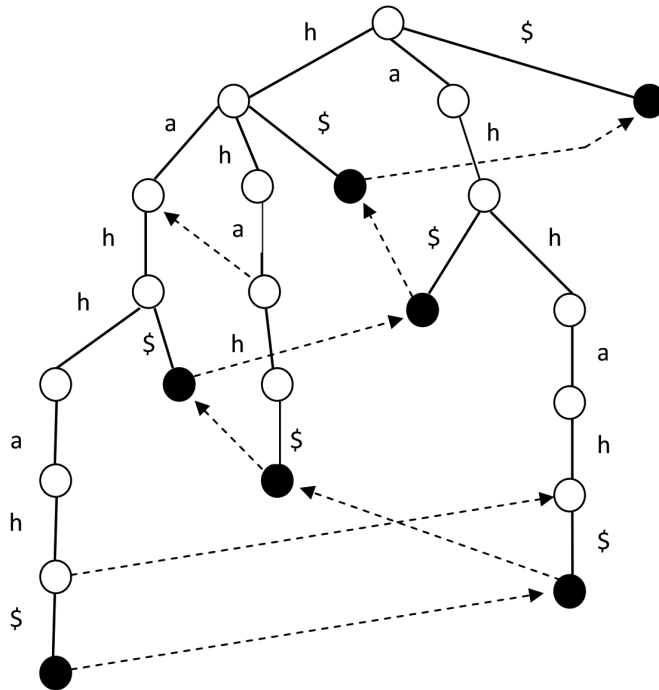
Algoritmit (algorithms) ja tietorakenteet (data structures) ovat tietojenkäsittelytieteen syvintä ydintä: niiden avulla kuvataan abstraktisti mutta kuitenkin riittävän yksityiskohtaisesti, millä tavalla jokin tietty ongelma voidaan laskennallisesti ratkaista ja millaisina rakenteina ongelman syötedataa ratkaisun aikana käsitellään. Algoritmitutkimuksella on kaksi päätaivoitetta, toisaalta kehittää yhä tehokkaampia ratkaisuja erilaisille laskentaongelmille ja toisaalta pyrkiä ymmärtämään yhä paremmin näiden ongelmien olennaista vaikeutta eli ns. laskennallista vaativuutta (computational complexity).

Algoritmitutkimuksen klassisia osa-alueita ovat lajittelu (sorting), etsintä (searching), verkot (graphs) ja merkkijonot (strings). Kansainvälisesti tunnetuinta suomalaista algoritmitutkimusta on tehty merkkijonojen saralla. Alueen merkittävin tutkija on Esko Ukkonen, joka aloitti 1980-luvun alkupuoliskolla Helsingin yliopistossa tutkimustyön likimääräisestä merkkijonojen hahmontunnistuksesta ja lyhimmän yhteisen merkkijonon etsinnästä yhdessä Jorma Tarhion kanssa. Keskeistä näissä menetelmissä on löytää optimaalinen editointietäisyys (edit distance) kahden merkkijonon välillä, kun sallittuja operaatioita ovat yhden yksittäisen merkin poisto, lisääminen ja korvaaminen toisella merkillä.

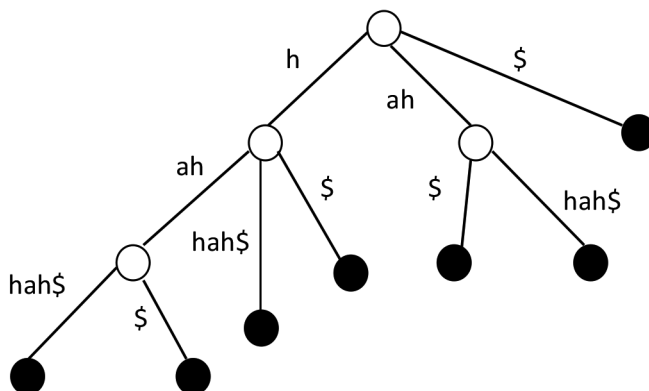
Ukkosen päätulos algoritmitutkimuksessa on hänen 1990-luvulla kehittämänsä tehokas algoritmi merkkijonojen ns. *loppuosapuun* muodostamiseksi. Loppuosapuita voidaan käyttää paitsi täydellisten ja osittaisten tekstihakujen ja tekstintivistyksen tehokkaaseen toteuttamiseen, myös hahmontunnistukseen monilla sovellusalueilla kuten laskennallisessa biologiassa, jossa DNA-ketjut voidaan tulkita tietyn tyyppisiksi merkkijonoiksi.

Loppuosapuita on yleisesti ottaen kahta tyyppiä: yleisessä loppuosapuussa (suffix trie) jokaista merkkijonon loppuosaa (suffix) vastaa täsmälleen yksi polku puun juuresta lehtisolmuun, kun taas tiivistetyssä loppuosapuussa (suffix tree) loppuosia on yhdistetty, jolloin saadaan vähennetyksi sekä polkujen että solmujen määrää. Näiden kahden välillä on merkittävä käytännön ero tiivistettyjen loppuosapuiden hyväksi: molempien avulla voidaan tekstihaku toteuttaa lineaarisessa ajassa $O(m)$ etsittävän merkkijonon pituuden m suhteen (riippumatta sen alkuperäisen merkkijonon pituudesta n , josta loppuosapuu on muodostettu), mutta yleisen loppuosapuun muodostaminen vaatii neliöllisen ajan $O(n^2)$, kun tiivistetty loppuosapuu voidaan myös muodostaa tehokkaasti lineaarisessa ajassa $O(n)$.

Alla esitetään esimerkiksi yleinen loppuosapuu merkkijonolle "hahhah". Merkkijonon loppuun on lisätty ylimääräinen, aakkostoon sisältymätön merkki "\$", jolla on tärkeä tekninen merkitys algoritmeissa: sen avulla varmistetaan, ettei merkkijonon mikään loppuosaa voi olla toisen loppuosan alkuosa (prefix). Lisäksi loppuosapuuhun on piirretty katkoviivoilla osa ns. loppuosalinkeistä (suffix link), joita tarvitaan sekä etsintäalgoritmeissa että loppuosapuiden rakentamisessa. Loppuosalinkillä yhdistetään merkkijonoa $x\alpha$ vastaava solmu sen loppuosaa α vastaavaan solmuun. Puussa on 22 solmua ja 21 kaarta.

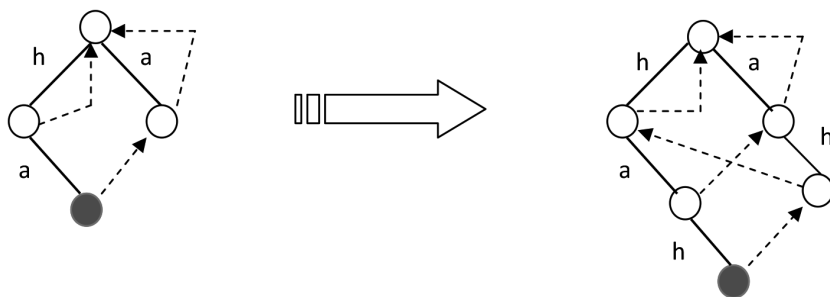


Tiivistetty loppuosapu n merkkiä pitkälle merkkijonolle T on puu, jossa (1) on n kappaletta lehtisolmuja, (2) jokainen polku juuresta lehtisolmuun vastaa yhtä T :n loppuosaa, (3) jokaisella sisäsolmulla juurta mahdollisesti lukuun ottamatta on vähintään kaksi lasta ja (4) jokainen kaari on koristeltu yhdellä T :n alimerkkijonolla siten, että kaikki samasta solmusta lähtevät kaaret on koristeltu eri merkkijonoilla. Esimerkiksi merkkijonon "hahhah\$" tiivistetty loppuosapu on seuraavanlainen. Puussa on selvästi vähemmän solmuja ja kaaria kuin yleisessä loppuosapuussa, 11 ja 10.



Ensimmäisen merkkijonon T pituuden n suhteen lineaarisessa ajassa toimivan algoritmin tiivistetyn loppuosapuun rakentamiseksi esitti Peter Weiner vuonna 1973. Laskennallisesta tehokkuudestaan huolimatta algoritmi oli epäkäytännöllinen, koska se kulutti paljon muistia ja rakensi loppuosapuuta etenemällä merkkijonossa lopusta alkuun, jolloin puuta ei voi rakentaa samalla kun merkkijonoa selataan. Esko Ukkosen vuonna 1992 esittämä lineaarinen algoritmi sen sijaan toimii ”online”-moodissa, ts. loppuosapuu rakentuu samassa tahdissa merkkijonon läpikäynnin kanssa.

Algoritmi simuloi yleisen loppuosapuun vaiheittaista rakentamista, jossa merkki kerrallaan laajennetaan merkkijonoa α vastaava puu merkkijonoa αx vastaavaksi puuksi, missä x on viimeksi luettu T :n merkki. Laajentaminen tehdään aloittamalla puussa syvimmällä olevasta, merkkijonoa α vastaavasta lehtisolmusta, etenemällä siitä alkavia loppuosalinkkejä pitkin ja lisäämällä näin saavutettujen solmujen lapseksi uusi loppuosa x uusine loppuosalinkkeineen (ellei x jo ole ko. solmun lapsena). Esimerkiksi (merkkijonoa ”h” vastaavasta puusta muodostettu) merkkijonoa ”ha” vastaava (yleinen) loppuosapuu muutetaan merkkijonoa ”hah” vastaavaksi puuksi seuraavasti:



Ukkonen onnistui muokkaamaan neliöllisestä perusalgoritmista ($O(n^2)$) lineaarisen version ($O(n)$) karsimalla loppuosapuusta ”implisiittisiä solmuja”, so. solmuja, jotka eivät tule esiintymään tiivistetyssä loppuosapuussa, ottamalla käyttöön implisiittisiä solmuja vastaavat ”implisiittiset loppuosalinkit” ja jättämällä puuhun sen muodostamisen aikana T :n loppuosia vastaavia ”avoimia” lehtisolmuja, jotka täydennetään vasta algoritmin loppuun (lineaariajassa). Aikavaativuudeltaan lineaarinen implisiittisten solmujen ja linkkien hallinta eksplisiittisessä tietorakenteessa vaati lisäksi muutamien näppärien algoritmitekniisten kikkojen käyttöä.

Alkuperäinen IFIP-kongressissa vuonna 1992 esitetty algoritmi (”Ukkonen’s algorithm”) on seuraavanlainen. f on puun sisäsolmuille määritelty funktio, joka muodostaa (eksplisiittiset) loppuosalinkit merkkijonoja αx vastaavista solmuista merkkijonoja α vastaaviin solmuihin. Tiettyä (eksplisiittistä tai implisiittistä) solmua r ilmaisee pari (s, w) , missä s on r :n eksplisiittinen esi-isäsolmu ja w on solmusta r solmuun s johtavaan polkuun liitetty merkkijono (yleisessä) loppuosapuussa. Pari on kanoninen, mikäli s on r :n lähin esi-isä (ja samalla w lyhin mahdollinen).

Algoritmi tiivistetyn loppuosapuun muodostamiseksi merkkijonolle $T = t_1 \dots t_n$.

luo uusi solmu *root*

$f(\text{root}) \leftarrow \text{root}$

$(s, w) \leftarrow (\text{root}, \varepsilon)$

for $i \leftarrow 1, \dots, n$ **do**

$(s, w) \leftarrow \text{update}(s, w, t_i, i)$

$(s, w) \leftarrow (s, wt_i)$

$(s, w) \leftarrow \text{canonize}(s, w)$

while (s, w) on lehtisolmu **do** $(s, w) \leftarrow \text{suffix-link}(s, w)$

update laajentaa edellisessä iteraatiossa muodostettua puuta lisäämällä sen sisäsolmuihin tarvittavat uudet siirtymät ja solmut vastaamaan viimeksi luettua merkkiä t_i , *canonize* etsii puusta solmua ilmaisevan kanonisen parin ja **while**-silmukka etsii aliohjelman *suffix-link* avulla seuraavan sisäsolmun, josta puuta lähdetään laajentamaan.

Esko Ukkosen aloittamaa merkkijonomenetelmien ja loppuosapuiden tutkimusta ovat Helsingin yliopistossa jatkaneet mm. Juha Kärkkäinen ja Veli Mäkinen tutkimalla mm. loppuosataulukkoita (suffix array). Ryhmän tutkimustyö on ollut keskeisenä osana Ukkosen johtamissa tutkimuksen huippuyksiköissä *datasta tietoon* (From Data to Knowledge, 2002–2007) ja *algoritminen data-analyysi* (Algorithmic Data Analysis, 2008–2013).

Turun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksessa on algoritmitutkimus ollut 1970-luvulta lähtien keskeisessä asemassa. Alueen johtohahmo on Olli Nevalainen, joka on kehittänyt tehokkaita algoritmeja mitä erilaisimpiin ongelmiin, mm. tiedostojen pakkaamiseen, verkkojen virittämiseen, lajitteluun, kuvien tiivistämiseen, geneettiseen klusterointiin ja prosessorien välisen kommunikoinnin optimointiin. Turun algoritmitutkimuksen koulukunnan muita jäseniä ovat edellä mainittujen Olli Nevalaisen, Martti Penttosen, Jyrki Katajaisen ja Jukka Teuholan lisäksi olleet mm. Jarmo Ernvall, Pasi Fränti, Timo Raita ja Ville Leppänen.

Helsingin ja Turun yliopistojen lisäksi ansiokasta algoritmitutkimusta on tehty Tampereen yliopistossa, jossa Erkki Mäkinen on kehittänyt runsaasti tehokkaita layout-algoritmeja erilaisille kaavioille ja tietorakenteille, kuten puille ja verkoille. Algoritmien lisäksi Mäkinen on tutkinut erityisesti kielioppien teoriaa sekä esimerkkeihin perustuvaa kielten ja kielioppien johtamista.

Vaativuusteoria

Vaativuusteoriaa on Suomessa tutkinut aktiivisimmin Pekka Orponen (alun perin Helsingin yliopisto (HY), sittemmin Teknillinen korkeakoulu / Aalto-yliopisto (TKK)), joka 1980- ja 1990-luvulla tarkasteli mm. assosiativisten Hopfieldin verkkojen ja niiden analysoinnin, neuroverkkojen ja epävarman päättelyn laskennallista vaativuutta. 2000-luvulla Orponen on tutkimusryhmineen keskittynyt kompleksisten ympäristöjen laskennallisiin malleihin, tietoturva-algoritmeihin sekä DNA-laskennan ja energia- tehokkaiden sensoriverkkojen ”moderneihin” algoritmeihin ja niiden laskennalliseen vaativuuteen. Ryhmän muita jäseniä ovat olleet mm. Patrik Floréen (HY), Mika Göös (HY ja TKK) ja Petteri Kaski (HY ja TKK).

Kansainvälisesti merkittävimmät tulokset Orponen on saavuttanut laskentaongelmien yksittäistapausten vaativuutta (instance complexity) koskevalla tutkimustyöllään. Tällaisissa ongelmissa ei tarkastella algoritmeja, jotka tuottavat oikean vastauksen kaikilla mahdollisilla syötteillä, vaan algoritmeja, jotka tuottavat oikean vastauksen ainoastaan tietyissä erikoistilanteissa tai tietyillä syötteillä tekemättä kuitenkaan varsinaista virhettä muissakaan tapauksissa (jättäen tuloksen esimerkiksi avoimeksi). Yksittäistapaukset ovat hyödyllisiä monilla eri sovellusalueilla: esimerkiksi tietoturvassa saatetaan olla kiinnostuneita, ei niinkään kaikkien mahdollisten salakirjoitusavainten turvallisuudesta vaan pelkästään siitä, kuinka vaikeaa tai helppoa on murtaa jokin tietty käytössä oleva avain.

Orponen on tutkimuksessaan määritellyt, mitä yksittäistapausten vaativuudella tarkoitetaan ja miten sitä mitataan, ja todistanut vaativuudelle joukon formaaleja ominaisuuksia. Niihin sisältyy mm. se, että mikäli $P \neq NP$, ei NP-täydellisiä ongelmia voi ratkaista polynomisessa ajassa toimivilla ”osittaisilla” erikoistapausalgoritmeilla, ja että vaativilla, asymptoottisesti ratkeamattomilla ongelmilla on lähellä vaativuuden ylärajaa olevia vaikeita yksittäistapauksia. Yksittäistapausten tutkimuksessa oletetaan yleisesti, että ne (algoritmin syötteet) on esitetty merkkijonoina.

Laskennallinen logiikka on keskeisiä tietojenkäsittelyteorian työkaluja, jolla on käyttöä paitsi ongelmien laskennallisen vaativuuden tutkimuksessa myös soveltavammilla alueilla, kuten tekoälyssä, tietokantajärjestelmissä, ohjelmistojen verifiointissa ja digitaalipiirien suunnittelussa. Suomessa merkittävintä laskennallisen logiikan tutkimusta on tehnyt Ilkka Niemelä (Teknillinen korkeakoulu / Aalto-yliopisto), joka aloitti tutkimustyönsä 1980-luvun lopulla logiikkaohjelmoinnin eri paradigmojen teoreettisella tarkastelulla keskittyen 1990-luvulla epämonotoniseen päättelyyn (nonmonotonic reasoning), jossa uusi tieto saattaa muuttaa – toisin kuin ”klassiseen logiikkaan” perustuvassa monotonisessa päättelyssä – jonkin aiemmin todeksi päätellyn asian epätodeksi. Epämonotoninen päättely vastaa siten inhimillistä päätöksentekoa paremmin kuin monotoninen päättely.

Niemelä on määritellyt tutkimustyössään tietämystekniikassa käytettävän epämonotonisen päättelyn pohjaksi uudenlaisen autoepisteemisen logiikan, jonka avulla pysytään muita vastaavia logiikoita paremmin tarkastelemaan päättelyn ratkeavuutta ja laskennallista vaativuutta. Teoreettisen tarkastelun lisäksi Niemelä on kehittänyt logiikalleen automaattisen, polynomisessa tilassa toimivan teoreemantodistumenehtelmän. Logiikkaohjelmien semantiikan ja epämonotonisen päättelyn lisäksi Niemelä on myöhemmin tutkinut aktiivisesti myös mm. ongelmien loogista ratkeavuutta (satisfiability) ja järjestelmien verifiointissa käytettävää formaalia mallintarkastusta (model checking). Niiden tutkimuksessa on Aalto-yliopistossa kunnostautunut Niemelän ohella myös Keijo Heljanko.

11. ÄLYKKÄÄT JA OPPIVAT MENETELMÄT (COMPUTING METHODOLOGIES)

Ihmisen kaltaisia älykkäitä ja ajattelevia koneita esiintyi jo tuhansien vuosien takaisessa kreikkalaisessa mytologiassa. Esihistoriallisessa katsannossa tällaiset fiktiiviset robotit nähdään pääsääntöisesti pelottavina olioina, joiden ennustetaan ottavan vallan oikeilta ihmisiltä ja tuhoavan ihmiskunnan. 1900-luvun puolivälissä alkanut tietokoneiden ja automaattisen tietojenkäsittelyn kehitys käänsi näkökulman – ainakin osittain – positiivisemmaksi: kun jonkin asteista ”älykkyyttä” omaavien järjestelmien rakentaminen alkoi näyttää oikeasti mahdolliselta, niille löydettiin äkkiä runsaasti myös ihmisille hyödyllisiä käyttökohteita.

Tämä tekoälynä tunnettu tutkimusalue syntyi 1950-luvulla, ja termin ”artificial intelligence” määritteli ensimmäisenä John McCarthy vuonna 1955 seuraavasti: ”the science and engineering of making intelligent machines”. Tekoälyn ensimmäisiä tutkimusalueita oli loogisen päättelyn ja luonnollisen kielen käsittelyn automatisointi. Tutkimus synnytti ensimmäiset kaupallisesti menestyneet tuotteet 1980- ja 1990-luvuilla, jotka olivat erilaisten asiantuntijajärjestelmien kultakautta. Suuren yleisön keskuudessa tunnetuin tekoälytutkimuksen tuote on IBM:n kehittämä shakkitietokone Deep Blue, joka voitti vuonna 1996 virallisen pelin hallitsevaa maailmanmestaria Garri Kasparovia vastaan. Deep Blue hävisi vielä tuon ottelun yhteispistein 2–4, mutta otti revanssin heti seuraavana vuonna pistein 3,5–2,5 saaden nöyryytetyn Kasparovin aidon urheilumiehen tavoin syyttelemään IBM:ää Deep Blueta avustavista sääntörikkomuksista.

Yksi tärkeimmistä ja varsinkin parin viime vuosikymmenen aikana suosituimmista tekoälyn suuntauksista on *neurolaskenta* (neurocomputing), joka sai alkunsa jo 1940-luvulla, jolloin muutamat pelle pelottomat, ennen kaikkea Warren McCulloch ja Walter Pitts, kehittivät visionäärisiä suunnitelmia ihmisen hermo- ja aivotoimintaa jäljittelevistä tietokoneista. Heidän esittämillään kynnysoogiikkayksiköillä ja neuroverkkopiireillä oli vaikutusta John von Neumannin ajatuksiin hänen esitellessään ensimmäisen ohjelmoitavan digitaalisen tietokoneen perusidea.

Vaikka primitiivisiä neurotietokoneita rakennettiin jo 1950-luvulla, täysinmittaisten keinotekoisien aivojen rakentaminen osoittautui liian kovaksi pähkinäksi. Neurolaskennan tutkijat eivät onneksi lannistuneet, vaan madalsivat nöyrästi tavoitteitaan ryhtyen kehittämään vähemmän kunnianhimoisia mutta varsin käyttökelpoisia ihmisen hermoston rakenteeseen ja toimintaan perustuvia laskentamalleja ja -menetelmiä. Alueella vuosikymmenten aikana saavutetut tutkimustulokset ovat pikku hiljaa lähentyneet sen alkuperäistä tavoitetta, varsinaista neurotiedettä, ja tästä tutkimussuunnasta on ryhdytty käyttämään nimitystä laskennallinen neurotiede (computational neuroscience).

Tärkein neurolaskennan työkalu on (keinotekoinen) *neuroverkko* ((artificial) neural network). Se on yksinkertaistettu matemaattinen malli biologisesta hermostosta, joka koostuu hermosoluista eli neuroneista, niiden välisistä dynaamisesti muuttuvista kytkennöistä ja hermosolujen toisilleen välittämistä impulsseista. Tällaista hermostoa vastaava laskennallinen neuroverkko koostuu neuroneja vastaavista tietojenkäsittely-yksiköistä (soluista), niiden välisistä syötelinjoista ja solujen toisil-



leen syötelinjoja pitkin lähettämistä signaaleista. Neuroverkon keskeisiä ominaisuuksia ovat sopeutuminen ja oppiminen: neuroneja simuloivien tietojenkäsittely-yksiköiden väliset kytkentävahvuudet ”sopeutuvat” verkolle annettujen syötteiden mukaisiksi, jolloin verkko ”oppi” tunnistamaan muita vastaavia syötteitä (reaalimaailman havaintoja), luokittelemaan niitä ja tekemään tilastollisia ennusteita tulevista syötteistä. Näiden ominaisuuksien ansiosta neuroverkkoja on menestyksekkäästi hyödynnetty luokittelua, säätöä ja ennustamista vaativilla sovellusalueilla, kuten tekstin-, kuvan- ja äänenkäsittelyssä, teollisuuden prosessinkontrollissa, tiedonlouhinnassa, lainahakemusten arvioinnissa ja tautien diagnosoinnissa.

Tutkimuksen toivorikkaita alkuvuosia seuranneen suvantovaiheen jälkeen neurolaskenta nousi uuteen kukoistukseen 1980-luvun alussa. Lämpimurtoon vaikutti paitsi tietokoneiden tehokkuuden kasvu, joka teki käytännöllisten sovellusten kehittämisen mahdolliseksi, myös tutkimusalueen guruksi nousseen John Hopfieldin vuonna 1982 määrittelemä ns. Hopfieldin verkko (Hopfield Network), joka sai osakseen suurta huomiota tiedeyhteisössä. Hopfieldin verkko on elegantti itseohjautuva neuroverkkomalli, jonka keskeisin ominaisuus on kuvata, kuinka yksinkertaiset ja ”tyhmät” solut voivat yhdessä toimia suurempana kokonaisuutena, neuroverkkona, jolla on kollektiivisesti enemmän ”älyä” kuin sen yksittäisillä osilla.

Neuroverkot

Suomessa neurolaskennan uranuurtaja on Teuvo Kohonen. Kohonen kiinnostui tekoälystä, oppivista koneista ja neurolaskennasta jo 1960-luvun alussa, muttei vielä silloin pystynyt fysiikan opintojensa takia paneutumaan niihin sen syvällisemmin. Nimitys Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan ja elektroniikan professoriksi vuonna 1965 toi Kohosen lähemmäs tietotekniikkaa, ja tutkimusvierailu Yhdysvaltoihin vuosina 1968-69 loi hänelle mahdollisuuden lopulta paneutua tekoälyyn ja erityisesti aivoja ja niihin tallentuvia muistijälkiä simuloiviin ns. assosiatiivisiin muisteihin ((auto)associative memory). Keskeinen assosiatiivisten muistien piirre on, että niistä voidaan hakea laajempia hahmoja käyttäen hakuavaimena ainoastaan pientä osaa ko. hahmosta. Tällä pyritään mallintamaan ihmisen muistia, jossa käsitteet (esimerkiksi kuvat, runot ja laulut) ovat tallentuneet yksittäisistä pienistä hermosoluista koostuviin verkkoihin ja josta ne palautuvat mieleen jo vähäisilläkin vihjeillä (esimerkiksi kertosäkeen alulla).

Palattuuan Suomeen Kohonen käynnisti Teknillisessä korkeakoulussa assosiatiivisten muistien tutkimustyön, jonka erityisenä sovellusalueena oli puheen automaattinen tunnistaminen. Tutkimusryhmään kuului mm. Erkki Oja, joka väitteli aiheesta vuonna 1977. Tutkimus tuotti runsaasti tieteellisiä artikkeleita ja mm. vuonna 1977 julkaistun Kohosen kirjoittaman kirjan *Associative Memory – A System-Theoretical Approach*, mutta assosiatiiviset muistit osoittautuivat lopulta liian primitiivisiksi puheen tunnistamiseen ja muihin samankaltaisiin vaativiin ongelmiin. Oli keksittävä jotain parempaa.

Kohonen paranteli 1970-luvun lopulla aikaisempia assosiatiivisia muistimallejaan ns. oppivalla aliavaruusmenetelmällä (learning subspace method), joka pystyi tunnistamaan aiempia vastaavia menetelmiä tarkemmin samankaltaisia hahmoja sille esimerkkeinä syötettyjen mallihahmojen perusteella. Kohosen ryhmän toteuttaman pu-

heentunnistuksen tarkkuus paranikin merkittävästi menetelmän avulla, mutta ei kuitenkaan riittävästi. Lisäksi menetelmän toteuttavat algoritmit osoittautuivat varsin hitaiksi, vaikka tutkimusryhmä kehitti niille jopa oman digitaalisen mikroprosessorin.

Lopulta 1970- ja 1980-lukujen taitteessa Kohonen sai varsinaisen kuningasajatuksen: hän päätti kokeilla aivokuoren hermosoluja ryhmittelevien ”karttojen” mallintamiseen neuroverkkoa, jossa vierekkäiset solut ”opettavat” toisiaan tulemaan samankaltaisiksi ja muodostamaan vähitellen aivojen ”karttoja” vastaavia ryppäitä. Oppimisprosessin lopputuloksena alun perin moniulotteisessa avaruudessa hajallaan olleet solut ovat järjestäytyneet (useimmiten) kaksiulotteiseksi rakenteeksi, joka on aina jonkin asteinen abstraktio alkuperäisestä tilanteesta. Tällaista ohjaamattomaan oppimiseen perustuvaa neuroverkkoa voidaan käyttää järjestämään ja havainnollistamaan mitä tahansa monimutkaisia tietojoukkoja. Menetelmä onkin osoittautunut varsin yleispäteväksi ja käyttökelpoiseksi mitä erilaisimmilla sovellusalueilla, ei pelkästään sen alkuperäisessä kohteessa, puheentunnistuksessa.

Kohonen antoi kehittämälleen neuroverkkomallille nimen *itseorganisoiva kartta* (self-organizing map, SOM), ja ulkomailla siitä käytetään myös nimityksiä ”Kohonen map” ja ”Kohonen network”. Hän julkaisi ensimmäisen itseorganisoivia karttoja käsittelevän tieteellisen artikkelinsa vuonna 1982 – täsmälleen oikealla ajoituksella samoihin aikoihin kansainvälisessä tiedeyhteisössä alkaneen neuroverkkobuumin kanssa. Kohonen onkin itseorganisoivan karttansa ansiosta neuroverkkotutkimuksen arvostetuimpia kantaisia ja yksi kansainvälisesti tunnetuimmista suomalaisista tieteen tekijöistä ylipäätään.

Kohosen tunnetuin julkaisu on vuonna 1995 ilmestynyt kirja *Self-Organizing Maps*. Siinä määritellään itseorganisoiva kartta seuraavasti:

result of a nonparametric regression process that is mainly used to represent high-dimensional, nonlinearly related data items in an illustrative, often two-dimensional display, and to perform unsupervised classification and clustering

Samaisessa kirjassa määritellään yleinen neuroverkko seuraavalla tavalla:

massively parallel interconnected network of simple (usually adaptive) elements and their hierarchical organizations, intended to interact with the objects of the real world in the same way as the biological nervous systems do

Nimensä mukaisesti itseorganisoiva kartta (SOM) ”organisoituu” automaattisesti eli ”itse” vastaamaan sille syötteenä annetun datajoukon rakennetta. Alkutilanteessa SOM ja syötedata saattavat olla kovinkin kaukana toisistaan, mutta iteratiivinen prosessi mukauttaa ne pikku hiljaa vastaamaan toisiaan. Kuten edellä todettiin, SOM on useimmiten kaksiulotteinen ja visuaalinen abstraktio moniulotteisesta syötteestä.

Yleisellä tasolla SOM-algoritmi toimii seuraavasti:

1. Alusta SOMin solut verkoksi satunnaiseen järjestykseen eli vastaamaan satunnaisen läheisesti syötealkioita.



2. Toista askelia 3–5, kunnes SOM ei enää muutu tai iteraatioiden yläraja saavutetaan.
3. Valitse syötealkio i .
4. Etsi SOMista lähinnä syötealkiota i oleva solu o .
5. Siirrä o ja sitä lähellä olevat solut SOMissa entistä lähemmäs alkioita i (o eniten ja muut solut sitä vähemmän, mitä kauempana ne ovat i :stä).

SOM-algoritmia voidaan virittää joko tehokkaammaksi tai vastaamaan paremmin jonkin tietyn sovellusalueen tarpeita mm. säätämällä iteraatioiden määrää, määrittelemällä SOMin solujen painovektoreiden (weight vector) ja syötteen alkioiden ”läheisyys” sopivaksi ja valitsemalla voittanutta solua ”lähellä olevat solut” eli naapurit (neighbors) sopivasti. Koska algoritmi on oppiva, kehitty sen tuottama SOM pikku hiljaa vastaamaan syötettä yhä paremmin ja paremmin, jolloin naapuruston kokoa voidaan pienentää iteraatio iteraatiolta. Hyvien tulosten saavuttamiseksi SOM-algoritmilta vaaditaan yleensä kymmeniä tuhansia tai jopa satoja tuhansia iteraatioita, joten optimoinnille todellakin on sijaa.

Monipuolisuutensa ansiosta SOMia on hyödynnetty varsin paljon sekä tiedeyhteisössä että eri sovellusalueilla. Sen käytöstä tai analysoinnista löytyy yli 10 000 viitettä alkuperäisen sovellusalueen, puheentunnistuksen, lisäksi mm. teollisuusprosessien (esimerkiksi paperinvalmistuksen) analysoinnissa, lääketieteellisissä diagnooseissa, finanssianalyyseissä, konenäössä ja robotiikassa.

Yksi tunnetuimmista itseorganisoiviin karttoihin perustuvista työkaluista on Kohosen johtaman tutkimusryhmän (Timo Honkela, Sami Kaski, Krista Lagus) 1990-luvulla kehittämä WEBSOM, jolla voitiin järjestää Internetissä olevia dokumentteja ja havainnollistaa niiden välisiä semanttisia suhteita niissä yhdessä esiintyvien sanojen perusteella. WEBSOMia on käytetty mm. patenttien, uutisten ja uutisryhmissä olevien artikkelien luokitteluun. Työkalulla on tuotettu mm. kartta 1.1.-10.10.1997 julkaistuista STT:n sähköuutisista. Tuolloin Nokia eli vahvaa nousukautta, mikä näkyy mm. seuraavista ajanjakson uutisista:

- Nokia laajentaa Thaimaassa (10.1. klo 19.00)
- Talviautoilu kasvatti Nokian Renkaiden tulosta (13.2. klo 15.00)
- Nokian alkuvuoden tulos liki nelinkertaistui (29.4. klo 17.00)
- Nokia laajentaa Oulussa (27.8. klo 17.00)
- Nokialle gsm-kauppa Itävaltaan (29.8. klo 14.00)
- Nokia ylitti 100 dollarin rajan (8.10. klo 9.00)

WEBSOM oli ajan hermolla ja organisoii uutiskartan seuraavaan muotoon, jossa samaa teemaa käsittelevät aiheet sijaitsevat lähellä toisiaan vaaleilla alueilla ja toisilleen vieraat aiheet erillään tummemmilla alueilla. Kuten kartasta nähdään, vuonna 1997 Nokialla oli läheinen neuroverkkoyhteys tulokseen, pörssiin, liikevaihtoon, liikevoittoon ja kannattavuuteen.

WEBSOM- uutiskartta. Tumma väri ilmaisee suurta semanttista etäisyyttä uutisaiheiden välillä, ja vaaleilla alueilla sijaitsevat aiheet ovat puolestaan todennäköisesti keskenään samankaltaisia.



WEBSOMin luokitteluidea yleistettiin vuosituhannen vaihteessa tekstistä yleisempään digitaaliseen dataan kehittämällä samantapainen järjestelmä, PicSOM, jolla pystyttiin hakemaan valituista tietokannoista ja kirjastoista käyttäjän antamia esimerkkejä parhaiten vastaavia kuvia ja videoita. Luokittelu perustui kuvien muotoon sekä niissä käytettyihin väreihin ja tekstuureihin.

Teuvo Kohosen Teknilliseen korkeakouluun perustama neuroverkkojen tutkimusryhmä on ollut parasta suomalaista tieteen kuohukermää: se on mm. ollut vuodesta 1995 lähtien yhtäjaksoisesti kansallinen tutkimuksen huippuyksikkö nimikkeillä *neuroverkkojen tutkimusyksikkö*, *adaptiivisen informatiikan tutkimuksen huippuyksikkö* ja *suomalainen laskennallisen päättelyn huippuyksikkö*. Kohosen eläkkeelle jäämisen jälkeen yksikköä on vuodesta 2000 lähtien johtanut Erkki Oja. Paitsi tutkimuksen teossa, huippuyksiköt ovat kunnostautuneet myös tutkijankoulutuksessa ja niistä on valmistunut useita kymmeniä tohtoreita vaativiin asiantuntijatehtäviin niin yliopistoihin kuin yrityksiin, sekä Suomeen että ulkomaille.

Oja on Kohosen jälkeen tunnetuin suomalainen neuroverkkojen tutkija. Hänen ensimmäinen tiedeyhteisössä huomiota herättänyt tuloksensa oli vuonna 1982 julkaistu neuronien oppimista tehostava malli, josta käytetään nimitystä ”Oja (learning) rule”. Palattuaan Kuopion yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun professuureista takaisin Teknilliseen korkeakouluun vuonna 1993 Oja perusti Kohosen johtamaan yksikköön oman tutkimusryhmän. Ryhmä keskittyi tutkimaan neuroverkkojen keskeistä tutkimusongelmaa, *sokeaa signaalien erottelua* (blind source / signal separation), ja sen erikoistapausta, *riippumattomien komponenttien analyysiä* (independent component analysis, ICA). Ryhmä nousikin näillä alueilla tutkimuksen kansainväliseen kärkeen julkaisten mm. vuonna 2001 yhden alan perusteoksista, kirjan *Independent Component Analysis* (Aapo Hyvärinen, Juha Karhunen, Erkki Oja).

Sokeassa signaalien erottelussa tutkitaan useasta eri datalähteestä koottuja sekoituksia pyrkien erottelemaan sekoituksista alkuperäiset lähteet niitä tuntematta (eli ”sokeasti”). Mikäli lähteet ovat toisistaan riippumattomia, voidaan niiden erotteluun käyttää riippumattomien komponenttien analyysiä, joka on osoittautunut paljon tehokkaammaksi kuin muut vastaavat signaalinkäsittelymenetelmät. Sokeat ja riippumattomat menetelmät tarvitsevat syötteekseen useita erilaisia samojen datalähteiden

sekoituksia pystyäkseen erottelemaan niistä esiin alkuperäiset lähteet. Ojan johtaman tutkimusryhmän kehittämä FastICA-algoritmi on riippumattomien komponenttien analysoinnissa tehokkuudeltaan yksi parhaista.

Menetelmillä kyetään erottelemaan periaatteessa minkä tyyppistä sekoitettua dataa tahansa. Tyypillisiä esimerkkejä ovat useamman mikrofonin kautta nauhoitetut äänet, useamman sensorin kautta tallennetut signaalit ja jonkin teollisen prosessin rinnakkaiset mittaukset. Suosittu demoesimerkki on ns. cocktailkutsuilmiö, jossa ihminen kykenee yllättävän hyvin seuraamaan joko oman keskustelukumppanin tai josain kauempana olevan kiinnostavamman henkilön puhetta, vaikka huoneessa kuuluisi paljon muitakin ääniä (monen kielistä puhetta, sopertelua, yökkäämistä, naurua, musiikkia, lasien kilistelyä yms.). Ihmisen lisäksi yksittäisten puheäänien tunnistamiseen pystyy riippumattomien komponenttien analyysi, kun sille syötetään äänimassa esimerkiksi useamman mikrofonin kautta tallennettuna. Menetelmän avulla voisi esimerkiksi mustasukkainen aviomies jälkikäteen tarkistaa, mitä lipevä professori hänen vaimolleen oikein kuiskutteli boolimaljan ääressä.

Erkki Ojan johtamat tutkimuksen huippuyksiköt ovat 2000-luvulla laajentaneet toimintaansa neuroverkoista myös muihin älykkäisiin ja oppiviin menetelmiin, kuten koneoppimiseen ja tiedonlouhintaan, ja niiden sovellusalueille, kuten puheentunnistukseen sekä bio- ja neuroinformatiikkaan. Vuosina 2012–2017 toimivan suomalaisen laskennallisen päättelyn huippuyksikön (Finnish Centre of Excellence in Computational Inference Research, COIN) yleisenä teemana on kehittää päättelyyn perustuvia laskennallisia ja tilastollisia menetelmiä suurten datamassojen muuntamiseksi hyödylliseksi tiedoksi. COIN on monitieteinen yksikkö, jossa on tutkijoita Aalto-yliopistosta ja Helsingin yliopistosta. Sen päätutkimusalueita ovat neurolaskenta (johtava tutkija: Erkki Oja), tilastollinen koneoppiminen (Samuel Kaski, Helsinki Institute for Information Technology – HIIT), laskennallinen biologia (Erik Aurell, Aalto-yliopisto / Kungliga Tekniska högskolan – KTH), bayesiläinen tilastotiede (Jukka Corander, Helsingin yliopisto), sisältöperustainen kuvankäsittely (Jorma Laaksonen, Aalto-yliopisto), älykkäät laskentajärjestelmät (Petri Myllymäki, Helsingin yliopisto) ja automaattinen päättely (Ilkka Niemelä, Aalto-yliopisto).



Teuvo Kalevi Kohonen, syntynyt 11.7.1934
Lauritsalassa.

Ylioppilas 1952 (Lappeenrannan lyseo). DI 1957, TkL 1960, TKT 1962 (Teknillinen korkeakoulu, fysiikka).

Vanhempi assistentti 1957–59 (Teknillinen korkeakoulu),
tutkija 1959–62 (kauppa- ja teollisuusministeriön
atomienergianeuvottelukunta), apulaisprofessori
1963–65 ja teknillisen fysiikan professori 1965–93
(Teknillinen korkeakoulu). Vierailuva professori 1968–69
(University of Washington, Seattle), Suomen Akatemian
tutkijaprofessori 1975–78 ja 1980–94, Suomen Akatemian

akatemiaprofessori 1995–99. Akateemikko 2000.

Valtion teknistieteellisen toimikunnan sihteeri 1963–64, ASLA-toimikunnan jäsen 1970–79
ja puheenjohtaja 1980–84. Suomen Akatemian huippuyksikön johtaja 1995–99.

Suomen hahmontunnistustutkimuksen seuran puheenjohtaja 1977–85 ja kunniajäsen 1987,
Suomen Lääketieteellisen Fysiikan ja Tekniikan Seuran kunniajäsen 1988, International
Association for Pattern Recognitionin 1. varapuheenjohtaja 1982–84, European
Neural Network Society:n puheenjohtaja 1991–92, IEEE Fellow 1993. Emil Aaltosen
säätöön kunniapalkinto 1983, MTV:n vuoden 1984 kulttuuripalkinto, Suomen Leijonan
komentajamerkki 1987, Espoo-mitali 1988, IEEE Neural Networks Councilin Pioneer Award
1991, International Neural Network Society:n Lifetime Achievement Award 1992, Suomen
Kulttuurirahaston palkinto 1994, IEEE Signal Processing Society:n Technical Achievement
Award 1995, International Association for Pattern Recognitionin King-Sun Fu Prize 1996,
Teknillisten Tieteiden Akatemian mitali 1997, SEFin Leonardo da Vinci -mitali 1998, Tekniikan
edistämissäätiön juhlavuoden palkinto 1999, Italgas Price 1999, Caianiello International
Award 2000, IEEE:n Third Millennium Medal 2000, IEEE:n Frank Rosenblatt Technical Field
Award 2008. Teknillisten Tieteiden Akatemian jäsen 1965, Suomalaisen Tiedeakatemian
jäsen 1974, Academia Scientiarum et Artium Europaeae jäsen 1992, Académie Européenne
des Sciences, des Arts et des Lettresin jäsen 1992. Tietotekniikan liiton vuoden 1988 atk-
vaikuttaja. Yorkin yliopiston kunniatohtori 1992, Åbo Akademin kunniatohtori 1993,
Dortmundin teknillisen yliopiston kunniatohtori 1997.

Teuvo Kohonen suoritti kaikki akateemiset tutkintonsa fysiikassa, mutta siirtyi
tietotekniikkaan tultuaan vuonna 1965 nimityksi teknillisen fysiikan professorin virkaan,
johon sisältyi elektroniikan, digitaalitekniikan ja tietokonetekniikan edistäminen Teknillisessä
korkeakoulussa. Hän johti 1960-luvulla mm. TKK:ssa käytetyn REFLAC-tietokoneen
rakentamista, kunnes siirtyi Yhdysvaltoihin suorittamansa tutkijavierailun innostamana
tutkimaan neuroverkkoja ja mukautuvia assosiativimuisteja. Kohosen tutkimustyö johti
1980-luvun alussa kansainvälisesti tunnetuimpaan suomalaisen tietojenkäsittelytieteen
innovaatioon, itseorganisoivaan karttaan. Itseorganisoivasta kartasta on sittemmin kirjoitettu
toistakymmentä tuhatta tieteellistä artikkelia ja Kohosen siitää vuonna 1995 julkaisema kirja
Self-Organizing Maps on siteeratuin suomalainen tietojenkäsittelytieteiden julkaisu.

Teuvon harrastuksia ovat musiikki (teoria, kuuntelu ja myös amatööritason soittaminen
sekalaisilla instrumenteilla) sekä kesämökin käyttö ja ylläpito. Hän on kansainvälisessä
tiedeyhteisössä edelleenkin suuressa arvossa, ja hänen nimeensä törmää maailmalla mitä
erilaisimissa yhteyksissä. Teuvon oivallisenä neuvona erityisesti nuorille tutkijoille on,
ettei *pitäisi yrittää kehittää ratkaisua monimutkaiseen ongelmaan ennen kuin
hallitsee täysin vastaavan ongelman yksinkertaisemman version.*



Erkki Oja, syntynyt 22.3.1948 Helsingissä.

Ylioppilas 1967 (Kouvolan lyseo). DI 1972, TkL 1975, TkT 1977 (Teknillinen korkeakoulu).

Tutkimusapulainen 1974–75, nuorempi tutkija 1976–78 ja vanhempi tutkija 1979–81 (Suomen Akatemia), apulaisprofessori 1981–87 (Kuopion yliopisto), tietojenkäsittelytekniikan professori 1987–93 (Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu), tietojenkäsittelytekniikan professori 1993– (Teknillinen korkeakoulu / Aalto-yliopisto). Vieraileva tutkija 1977–78 (Brown University), vieraileva tutkija 1983–84 ja vieraileva

professori 1990–91 (東京工業大学, Tokyo Institute of Technology), vieraileva professori 2001 (Université Paris I – Panthéon Sorbonne), Suomen Akatemian akatemiaprofessori 2000–2005.

Suomen Akatemian luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan puheenjohtaja 2007–2012. Suomen Akatemian huippuyksikön johtaja 2000–2005, 2006–2011 ja 2012–2017. Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun tietotekniikan osaston johtaja 1992–93.

Suomen hahmontunnistustutkimuksen seuran puheenjohtaja 1986–88. Nokian Säätiön hallituksen jäsen 1999–2001. IAPR Fellow 1994, IEEE Fellow 2000. European Neural Network Society puheenjohtaja 2000–2005, International Neural Network Society johtokunnan jäsen 2002–2007 ja Fellow 2008. IEEE Computational Intelligence Society Neural Network Pioneer Award 2006. Teknillisten Tieteiden Akatemian jäsen 1988, Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1992, Academia Europaean jäsen 2012. Uppsalan yliopiston kunniatohtori 2008, Lappeenrannan teknillisen yliopiston kunniatohtori 2008, Itä-Suomen yliopiston kunniatohtori 2010, Aalto-professori 2013. Suomen Leijonan komentajamerkki 2012.

Erkki Oja opiskeli Teknillisessä korkeakoulussa perustutkintonsa pääaineena teknillistä fysiikkaa ja perehtyi siinä yhteydessä Teuvo Kohosen assosiatiivisia muisteja ja niistä jalostuneita neuroverkkoja käsittelevään tutkimukseen. Ojan tutkimustyö onkin keskittynyt neuroverkkoihin ja itseorganisoiviin karttoihin sekä niiden soveltamiseen mm. koneoppimisessa, hahmontunnistuksessa, signaalinkäsittelyssä, koenäössä ja puheentunnistuksessa. Runsaan ja monipuolisen julkaisutoimintansa ansiosta Oja on Kohosen ohella näkyvin suomalainen tutkija neuroverkkojen kansainvälisessä tiedeyhteisössä.

Erkin harrastuksia ovat kirjallisuus, ruusulajikkeiden hoito mökillä ja perinteisen tyylin murtomaahiihto. Niistä etenkin saavutukset ladulla ovat mittavat ja urheilumiesten mieltä lämmittävät: kilometrejä kertyy yli 1000 talvessa, ja Erkin perinteisiin kuuluu hiihtää ikävuosien verran kilometrejä aina syntymäpäivänä (joskin aivan viime vuosina on sääntöä höllennetty niin, että käytettävissä on koko viikonloppu). Vuonna 2015 tulee siis edessä olemaan 67 kilometrin sivakointi, jne. Erkin akateeminen periaate taitaakin kuvastaa varsin hyvin myös häntä itseään: tasapuolinen kilpailu nostaa esiin laadukkaimman tutkimuksen.

Koneoppiminen

Bayesiläisellä tilastotieteellä, päättelyllä ja mallintamisella on vahva asema paitsi COIN-huippuyksikössä, myös yleisesti suomalaisessa laskennallisen älykkyyden tutkimuksessa. Tutkimuksen tukipilarina on englantilaisen ”amatöörimatemaatikon” ja presbyteeripapin Thomas Bayesin kehittämä ja hänen kuolemansa jälkeen vuonna 1763 julkaistu kaava, joka mallintaa olemassa oleviin havaintoihin pohjautuvaa todennäköisyyttä tuleville tapahtumille. Se on nimetty keksijänsä mukaan *Bayesin kaavaksi* (tai Bayesin teoreemaksi):

$$P(B | A) = P(A | B) P(B) / P(A)$$

missä

$P(A)$ on (havaitun) tapahtuman A priori-todennäköisyys

$P(A | B)$ on tapahtuman A posteriori-todennäköisyys, eli A:n todennäköisyys ehdolla B

$P(B)$ on (havaitun) tapahtuman B priori-todennäköisyys

$P(B | A)$ on tapahtuman B todennäköisyys ehdolla A

Bayesin kaavan avulla voidaan siis arvioida todennäköisyyttä, että *B* on totta, kun *A* havaitaan. Tuo varsin yksinkertainen ja mitättömältä näyttävä kaava on saanut vankan jalansijan ja oman koulukuntansa etenkin sellaisilla tilastotieteen ja tietojenkäsittelytieteen alueilla, joilla käsitellään epävarmaa tai epätäsmällistä tietoa ja joilla on tarvetta mallintaa sitä, kuinka uskomuksemme jonkin asian tilasta tai todenperäisyydestä muuttuu saadesamme siihen liittyvää uutta tietoa. Tietojenkäsittelytieteessä koneoppiminen ja oppivat järjestelmät ovatkin mitä luontevimpia pelikenttiä bayesiläisyydelle.

Bayes-verkko (Bayesian network) on puolestaan bayesiläiseen päättelyyn perustuva probabilistisen tietämyksen malli, suunnattu syklistön verkko, jonka solmuina olevat muuttujat vastaavat tarkastelun kohteina olevia tapahtumia ja kaaret niiden välisiä ehdollisia riippuvuuksia, kuten syy-seuraus-suhteita. Solmuihin liitetään tapahtumien ehdolliset todennäköisyydet, so. kunkin muuttujan saamien arvojen posteriori-todennäköisyydet ehdolla, että kaikkien ko. solmuun johtavien kaarien alkusolmuja vastaavat tapahtumat toteutuvat (jollakin tietyllä tapahtumamuuttujan arvolla). Bayes-verkko sisältää useimmiten solmuja, joihin johtaa useita kaaria; ts. solmulla mallinnettava tapahtuma riippuu monesta muusta aiemmasta tapahtumasta. Tällöin tapahtumaa mallintavan muuttujan saamien arvojen ehdollinen todennäköisyysjakauma kuvataan solmuun liitettyllä todennäköisyystaulukolla tai -funktioilla, jonka argumentteina ovat solmuun johtavien kaarien alkusolmujen saamat arvot. Bayes-verkosta on mahdollista laskea myös useammasta solmusta koostuvan yhdistelmän yhteistodennäköisyys. Yksi tärkeä Bayes-verkkojen ominaisuus on kausaalinen riippumattomuus: kun kaikkien tiettyyn solmuun johtavien kaarien alkusolmujen saamat arvot tunnetaan, oletetaan, ettei kyseisen solmun todennäköisyysjakauma enää riipu muiden solmujen arvoista, vaikka ne sattuisivat muuttumaan.

Koska Bayes-verkoilla ja neuroverkoilla voidaan mallintaa samantapaisia ongelmia, myös niiden sovellusalueet ovat samankaltaisia. Bayes-verkkoja onkin käytetty mm.

lääketieteelliseen diagnosointiin, laskennalliseen biologiaan ja bioinformatiikkaan, prosessinkontrolliin, vikadiagnostiikkaan, hahmontunnistukseen ja tiedonlouhintaan. Menetelmien pohjana olevat laskentaparadigmat ovat kuitenkin varsin erilaiset: Bayes-verkot perustuvat perinteiseen todennäköisyyslaskentaan ja tilastotieteeseen, kun taas neuroverkkojen mallina on käytetty ihmisaivojen ja muiden luonnollisten hermoverkkojen toimintaa. Bayes-verkkoja ja neuroverkkoja on verrattu toisiinsa useissa tutkimuksissa eri sovellusalueilla. Tutkimuksista voi vetää sen yleisen johtopäätöksen, että Bayes-verkot ovat helpompia ymmärtää ja ne tuottavat paremman lopputuloksen ”selkeissä” ongelmissa, joissa on kohtuullisen hyvin tunnettuja syy-seuraus-suhteita tai muita eksplisiittisiä riippuvuuksia, kun taas neuroverkot ovat omimmillaan ”sumeissa” ja heikosti strukturoiduissa ongelmissa. Lisäksi neuroverkot pystyvät tuottamaan yllättäviäkin (joskin myös täysin pieleen meneviä) ratkaisuja, kun taas Bayes-verkoilla saadut tulokset ovat pikemminkin tuttua ja varmaa peruskamaa.

Suomessa Bayes-verkkojen tärkeimmät tutkimusryhmät ovat Sami Kasken (Aalto-yliopisto) johtama Statistical Machine Learning and Bioinformatics Group ja Petri Myllymäen (Helsingin yliopisto) johtama Complex Systems Computation Group (CoSCo). Ryhmillä on tiivistä yhteistyötä, sillä ne molemmat kuuluvat COIN-huippututkimusyksikköön.

Sami Kaski oli yksi WEBSOM-järjestelmän pääkehittäjistä ja hän väitteli vuonna 1997 itseorganisoivien karttojen ja WEBSOMin avulla tehtävästä data-analyysistä. Kaski ryhtyi vuosituhatosen vaihteessa tutkimusryhmineen soveltamaan itseorganisoivien karttojen ohella bayesiläisiä tekniikoita erityisesti biologisen datan analysointiin kehittämällä mm. useita niihin perustuvia oppimismetriikoita ja klusterointimenetelmiä. 2000-luvulla tutkimusta on laajennettu datajoukoissa esiintyvien riippuvuuksien ja korrelaatioiden Bayes-mallinnukseen.

Kansainvälisesti näkyvimmat tulokset tutkimusryhmä on saavuttanut datan visualisoinnissa. Kaski on yhdessä Jarkko Vennan kanssa kehittänyt moniulotteista dataa visualisoivan NeRV-algoritmin (Neighborhood Retrieval Visualizer), joka tuottaa syötedatalle optimaalisen kaksiulotteisen esitysmuodon minimoimalla joko samankaltaisten datapisteiden menettämistä tai väärin datapisteiden mukaan ottamista riippuen siitä, millaisen painon käyttäjä kyseisille virhetyypeille asettaa. Algoritmista käytetyn probabilistisen etäisyysmitan mallina on käytetty tiedonhakuun (information retrieval) kehitettyjä perinteisiä samankaltaisuuden mittareita. NeRV-algoritmista on sekä ohjattu (supervised) että ohjaamaton (unsupervised) versio, jotka molemmat ovat empiiristen kokeiden perusteella tarkempia kuin muut vastaavat algoritmit.

Henry Tirrin alun perin perustama CoSCo on puolestaan tehnyt pitkäjänteistä bayesiläistä tutkimustyötä jo 1990-luvun alusta lähtien. Ryhmän varhaisia tutkimuskohteita olivat mm. Bayes-verkkojen ja (stokastisten) neuroverkkojen välinen suhde ja niiden muuntava yhdistäminen monipuoliseksi hybridijärjestelmäksi. Perustutkimuksen lisäksi CoSCo on soveltanut Bayes-verkkoja lukuisilla – osin yllättävilläkin – sovellusalueilla, kuten paikannuksessa, verkko-opetuksessa sekä lohijokien, HIV-1-viruksen ja potilaan sairaalaan lähettämisen arvioinnissa, ja se on kehittänyt useita bayesiläisiä tilastollisia päättelytyökaluja. Tirri väitteli Bayes-päätelystä vuonna 1997 ja toinen CoSCo:n nokkamies, Petri Myllymäki Bayes-neuro-hybridijärjestelmistä vuonna 1995.

CoSCo ei kuitenkaan erotu massasta niinkään laadukkaan tieteellisen tutkimuksensa vaan yhteiskunnallisen vaikuttavuutensa ansiosta. Ryhmän tunnetuin aikaansaannos on sen kehittämään ja patentoimaan BayMiner-ohjelmistoon perustuva ja Helsingin Sanomien kanssa yhteistyönä kehitetty vaalikone, joka avasi sittemmin kovin suosituiksi nousseiden vaalikoneiden sarjan vuoden 2003 eduskuntavaaleissa. Vaalikone järjesti ehdokkaat heidän HS:n laatimaan kyselyyn antamiensa vastausten perusteella Bayes-verkoksi, joka paljasti Suomen kansalle mm. sellaiset poliittiset totuudet, että perussuomalaiset olivat vuonna 2003 hajallaan pitkin poliittista kenttää kuin Jokisen eväät, vastikään pääministerin tehtävästä eroamaan joutunut Anneli Jäätteenmäki ei arvomaailmaltaan ollutkaan porvarillisen keskustalainen vaan pikemminkin sosiaalidemokraatti ja Tony Halme oli individualistina aivan omilla linjoillaan. Helsingin Sanomat käytti CoSCon vaalikonetta myös EU-vaaleissa 2004, eduskuntavaaleissa 2007 ja kunnallisvaaleissa 2008. CoSColla on ollut aitoa yritystä myös kaupallistaa tutkimustuloksiaan: sen jäsenet perustivat 2000-luvun alussa BayMineria varten BayesIT-nimisen firman, josta ei kuitenkaan tullut samanlaista kaupallista menestystarinaa kuin CoSCon toisesta spin off -yrityksestä, bayesiläisen sisäpaikannuksen kehittämiseen perustetusta Ekahausta.

Tätä nykyä näkyvin yksittäinen älykkäiden ja oppivien menetelmien suomalainen tutkija kansainvälisessä tiedeyhteisössä on Aapo Hyvärinen. Hän kuului Teuvo Kohosen johtamaan neuroverkkojen tutkimuksen huippuyksikköön ja väitteli Teknillisessä korkeakoulussa vuonna 1997 riippumattomien komponenttien analyysistä. Kansainväliseen maineeseen Hyvärisen nostivat hänen vuonna 1999 julkaisemansa artikkeli *Fast and Robust Fixed-Point Algorithms for Independent Component Analysis* FastICA-algoritmista ja vuonna 2001 yhdessä Juha Karhusen ja Erkki Ojan kanssa julkaistu kirja *Independent Component Analysis*. Molemmat ovat laajalti viitattuja perusteoksia koneoppimisen alueella.

FastICA tuottaa lineaarisen muunnoksen sille syötteenä annetusta monimuuttujaisesta datasta, olettaen että muuttujat ovat toisistaan riippumattomia; tai – kuten edellä todettiin – kaivaa esiin alkuperäiset signaalit sille syötteinä annetuista signaalisekoituksista. FastICAn maine ja suosio johtuvat sen tehokkuudesta, jonka ansiosta sitä voidaan käyttää monilla eri sovellusalueilla. Hyvärinen on myöhemmin kehittänyt FastICAn pohjalta yhä paremmin ja paremmin ”lievää riippuvuutta” sietäviä ICA-algoritmeja.

Hyvärinen siirtyi 2000-luvun alkupuolella Helsingin yliopistoon, jossa hän on erikoistunut laskennalliseen neurotieteeseen ja perustanut neuroinformatiikan tutkimusryhmän. Ryhmä on keskittynyt kehittämään tilastollisia simulaatiomalleja ja data-analyysimenetelmiä aivojen toiminnalle, erityisesti hermoston näköjärjestelmälle, hyödyntäen tutkimuksessaan Hyvärisen ja ryhmän muiden jäsenten aikaisempia tutkimustuloksia neuroverkoista ja riippumattomien komponenttien analyysistä sekä kuvan- ja signaalinkäsittelystä.

Muita aktiivisia suomalaisia koneoppimistutkijoita ovat mm. Tapio Elomaa (alun perin Helsingin yliopisto, sittemmin Tampereen teknillinen yliopisto) ja Jyrki Kivinen (Helsingin yliopisto). Heistä Elomaa on tutkinut erityisesti päätöspuiden (decision tree) oppimista ja Kivinen jatkuvaa ja mukautuva ”online”-oppimista.

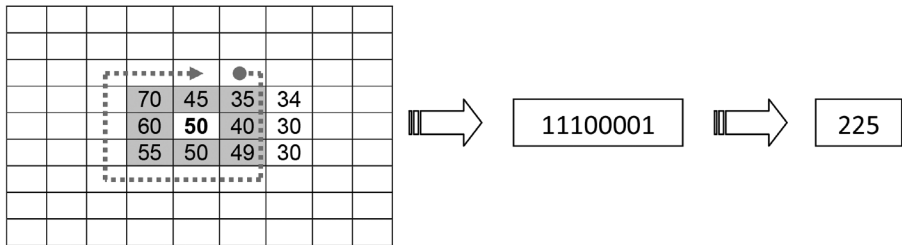
Konenäkö

Yksi tekoälyn perinteisiä tutkimusalueita on konenäkö. Sitä on tutkittu Oulun yliopistossa pitkäjänteisesti jo 1980-luvun alusta lähtien, jolloin Marylandin yliopistosta tutkijavierailulta palannut Matti Pietikäinen perusti vierailunsa innoittamana alueelle tutkimusryhmän. Ryhmä on vähitellen laajentunut konenäön tutkimuskeskukseksi (Center for Machine Vision Research). Yksikkö ja sen edeltäjät ovat erikoistuneet kehittämään konenäön menetelmiä ja järjestelmiä teollisuuden tarpeisiin, erityisesti tuotteiden tarkastukseen ja lajitteluun sekä robottien ohjaukseen. Tutkimusyksikön tärkeimpiä tutkimuskohteita ovat olleet erilaisten kohteiden bittikarttakuvan eli tekstuurin ja värien analysointi, videoanalyysi, geometrinen 3D-näkö sekä kasvojen ja niiden liikkeiden tunnistus.

Pietikäisen johtama tutkimusryhmä on saavuttanut kansainvälistä mainetta tekstuurin analysointiin käytettävästä *Local Binary Pattern* (LBP) -menetelmästä. Menetelmä julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1994 konferenssiartikkelina (Timo Ojala, Matti Pietikäinen, David Harwood) ja siitä on 2000-luvulla tullut yksi eniten käytetyistä tekstuurianalyysin menetelmistä. Alkuperäisestä LBP:stä on sittemmin kehitetty useita tehokkaampia ja konenäön erilaisilla sovellusalueilla käyttökelpoisia muunnelmia ja laajennuksia.

LBP-menetelmässä analysoitava tekstuuri (useimmiten kuva) jaetaan yksittäisistä kuvapisteistä eli pikseleistä koostuviksi ikkunoiksi ja kullekin pikselille tuotetaan LBP-operaattorilla binääri- tai desimaalimuotoinen koodi. Nämä yksittäiset pikselikoodit yhdistetään ikkunoita kuvaaviksi vektoreiksi tai histogrammeiksi, jotka lopuksi yhdistetään koko tekstuurin kuvaajaksi. LBP-menetelmä on osoittautunut varsin tehokkaaksi esimerkiksi kasvojen tunnistuksessa, jossa kasvokuva jaetaan LBP:llä koodattaviksi lohkoiksi ja niitä kuvaavat histogrammit ketjutetaan kokonaisten kasvojen kuvaajaksi. Menetelmää voi käyttää myös kasvonilmeiden analysoimiseen.

Alkuperäisen pikselikohtaisen LBP-operaattorin perusidea on yksinkertainen: (1) jokaiselle pikselille tuotetaan sitä ympäröivien kahdeksan pikselin muodostama naapurusto, (2) keskipikselin väriä tai kirkkautta mittaavaa arvoa verrataan sen naapuripikselien vastaaviin arvoihin, (3) kiertäen naapurusto valitusta lähtöpikselistä joko myötä- tai vastapäivään tuotetaan keskipikseliä kuvaava kahdeksan bitin koodi, jonka kutakin naapuruston pikseliä vastaavaan positioon tulee binääriluku 1, mikäli keskipikselin arvo on suurempi kuin ko. naapuripikselin arvo, ja muutoin 0. Yleensä lisäksi (4) saatu binäärikoodi muutetaan desimaaliluvuksi.



(1) Keskipikseli ja sen naapurusto

(2), (3) Binäärikoodi

(4) Desimaalikoodi

LBP-koodaus. Kuvapikseli, jonka väriarvo on 50, kuvataan desimaalilukuna. Koodausoperaatio kiertää naapurustossa myötäpäivään, lähtöpikselinä naapuruston oikeassa yläkulmassa oleva kuvapikseli (35). Mikäli pikselin väriarvo kuvaa ko. pikselin tummuusastetta, muuttuu kuva sitä vaaleammaksi, mitä enemmän oikealle edetään. Efekti nähdään suoraan pikselien LBP-koodauksesta: lähtöpikseliä vastaava desimaalikoodi on varsin suuri (225), samoin kuin sen oikealle puolella olevan pikselin (40) koodi (myös 225), mistä voidaan päätellä, että lähinaapurustojen oikea sivusta on vaalenemaan päin. Mikäli koodit olisivat pieniä, olisi kuva sitä vastoin tummenemassa oikealle edettäessä.

Oulun yliopiston lisäksi konenäköä on tutkittu menestyksekkäästi Lappeenrannan teknillisessä korkeakoulussa / yliopistossa, jossa Heikki Kälviäinen on tutkinut mm. erilaisten muotojen ja liikkeiden tunnistamista ns. Houghin muunnoksen (Hough transform) avulla. Värien tunnistamista on puolestaan tutkinut sittemmin Joensuun yliopistoon / Itä-Suomen yliopistoon siirtynyt Jussi Parkkinen.



Matti Kalevi Pietikäinen, syntynyt 20.3.1949
Kiuruvedellä.

Ylioppilas 1968 (Kiuruveden yhteislyseo). DI 1973, TkL
1977, TKT 1982 (Oulun yliopisto).

Tutkimusapulainen 1972–73, assistentti 1973,
laboratorioinsinööri 1973–79 ja 1982–83 (Oulun yliopisto),
tutkija 1980–81 ja tutkijatohtori 1984–85 (University of
Maryland), apulaisprofessori 1986–91 ja tietotekniikan
professori 1991– (Oulun yliopisto).

Infotech Oulun tieteellinen johtaja 1996–.

Suomen hahmontunnistustutkimuksen seuran puheenjohtaja 1989–92, International
Association for Pattern Recognitionin (IAPR) johtokunnan jäsen 1989–2007 ja
koulutuskomitean puheenjohtaja 1996–98. IAPR Fellow 1994, IEEE Fellow 2012, Pentti
Kaiteran rahaston tunnustuspalkinto 2012, IET Biometrics Premium Award 2013.

Matti Pietikäinen aloitti hahmontunnistuksen, digitaalisen kuvankäsittelyn ja konenäön
tutkimustyönsä 1980-luvun alussa ollen näiden tutkimusalueiden suomalaisia uranuurtajia.
Hänen tutkimusryhmänsä alun perin 1990-luvulla kehittämä yksinkertainen ja tehokas
Local Binary Pattern -tekstuurioperaattori (LBP) on yksi kansainvälisen hahmontunnistuksen
tiedeyhteisön viitatuimmista menetelmistä. Siihen perustuva Pietikäisen ryhmän 2000-luvulla
kehittämä kasvojen tunnistusmenetelmä on myös alansa tunnetuimpia. LBP:n erilaisia
muunnelmia kehitetään edelleen, ja sitä on käytetty myös useilla muilla sovellusalueilla.

Matti pelaa golfia Oulun Golfkerhossa mukavalla tasoituksella 29,5 ja harrastaa myös
muuta liikuntaa. Hän ei ole smalltalk-miehiä vaan pikemminkin asiallisesti omiin hommiinsa
keskittyvä ja ne sääntillisesti hoitava suomalainen. Paitsi Mattin tieteellinen pätevyys, myös
hänen rento villapaitatyylinsä on tehnyt vaikutuksen lähiympäristöön nousten jopa pysyväksi
paikalliseksi muotivirtaukseksi.

12. MATEMAATTINEN TIETOJENKÄSITTELYTIEDE (MATHEMATICS OF COMPUTING)

Matematiikka on aina ollut tietojenkäsittelytieteen tärkein aputiede. Useimmat ensimmäisistä tietojenkäsittelytieteen tutkijoista olivat matemaatikoita ja monet tieteenalan klassisista tuloksista ovat matemaattisesti sävyttyneitä. Teoreettisemmilla tietojenkäsittelytieteen osa-alueilla käytetään runsaasti matemaattista arsenaalia, erityisesti algebraa ja logiikkaa, ja myös konstruktivisemmilla alueilla on kehitetty matematiikkaan perustuvia tietojenkäsittelyn menetelmiä, kuten funktionaalinen ohjelmointi ja logiikkaohjelmointi.

Koska matemaatikot olivat eturintamassa Suomessakin, kun maahamme luotiin 1960-luvulla ensimmäisiä tietojenkäsittelyopin laitoksia, olivat myös niiden ensimmäiset tutkimusalueet usein sidoksissa (sovellettuun) matematiikkaan. Esimerkiksi Helsingin yliopistossa Martti Tienari aloitti tieteellisen työnsä numeeristen algoritmien pyöritysvirheistä ja laitoksen ensimmäisten tohtorien joukossa oli useita aihepiiristä väitelleitä (Seppo Linnainmaa 1974, Esko Ukkonen 1977, Juhani Virkkunen 1980). Matematiikka kuitenkin katosi pikku hiljaa laitosten tutkimusrepertuaarista niiden siirtymässä tarkastelemaan tietojenkäsittelytieteen omia tutkimuskysymyksiä.

Tietojenkäsittelytieteen, matematiikan ja tilastotieteen välimaastoon on syntynyt myös niiden ominaispiirteitä yhdisteleviä erityisalueita. Yksi tärkeimmistä on informaation mittaamista ja siirtämistä tarkasteleva *informaatioteoria* (information theory), jonka perusmallissa lähettäjä koodaa lähetettävän informaation ja siirtää sen välityskanavaan, josta vastaanottaja sen puolestaan purkaa. Informaatioteoria pyrkii määrittämään mahdollisimman lyhyen ja luotettavan koodaus- ja dekodeustavan tilanteessa, jossa välityskanava saattaa hävittää tai muuttaa sen kautta kulkevaa koodattua informaatiota.

Informaatioteorian oppi-isänä pidetään Claude E. Shannonia, joka julkaisi 1940-luvun lopulla tiedon siirtämistä ja salausta koskevat teoriansa. Shannonin teorian keskeisiä käsitteitä ovat *entropia* (entropy), joka mittaa viestin sisältämän informaation määrää, ja *redundanssi* (redundancy), joka mittaa viestin sisältämän ylimääräisen eli varsinaiseen informaatioon kuulumattoman datan määrää. Informaatioteorialle on löydetty useita tärkeitä sovellusalueita, kuten tiedon tiivistäminen, signaalinkäsittely, tiedon siirto, luonnollisen kielen käsittely, salakirjoitus, tilastollinen päättely ja neurobiologia.

Aritmeettinen koodaus

Informaatioteorian keskeisiä kysymyksiä on tehokas tiedon pakkaus; so. tiedon kuvauksen (datan) korvaaminen lyhemmällä esitysmuodolla. Pakkausmenetelmiä on periaatteessa kahta tyyppiä. Häviöttömässä (lossless) pakkausmenetelmässä tieto ei muutu, jolloin vastaanottaja saa viestiä purkaessaan täsmälleen sille lähetetyn alkuperäisen informaation. Sen sijaan häviöllisessä (lossy) pakkausmenetelmässä sallitaan informaation väheneminen matkan varrella, pyrkien kuitenkin pitämään hävikki vastaanottajalle merkityksettömänä. Historiallisesti tunnetuin pakkausalgoritmi, tiedossa useammin esiintyviä symboleja lyhyemmällä symboleilla korvaava ns. Huffmanin koodaus, kuuluu häviöttömien menetelmien joukkoon, kun taas esimerkiksi kuvien pakkaami-

seen yleisesti käytettävä JPEG ja musiikin pakkaamisen käytettävä MP3 ovat häviöllisiä.

Yksi tehokkaimmista häviöttömistä tiedonpakkausmenetelmistä on *aritmeettinen koodaus* (arithmetic coding), jonka IBM:llä työskennellyt Jorma Rissanen julkaisi vuonna 1976. Menetelmästä on sittemmin kehitetty erilaisia muunnelmia ja toteutuksia, mutta niissä kaikissa on sama perusperiaate: perustuen informaatiota kuljettavan viestin sisältämien symbolien todennäköisyysjakaumaan viesti muunnetaan murtoluvuksi kaventamalla symboli symbolilta puoliavointa väliä $[0,1)$ ja valitsemalla viimeisenä tuotetusta välistä jokin sitä edustava luku x , $0 \leq x < 1$. Viestissä todennäköisemmin esiintyvät symbolit kaventavat koodausväliä vähemmän kuin epätodennäköisemmin esiintyvät symbolit, jolloin ne myös kasvattavat vähemmän tulosluvun x esitysmuotoa eli viestin aritmeettista koodia: mitä pienemmäksi väli $[0,1)$ kapenee, sitä enemmän bittejä tarvitaan siltä valittavan edustajan x esittämiseen.

Tarkastellaan esimerkkinä aakkoston $\{i, r, s, t, u, !\}$ symboleista koostuvien viestien aritmeettista koodausta, missä $!$ on viestin tekninen loppumerkki. Oletetaan, että symboleilla on seuraava kiinteä todennäköisyyden ja sitä vastaavan koodausvälin jakauma (kehittyneemmät menetelmät käyttävät mukautuvaa mallia, jossa symbolien esiintymistodennäköisyys muuttuu koodauksen aikana sen mukaisesti, kuinka usein ne ovat esiintyneet koodattavassa viestissä):

| Symboli | Todennäköisyys | Koodausväli |
|---------|----------------|--------------|
| i | 0.2 | $[0, 0.2)$ |
| r | 0.3 | $[0.2, 0.5)$ |
| s | 0.1 | $[0.5, 0.6)$ |
| t | 0.2 | $[0.6, 0.8)$ |
| u | 0.1 | $[0.8, 0.9)$ |
| $!$ | 0.1 | $[0.9, 1.0)$ |

Nyt viesti *riss!* koodataan seuraavasti: Ensimmäisen symbolin r kohdalla alkuväli $[0,1)$ kavennetaan ko. symbolia vastaavaksi koodausväliksi $[0.2, 0.5)$. Viestin seuraava symboli i kaventaa näin saadun välin i :n esiintymistodennäköisyyttä (20 %) vastaten viidennekseen eli väliksi $[0.2, 0.26)$, koska i :n koodausväli asettaa uuden välin edellisen välin $[0.2, 0.5)$ suhteelliselle osavälille $[0, 0.2)$. Näin jatkamalla viestin koodausväli kehittyi seuraavaan tapaan:

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Alkutilanne: | $[0, 1)$ |
| Symbolin r jälkeen: | $[0.2, 0.5)$ |
| Symbolin i jälkeen: | $[0.2, 0.26)$ |
| Symbolin s jälkeen: | $[0.23, 0.236)$ |
| Symbolin s jälkeen: | $[0.233, 0.2336)$ |
| Symbolin $!$ jälkeen: | $[0.23354, 0.2336)$ |

Viestin *riss!* aritmeettiseksi koodiksi voidaan valita mikä tahansa murtoluku väliltä $[0.23354, 0.2336)$. Saadessaan esimerkiksi aritmeettisen koodin 0.23355 vastaanottaja

voi päätellä, että viestin ensimmäinen symboli on varmuudella r , koska kyseinen koodi sisältyy ainoastaan r :n koodausväliin $[0.2, 0.5)$. Nyt vastaanottaja voi ryhtyä simuloimaan lähettäjä ja päätellä, että viestin seuraava symboli on i , koska ainoastaan sen generoima uusi väli $[0.2, 0.26)$ sisältää koodin 0.23355 ; r :ää seuratessaan esimerkiksi symboli s generoisi välin $[0.35, 0.38)$. Vastaanottaja jatkaa päättelyään samalla tavalla, kunnes vastaan tulee viestin loppumerkki $!$.

Viestin *riss!* entropia on Shannonin teorian mukaan negatiivinen logaritmi viimeiseksi generoidun koodausvälin pituudesta eli $-\log(0.2336 - 0.23354) = -\log 0.00006 \approx 4.22$, joten viestin aritmeettinen koodi vaatii viisi merkitsevää desimaalinumeroa. (Yleensä sekä aritmeettinen koodi että entropia esitetään tietokoneille soveliaammin binäärilukuna). Erilaisilla symbolien todennäköisyysjakaumilla saadaan viesteille paitisi erilaiset aritmeettiset koodit myös erilaiset entropiat; esimerkiksi mikäli edellisessä esimerkissä tiedettäisiin, ettei viesti voi sisältää symboleja t ja u ja että symbolien i , r , s ja $!$ todennäköisyydet ovat 0.2 , 0.2 , 0.4 ja 0.2 , olisi viestin *riss!* entropia 2.89 ja sen koodaamiseen tarvittaisiin ainoastaan kolme desimaalinumeroa – siis jo huomattavasti vähemmän kuin viestissä on symboleja.

Aritmeettinen koodaus on tehokkaampi tiedonpakkausmenetelmä kuin paremmin tunnettu Huffmanin koodaus, joka tuottaa murtolukujen sijasta symbolijonoja: aritmeettinen koodi voidaan tuottaa nopeammin kuin Huffmanin koodi ja sen on yleensä huomattavasti lyhyempi. Menetelmät ovat kuitenkin läheistä sukua, sillä Huffmanin koodaus on osoitettu aritmeettisen koodauksen erikoistapaukseksi.

MDL

Jorma Rissanen on luonut myös toisen, aritmeettista koodausta jopa merkittävämmäksi osoittautuneen informaatioteoreettisen menetelmän, ns. lyhimmän kuvauspi-tuuden eli *MDL-periaatteen* (Minimum Description Length), jonka hän julkaisi vuonna 1978. MDL pohjautuu venäläisen matemaatikon Andrey Kolmogorovin 1960-luvun alussa julkaisemaan ja hänen mukaansa Kolmogorov-kompleksisuudeksi (Kolmogorov complexity) nimettyyn teoriaan, jonka mukaan informaation mutkikkouden määrittelee lyhin sellainen ohjelma, joka tuottaa tuloksenaan kyseisen informaation; ts. informaation kompleksisuus ei riipu pelkästään sen rakenteesta vaan myös sen tuottamiseksi tarvittavien laskentaresurssien määrästä.

MDL:n formaali määrittely on suhteellisen mutkikas, mutta karkealla tasolla ideana on tuottaa tarkasteltavalle datalle D malli M , joka minimoii summan $length(M) + length(D|M)$, missä $length(M)$ on mallin M kuvauksen pituus ja $length(D|M)$ on mallin M datalle D tuottaman kuvauksen pituus. Malli on esimerkiksi Kolmogorovin mukaisesti tietokoneohjelma, mutta se voi olla mikä tahansa muukin D :n kuvaamiseen, muuntamiseen tai abstrahointiin soveltuva menetelmä. Kuvausten pituus ilmaistaan useimmiten bitteinä.

MDL-periaatetta käytetään yleisesti koneoppimisessa mahdollisimman hyvän mallin valintaan. MDL-menetelmät pyrkivät minimoimaan datan kuvauksen pituutta eli pakkaamaan dataa etsimällä siitä säännönmukaisuuksia, jotka voidaan mallintaa lyhyellä tavalla: MDL-filosofian mukaan ”mitä enemmän dataa pystytään pakkaamaan, sitä enemmän siitä on opittu”. Toisaalta menetelmät pyrkivät löytämään mallin, joka

pystyy mahdollisimman hyvin myös tilastollisesti ennustamaan tulevaa, ennen näkemätöntä dataa. Rissanen alkuperäistä MDL-periaatetta on myöhemmin kehitetty teorialtaan vahvemiksi ja siihen perustuvia menetelmiä on kehitetty paitsi koneoppimiseen, myös mm. matematiikkaan, tilastotieteeseen, psykologiaan ja luonnollisen kielen käsittelyyn.

Tarkastellaan esimerkkinä MDL:n käytöstä yhtä keskeistä koneoppimisongelmaa luonnollisen kielen käsittelyssä, kieliopin johtamista esimerkkeinä annetuista lauseista. Nyt datana D on esimerkkilauseiden joukko ja mallina M niitä kuvaava kielioppi. Taivoitteena on siis löytää sellainen lauseita kuvaava kielioppi, että sekä kieliopin että sen tuottamien lauseiden koodaus olisi mahdollisimman lyhyt.

MDL:n keskeisiin periaatteisiin kuuluu mahdollisimman yksinkertaisen mallin löytäminen datalle hyödyntämällä siinä esiintyviä säännönmukaisuuksia. Luonnollisen kielen tapauksessa tämä tarkoittaa samankaltaisten lauserakenteiden yhdistelemistä kieliopin välikeyksityökaluilla kuvattaviksi joukoiksi ja niistä koostetuiksi produktioiksi sen sijaan, että kutakin lausetta vastaisi kieliopissa suoraviivaisesti oma päätesymbolista muodostuva produktionsa. Tällöin erityisesti kielioppi ("malli") ja sen koodaus saadaan lyhyiksi, koska samankaltaiset lauserakenteet tarvitsee määrittellä vain kertaalleen, niitä kuvaavalla välikeyksityökaluilla ja sen produktioilla.

Esimerkkeinä annettujen lauseiden ja niitä mallintavien kielioppien arviointiin voidaan käyttää esimerkiksi seuraavanlaista MDL-mittaria. Rajoitutaan ensinnäkin yksinkertaisuuden vuoksi tarkastelemaan ainoastaan sellaisia "phrase structure"-kielioppeja, joissa produktioiden oikealla puolella esiintyy täsmälleen kaksi symbolia. Tarkastellaan seuraavia esimerkkilauseita:

Jukka golfaa
Anne golfaa
Jukka sössii

Nämä lauseet mallintavan kieliopin voi muodostaa monella eri tavalla. Yksi mahdollinen kielioppi on seuraavanlainen (tässä null on tekninen tyhjää vastaava päätesymboli):

- (1) $S \rightarrow NP VP$
- (2) $NP \rightarrow \text{Jukka null}$
- (3) $NP \rightarrow \text{Anne null}$
- (4) $VP \rightarrow \text{golfaa null}$
- (5) $VP \rightarrow \text{sössii null}$

Huomattakoon, että "hyvän" kieliopin tulee mallintaa paitsi kaikki esimerkkeinä annetut lauseet, myös muut samankaltaiset, toistaiseksi datassa esiintymättömät lauseet. Yllä oleva kielioppi mallintaa näin ollen myös (kovin epätodennäköisen) lauseen *Anne sössii*, vaikka se ei sisällykään esimerkkilauseiden joukkoon.

Kieliopin MDL-mittarin muodostamiseen tarvitaan tieto kieliopissa esiintyvien symbolien ja esimerkkilauseissa sovellettavien produktioiden yleisyydestä (tai todennäköisyydestä). Tässä kieliopissa (lähtö)symboli S sekä (pääte)symbolit *Jukka*, *Anne*, *golfaa* ja *sössii* esiintyvät yhden kerran, (välikeyksityökalu)symbolit NP ja VP esiintyvät kolme ker-

taa ja (pääte)symboli null esiintyy neljä kertaa. Yllä olleiden kolmen esimerkkilauseen johtamisessa sovelletaan puolestaan produktiota (1) kolme kertaa (kerran kutakin lausetta kohti), produktiota (2) kaksi kertaa (kerran per *Jukan* toiminta), produktiota (3) yhden kerran, produktiota (4) kaksi kertaa ja produktiota (5) yhden kerran.

Mittarissa sovelletaan informaatioteorian klassista tulosta, jonka mukaan viestin m sisältämän informaation määrä (bitteinä) on $-\log_2 P(m)$, missä $P(m)$ on viestin m esiintymistodennäköisyys. Nyt kieliopin kuvauksen MDL-pituudelle voidaan johtaa mm. kaava

$$\sum_s f_s \log_2 (3N / f_s) + N \times L$$

missä f_s on symbolin s esiintymiskertojen määrä kieliopissa, N on kieliopin produktioiden määrä (kerrottuna kolmella, koska jokaisessa produktiossa on kolme symbolia) ja L on produktioiden soveltamismäärän koodaamiseen tarvittavien bittien määrä (olettaen tässä yksinkertaisuuden vuoksi, että se on kaikille produktioille vakio, tässä tapauksessa 5).

Kieliopista johdettujen lauseiden kuvauksen MDL-pituudelle saadaan puolestaan kaava

$$\sum_p f_p \log_2 (t_p / f_p)$$

missä f_p on kieliopin produktion p soveltamiskertojen määrä lausejoukossa ja t_p on niiden produktioiden soveltamismäärien summa, joiden vasemmalla puolella esiintyy sama kieliopin välikesymboli kuin p :n vasemmalla puolella.

Kaavoista saadaan esimerkikieliopin eli mallin MDL-pituudeksi ($length(M)$) 66,1 bittiä ja siitä johdettujen kolmen esimerkkilauseen MDL-pituudeksi ($length(D|M)$) 5,5 bittiä, joten mallin ja datan kuvausten yhteispituus on 71,6 bittiä:

- kieliopin kaavassa esimerkiksi symbolin NP tuottama koodauspituus on $3 \times \log_2 (3 \times 5 / 3) = 3 \times \log_2 5 \approx 3 \times 2,3 = 6,9$
- kieliopin kaavassa koodauspituus $N \times L = 5 \times 5 = 25$
- lausejoukon kaavassa esimerkiksi produktion (4) tuottama koodauspituus on $2 \times \log_2 (3 / 2) = 2 \times \log_2 1,5 \approx 2 \times 0,6 = 1,2$

Muiden mahdollisten esimerkkilauseita kuvaavien kielioppien analyysi osoittaa, että edellä annettu kielioppi on MDL-periaatteen mukaan mitattuna varsin hyvä. Esimerkiksi seuraava suoraviivainen, päätesymboleja kombinoiva ja lauseiden samankaltaisuutta hyödyntämätön kielioppi saisi niinkin suuren MDL-kokonaiskoodausarvon kuin 192,6 bittiä (kielioppi 187,9 bittiä + esimerkkilauseiden joukko 4,7 bittiä):

- (1) S → Jukka Jukka
- (2) S → Jukka Anne
- (3) S → Jukka golfaa
- (4) S → Jukka sössii

...



- (13) S → sössii Jukka
- (14) S → sössii Anne
- (15) S → sössii golfaa
- (16) S → sössii sössii

MDL-periaate ja Bayes-päätely ovat tiedeyhteisön enemmistön mielestä sukua toisilleen, vaikka itse MDL:n oppi-isä Jorma Rissanen yrittääkin jyrkästi kieltää liian läheisen perhesuhteen. Tätä menetelmien samankaltaisuutta on hyödynnetty erityisesti Helsingin yliopiston CoSCo-tutkimusryhmässä, jossa Petri Myllymäki, Henry Tirri ja Teemu Roos ovat mm. vertailleet menetelmiä datan klusteroinnissa ja soveltaneet MDL-periaatetta Bayes-verkkojen oppimiseen ja analysointiin. Myös Rissanen on osallistunut tutkimustyöhön CoSCon ulkojäsenenä ja HIIT-tutkimuslaitoksen fellow-tutkijana.



Jorma Johannes Rissanen, syntynyt 20.10.1932
Pielisjärvellä.

Ylioppilas 1951 (Kemin lyseo). DI 1956, TkL 1960,
TKT 1965 (Teknillinen korkeakoulu, kontrolliteoria ja
matematiikka).

Tutkija 1958–60 (ASEA, Västerås), tutkija 1960–64 (IBM,
Nordic Laboratory, Stockholm), tutkija 1964–65 (Electronic
Associates, Princeton), tutkija 1965–2002 (IBM, San Jose
Research Laboratory, California). Kontrolliteorian professori
1973–74 (Linköpings universitet), tieteellisen laskennan
professori 1995–97 (Tampereen teknillinen korkeakoulu).

IBM:n Outstanding Innovation -palkinto 1980 ja 1988, IEEE:n Information Theory Paper
-palkinto 1986, IBM:n Corporate-palkinto 1991, IEEE:n Richard W. Hamming -mitali 1993,
IEEE:n Golden Jubilee -teknologiapalkinto 1998, Kolmogorov-mitali 2006, IEEE:n Claude
E. Shannon -palkinto 2009. IEEE Fellow 1997, Suomalaisen Tiedekatemian jäsen 2002,
HIIT Fellow 2003 (Helsinki Institute for Information Technology). Tampereen teknillisen
korkeakoulun kunniatohtori 1992, Tampereen yliopiston kunniatohtori 2010. Kautta aikain
eniten kansainvälisiä tieteellisiä palkintoja saanut suomalainen tiedemies.

Jorma Rissanen on maailman tunnetuimpia informaatioteoreetikkoja, jonka merkittävimmät
tieteelliset saavutukset ovat aritmeettisen koodauksen ja laskennallisen mallinnuksen
tärkeimpiin menetelmiin kuuluvan MDL:n (Minimum Description Length) kehittäminen.
Rissanen muita tutkimusalueita ovat todennäköisyyslaskenta, tilastotiede ja systeemiteoria.
Hän kuuluu tietojenkäsittelytieteen kansainvälisessä tiedeyhteisössä arvostetuimpien
suomalaisten tutkijoiden joukkoon.

Nuorena tutkijana Jorma Rissanen tavoitteli suuria teoreettisia tuloksia, joilla olisi myös
käytännön merkitystä. Varttuneemmalla iällä hän totesi tuon tavoitteen kuitenkin liian
kunnianhimoiseksi ja luopui liian vaikeaksi kokemastaan ”käytännöllisyydestä”. Yllätys olikin
melkoinen, kun Rissanen teoreettiselta pohjalta kehittämälle aritmeettiselle koodaukselle
löytyi mitä käytännöllisimpiä sovelluskohteita. Tämä onkin harvoja uskottavia esimerkkejä
siitä, että parasta käytäntöä on hyvä teoria. Jorma Rissanen tunnetaan kansainvälisessä
tiedeyhteisössä poleemisena palopuhujana, jonka tapoihin kuuluu luonnehtia perinteistä
tilastotiedettä osuvalla ilmaisulla ”All the statisticians are crazy!”

Tutkimustyön lisäksi Jorman intohimo on jalkapallo, jota hän on pelannut koulupojasta
aina eläkeikään saakka – ja olisi jatkanut vielä senkin jälkeen, mikäli vain Kaliforniasta olisi
löytynyt sopiva yli 70-vuotiaiden joukkue.

13. OHJELMISTOTEKNIikka (SOFTWARE AND ITS ENGINEERING)

Kun tietokoneet alkoivat yleistyä 1950-luvun loppupuolella, syntyi samalla tarve saada niillä jotain aikaankin. Tietokoneita piti siis ohjelmoida, eli niiden suoritettavaksi piti kirjoittaa ohjelmia. Karkeasti ottaen tarvittiin kahdenlaisia ohjelmia: tietokoneiden käyttämiseen ja muiden ohjelmien toteuttamiseen tarvittavia ns. varusohjelmia tai -ohjelmistoja (system software) ja käyttäjää varsinaisesti palvelevia ns. sovellusohjelmia tai -ohjelmistoja (application software). Tyypiesimerkkejä varusohjelmistoista ovat tietokoneiden käyttäjärjestelmät ja ohjelmointikielten kääntäjät, varhaisia esimerkkejä sovellusohjelmistoista puolestaan palkanlaskenta- ja kirjanpitojärjestelmät.

Kokonaisvaltainen ohjelmisto (software) on tietokoneohjelmaa (program) huomattavasti suurempi ja mutkikkaampi kokonaisuus: siihen sisältyy tyypillisesti paitsi useita yksittäisiä ohjelmia, myös tietokantoja, tietoliikenneyhteyksiä, dokumentaatiota, käytön oppaita yms. Eipä siis ole kovinkaan suuri ihme, että yritettäessä epätoivoisesti saada aikaan käyttökelpoisia kaupallis-hallinnollisia ohjelmistoja epäkypsä atk-ala oli jo 1960-luvulla ajautunut syvälle *ohjelmistokriisiksi* (software crisis) kutsuttuun tilaan, jossa ei osattu tuottaa niin suuria ja toimivia ohjelmistoja, joita jo siihen aikaan elinkeinoelämässä ja valtionhallinnossa tarvittiin.

Ohjelmistokriisi oli jopa siinä määrin vakava ongelma, että arvovaltainen Pohjois-Atlantin liitto NATO (North Atlantic Treaty Organization) otti asiakseen ryhtyä sitä ratkaisemaan. Niinpä NATOn tieteellinen komitea järjesti lokakuussa 1968 Saksan Garmischissa konferenssin, jossa viitisenkymmentä yliopistojen, tietokonevalmistajien, ohjelmistotalojen ja käyttäjien edustajaa tarkasteli suurimpia ohjelmistojen kehittämisen ongelmia yrittäen samalla löytää niihin yleispäteviä ratkaisuja. NATO järjesti seuraavana vuonna vielä toisen vastaavanlaisen tilaisuuden Roomassa, mutta se on jäänyt täysin Garmischin kuuluisan konferenssin varjoon.

Vuoden 1968 urauurtavassa konferenssissa käsiteltiin mm. ohjelmistojen suunnittelua, toteuttamista ja testaamista, ohjelmistovaatimuksia, ohjelmistojen luotettavuutta, ohjelmistoprojektien hallintaa, ohjelmistojen ylläpitoa ja jakelua sekä ohjelmistojen dokumentointia. Täten konferenssissa määriteltiin ja polkaistiin ikään kuin sivutuotteena käyntiin uusi tietojenkäsittelytieteen tutkimusala, jolle annettiin – alun perin lähinnä provokatorisena vitsinä – nimi *Software Engineering*, jonka suomenkielisiä vastineita ovat *ohjelmistotekniikka* ja ohjelmistotuotanto. Näkökulmasta riippuen on tutkimusalalle joko kunniaksi tai häpeäksi, että vuonna 1968 esiin nostetut teemat ja ongelmat ovat edelleen mitä keskeisimpiä ohjelmistotekniikan tutkimuskohteita.

Perinteisin ohjelmistotekniikan tutkimuskohde ovat ohjelmointikielien ja niiden kääntäjät. Tutkimusalueen historiallinen merkkipaalu on vuonna 1963 julkaistu ALGOL 60 -kielen (revisoitu) raportti, jossa kielen rakenne eli syntaksi määriteltiin yksiselitteisesti elegantilla kontekstittomien kielioppien esitysmuodolla, josta käytetään sen kehittäjien John Backusin ja Peter Naurin mukaan nimitystä Backus-Naur Form (tai Backus Normal Form) eli BNF. Kuten edellä on todettu, oltiin myös Suomessa tutkimuksen eturintamassa, sillä Reino Kurki-Suonio tutki jo 1960-luvun alkupuoliskolla ohjelmointikielten määrittelyyn soveltuvia kielioppeja.

Kun ohjelmointikielten syntaksin ja ohjelmien rakenteen määrittelyongelma oli ratkaistu, oli vuorossa niiden merkitys eli semantiikka. Tällä saralla tärkeimmäksi työkaluksi nousi tietojenkäsittelytieteen yleisneron Donald Knuthin vuonna 1968 julkaisema kontekstittomien kielioppien suoraviivainen laajennus, *attribuuttikielioppi* (attribute grammar), jossa kielen semanttinen informaatio liitetään attribuutteina sen määrittelevän kontekstittoman kieliopin symboleihin. Formaalisti attribuuttikielioppi on kolmikko (G, A, R) , missä

- G on kontekstiton kielioppi eli muotoa (V_N, V_T, P, S) oleva nelikko
- A on äärellinen joukko joukkojen V_N ja V_T symboleihin liitettäviä attribuutteja
- R on äärellinen joukko joukon P produktioihin liitettäviä semanttisia sääntöjä

Jokaiselle symbolille $X \in V_N \cup V_T$ määritelty äärellinen joukko attribuutteja $A(X)$ jaetaan kahteen osajoukkoon, *perittyihin* attribuutteihin $I(X)$ ja *synteettisiin* attribuutteihin $S(X)$. Muotoa $X_0 \rightarrow X_1 \dots X_n$ ($n \geq 0$) olevalla produktiolla p on *attribuuttiesiintymä* X_i, a , jos $a \in A(X_i)$, $0 \leq i \leq n$. Nyt vaaditaan, että produktioon p on liitetty täsmälleen yksi joukkoon R kuuluva semanttinen sääntö jokaiselle p :n vasemman puolen välikesymbolin synteettiselle attribuutille ja jokaiselle p :n oikean puolen symbolin peritylle attribuutille. Toisin sanoen produktioon p liitetty semanttisten sääntöjen joukko koostuu muotoa $X_i, a = f(y_1, \dots, y_k)$, $k \geq 0$, olevista säännöistä, joissa (1) joko $i = 0$ ja $a \in S(X_i)$ tai $1 \leq i \leq n$ ja $a \in I(X_i)$, (2) jokainen y_j , $1 \leq j \leq k$, on p :n attribuuttiesiintymä ja (3) f on attribuuttiesiintymälle X_i, a arvon määrittävä *semanttinen funktio*. Semanttisille funktioille f ei aseteta rajoituksia, mutta niillä ilmaistaan useimmiten määriteltävän ohjelmointikielen ns. staattisen semantiikan sääntöjä; esimerkiksi sitä, että sijoituslauseessa vasemman ja oikean puolen on oltava tyypeiltään yhteensopivat.

Kontekstittomien kielioppien ja attribuuttikielioppien konstruktiiivinen valttikortti on niiden suora suhde ohjelmointikielten kääntäjissä standarditietorakenteena käytettäviin jäsennyspuihin: käännettävästä ohjelmasta voidaan suoraviivaisesti tuottaa ohjelmointikielen kielioppia vastaava puumainen esitys, jossa juurisolmu vastaa kieliopin lähtösymbolia, ohjelman muodostamat lehtisolmut vastaavat kieliopin päätesymboleja, välitasot vastaavat kieliopin produktioita ja solmuihin on liitetty niitä vastaavien symbolien attribuuttiesiintymien semanttiset arvot.

Metakääntäjät

Koska attribuuttikielioppi määrittelee paitsi ohjelmointikielen semantiikan, myös kielen kuuluvia ohjelmia vastaavat koristellut jäsennyspuut, voidaan niitä käyttää kääntäjien automaattiseen tuottamiseen. Näin ollen attribuuttikielioppeilla päästään varsinaista ongelmaa (kääntämistä) korkeammalle tasolle eli metatasolle, määrittelemään itse ongelmaa. Attribuuttikieliopit käynnistivätkin 1970-luvulla maailmalla vilkkaan tutkimuksen, jossa kehitettiin lukuisia niihin perustuvia ns. *metakääntäjiä* (meta-compiler, compiler-compiler, compiler generator, compiler writing system, language processor generator), eli attribuuttikielioppeista automaattisesti kääntäjiä generoivia ohjelmistoja. Attribuuttikielioppien lisäksi metakääntäjissä käytettiin myös muita se-



manttisia formalismeja, mutta vähäisemmässä määrin. (Itse asiassa termi ”metakääntäjä” on hieman harhaanjohtava, sillä useimmat ohjelmistot tuottivat ainoastaan ohjelmointikielten analysaattoreita (kuten kääntäjän front end -osia) eivätkä täydellisiä, optimoitua koodia generoivia back end -kääntäjiä.)

Suomessa nousiin metakääntäjätutkimuksen kansainväliseen kärkeen, kun Helsingin yliopistossa käynnistyi vuonna 1975 Martti Tienarin johtamana valtion luonnontieteellisen toimikunnan (Suomen Akatemian) rahoittama tutkimushanke ”Metakääntäjät ja ohjelmointikielten semantiikka”. Tutkimusaihe osui varsin hyvin kohdalleen, sillä se oli aivan kansainvälisen tietojenkäsittelytieteen tutkimuksen ytimessä ja käsitteellisesti rikas, sisälsi runsaasti teoreettista tutkittavaa ja tarjosi haastavia mahdollisuuksia myös käytännön toteutustyöhön. Vuoteen 1981 jatkuneen hankkeen työmäärä oli noin 12 henkilötyövuotta, mikä oli siihen aikaan ennenkuulumattoman paljon muiden tutkimusprojektien ollessa lähinnä yksittäisten tutkijoiden ja lyhyiden rahoituskausien varassa. Kun tuloksetkin olivat kaikin puolin maailmanluokkaa, voidaan kyseistä metakääntäjäprojektia perustellusti pitää Suomen ensimmäisenä varsinaisena tietojenkäsittelytieteen tutkimushankkeena.

Vuonna 1975 käynnistetyssä metakääntäjähankkeessa kehitettiin HLP-nimistä (Helsinki Language Processor) metakääntäjää, jolle annettiin myöhemmin sitä paremmin yksilöivä nimi HLP78. HLP78 ja sen generoimat kääntäjät toteutettiin Burroughs B6700- ja B7800-sarjojen systeemiohjelmointikielillä Extended Algol, ja sen lopullinen koko oli 35 000 koodiriviä. HLP78 tuotti monivaihekääntäjiä, jotka kävivät LALR(1)-jäsenysmenetelmällä tuotettua jäsenyspuuta läpi, vuoroin vasemmalta oikealle ja oikealta vasemmalle, niin monta kertaa kuin tarvittiin kaikkien attribuuttikieliopin määrittelyjen attribuuttiarvojen laskemiseksi.

HLP78 sisälsi useita tieteellisiä innovaatioita. Sen tuottamien kääntäjien jäsentäjässä oli tehokas virheiden käsittelijä, joka havaitessaan käännettävässä ohjelmassa syntaksivirheen antoi siitä virheilmoituksen ja toipui virheestä mahdollisimman joustavasti pystyäkseen taas jatkamaan normaalia jäsenystä. HLP78:n tuottamissa semanttisissa analysoijissa oli puolestaan tehokas attribuuttien tilanvarausmekanismi, jolla voitiin saavuttaa huomattavaa tilansäästöä perusalgoritmiin verrattuna. Hankkeen tutkijoista Eljas Soisalon-Soininen väitteli metakääntäjien tuottamien kääntäjien jäsenysmenetelmistä (1977), Seppo Sippu HLP78:n toipuvasta jäsennyksestä (1981) ja Kari-Jouko Rähä HLP78:n tilanvarausmenetelmästä (1981).

HLP78 oli 1980-luvulla standardilähde kansainvälisissä kääntäjätekniikan julkaisuissa. Lisäksi erityisesti Sipun ja Soisalon-Soinisen HLP78-tutkimustyöstä alkanut jäsenysteorian tutkimus saavutti laajaa kansainvälistä arvostusta.

Vaikka HLP78 oli metakääntäjien ensimmäisen sukupolven parasta A-luokkaa, siinä oli kaksi perustavanlaatuaista ongelmaa: ensinnäkin sen tuottamat kääntäjät olivat tehottomia (parhaimmillaankin vähintään 5 kertaa hitaampia kuin käsin kirjoitetut kääntäjät), ja lisäksi siinä käytetty ohjelmointikielten kuvauskieli, eli *metakieli*, oli varsin primitiivinen. Tehottomuus oli suoraa seurausta HLP78:n tuottamien kääntäjien monivaiheisuudesta, joka aiheutti sekä konkreettisen jäsenyspuun rakentamisen että sen läpikäynnin useampaan kertaan, vaikkei toteutettava kieli olisi niitä kumpaakaan edes vaatinut. Metakielen primitiivisyys puolestaan johtui sitä, että sen pohjana käytet-

tiin suoraviivaisesti attribuuttikielioppien määritelmää, joka pelkistettynä sisälsi ainoina semanttisina työkaluina tietorakenteiden liittämisen kieliopin symboleihin ja funktiokutsujen liittämisen sen produktioihin.

Näitä ongelmia ratkottiin Helsingin yliopiston metakääntäjäkehityksen toisessa aallossa, Suomen Akatemian vuosina 1981–1985 rahoittamassa HLP84-projektissa ja sitä vuosina 1986–1987 seuranneessa TOOLS-projektissa. Molempien päättökija ja johtaja oli Kai Koskimies, joka myös väitteli vuonna 1983 HLP84-metakääntäjän metakielestä.

HLP84 ratkaisi HLP78:n tehottomuusongelman tuottamalla pelkästään yksivaihe-kääntäjiä, so. sellaisia kääntäjiä, jotka hoitavat kaikki tehtävänsä jo jäsennyprosessin aikana, jolloin myöskään jäsennypuuta ei tarvita lainkaan. Käsitteellistä tasoa puolestaan nostettiin tekemällä HLP84:n metakielestä lohkorakenteinen siten, että attribuuttikieliopin välikesymbolit rinnastettiin ohjelmointikielten lohkoihin, joilla voi olla paikallisia määrittäjiä. Merkittävää metakielessä oli lisäksi se, että siinä abstrahoitettiin kääntäjien käyttämä keskeinen tietorakenne, symbolitaulu, esimäärittelyksi ja -toteutetuksi abstraktiksi tietotyypiksi, jota voitiin käyttää metakielessä erittäin kompaktisti ja siististi. HLP84:n suunnitteluratkaisuista seurasi se, ettei sillä (toisin kuin HLP78:lla) voinut toteuttaa kääntäjiä mille tahansa ohjelmointikielille vaan ainoastaan sellaisille, jotka olivat yksivaiheisesti käännettäviä ja joissa tunnusten näkyvyysäännöt olivat HLP84:n symbolitaulumekanismien mukaiset.

Metakielen abstraktiotasoa nostettiin edelleen HLP84:n seuraajassa, TOOLS-järjestelmässä (Translator for Object-Oriented Language Specifications), jossa se suunniteltiin olioperustaiseksi rinnastamalla kieliopin välikesymbolit ohjelmointikielten luokkiin ja jäsennypuun solmut luokkien määrittelyihin olioihin. Erikoista TOOLSissa oli lisäksi se, että sillä tuotettiin kääntäjien ja muiden vastaavien analyysoittorien sijasta tulkkereja. Sekä HLP84:n että TOOLSin toteutuskielenä oli Pascal. HLP84 ja TOOLS, sekä niiden lisäksi Prolog-perustainen metakääntäjä PROFIT (PROlog dialect For Implementing Translators), muodostivat perustan Jukka Paakin väitöskirjalle (1991).

HLP84:n lisäksi yksivaiheista kääntämistä tutkittiin Helsingin yliopistossa vuosina 1986–1988 Suomen Akatemian rahoittamassa projektissa, jossa kehitettiin Metauncle-metakääntäjä. Sen kantavana ideana olivat ns. setäattribuoidut (uncle-attributed) kieliopit, jotka tekivät mahdolliseksi laskea rajoitetusti riippuvuuksien osalta ylhäältä alas (top-down) eteneviä attribuuttiarvoja kokoavan (bottom-up) jäsennyksen aikana. Setäattribuoidut kieliopit ja Metauncle tekivät Jorma Tarhiosta tohtorin vuonna 1988. Helsingin yliopiston eri metakääntäjien läheisestä suhteesta voi todeta sellaisen yksityiskohdan, että niin metakääntäjä Metauncle kuin metakääntäjä TOOLSkin toteutettiin HLP84:llä, joka näin ollen olikin itse asiassa (maailman ainoa?) metametakääntäjä.

Helsingin yliopistossa metakääntäjä tutkimus hiipui 1990-luvun alussa tutkijoiden siirryttyä tutkimaan modernimpia aiheita. Samoin kävi itse asiassa globaalisti koko tutkimusalueelle; ilmeisesti attribuuttikieliopit ja metakääntäjät olivat siinä vaiheessa jo niin loppuun kaluttuja luita, ettei niistä enää herunut kunnon pureskeltavaa. Loppuun kaluamisessa oli Helsingin yliopistolla merkittävä rooli: sen hankkeissa kehitettiin mm. viisi kansainvälisesti hyvin siteerattua järjestelmää teoriapohjineen, kolme kansainvälistä monografiaa ja satoja hyvätasoisia julkaisuja. Myös professorinkoulutuksessa hankkeet onnistuivat erittäin hyvin, sillä kaikki niissä väitelleet kuusi tohtoria ovat si-

joittuneet professoreiksi, Helsingin yliopistoon (Sippu, Paakki), Tampereen yliopistoon (Räihä), Tampereen teknilliseen korkeakouluun / yliopistoon (Koskimies) ja Teknilliseen korkeakouluun / Aalto-yliopistoon (Soisalon-Soininen, Tarhio).

Helsingin yliopiston metakääntäjätutkimuksen suurin meriitti on kuitenkin se, että se nousi 1980-luvulla vähäksi aikaa jopa koko kansan tietoisuuteen, kun atk-alan tuntematon suuruus Markus Rantapuu nosti metakääntäjät Uudessa Suomessa tikun nokkaan pahimpana esimerkkinä täysin hyödyttömästä tieteellisestä nollatutkimuksesta:

Yliopistot ja korkeakoulut (Helsingin Yliopisto etunenässä) haluavat tehdä tietotekniikasta tiedettä. Tämän takia niissä voidaan jopa vuosikausia tutkia aiheita, joilla ei ole koskaan ollut mitään tekemistä todellisten tarpeiden kanssa. Metakääntäjät, käsittämättömät abstraktiomallit jne. ovat teoreettista hölynpölyä. Emme myöskään keksi, mitä hyödyllistä nämä tiedemiehet osaisivat tehdä tietotekniikan alueella.

Eipä tuota voisi enää osuvammin sanoa...

Ohjelmointikielet

Ohjelmointikielten ja ohjelmoinnin saralla Suomessa on aktiivisimmin tutkittu logiikkaohjelmointia ja olio-ohjelmointia. Logiikkaohjelmoinnin kultakaudella, 1980-luvun lopulla, sitä tutkittiin erityisesti Helsingin yliopistossa Heikki Mannilan ja Esko Ukosen johdolla. Siellä kehitettiin myös oma logiikkaohjelmointijärjestelmä HPS (Helsinki Prolog System). Logiikkaohjelmointia tutki lisäksi mm. Martti Penttonen Kuopion yliopistossa.

Olio-ohjelmointia tutkittiin 1980-luvun lopussa ja 1990-luvun alussa varsinkin Jyväskylän yliopistossa, jossa Markku Sakkinen erikoistui C++:n ”pimeän puolen” kritisoimiseen ja Antero Taivalsaari puolestaan perintämekanismeihin ja prototyyppikieliin. Taivalsaari tunnetaan parhaiten kuitenkin Sun Microsystemsissä matkapuheliin kehitetyn riisutun Java Micro Edition -alustan pääsuunnittelijana.

Ohjelmien semantiikka

Ohjelmien semantiikka ja oikeellisuus ovat tärkeitä teemoja ohjelmistotekniikassa (joskin ne voidaan katsoa myös teoreettiseen tietojenkäsittelytieteeseen kuuluviksi). Tunnetuin suomalainen aihepiiriin tutkija on Ralph Back (Åbo Akademi), joka kirjoitti vuonna 1978 Helsingin yliopistossa väitöskirjansa ohjelmien asteittaisesta tarkentamisesta. Siinä esitelty tekniikka ohjelmien oikeellisuuden todistamiseksi pohjautui Edsger W. Dijkstran ja Niklaus Wirthin 1960-luvun lopulla julkaisemiin menetelmiin, joissa ohjelmaa tuotetaan askel askeleelta alkaen sen abstraktista spesifikaatiosta ja päätyen suorituskelpoiseen konkreettiseen koodiin. Oleellista menetelmissä on, että jokainen askel todistetaan oikeaksi, jolloin lopullinen ohjelmakoodi on varmuudella alkuperäisen spesifikaationsa mukainen.

Backin menetelmä tunnetaan *tarkennuskalkyylin* (refinement calculus) nimellä. Kalkyyliä kehitettiin Backin väitöskirjan pohjalta 1980- ja 1990-luvuilla, kunnes se julkaistiin vuonna 1998 hänen ja Joakim von Wrightin kirjoittamana oppikirjana

Refinement Calculus – A Systematic Introduction. Kirjassa esitellyn tarkennuskalkyylin teoria perustuu hilateoriaan ja korkeamman kertaluvun logiikkaan. Ohjelmat puolestaan spesifoidaan sopimusten (contract) sekä esi- ja jälkiehtojen (precondition, postcondition) avulla ja johdetaan formaalisti oikeiksi todistetuilla muunnossäännöillä:

Kun S_0 on (aksiomaattisesti oikeaksi oletettu tai aiemmin oikeaksi todistettu) ohjelma tai spesifikaatio siten, että esiehdolla p ja jälkiehdolla q pätee $p \{ [S_0] \} q$, on tavoitteena johtaa peräkkäisten tarkennuksien ketju

$$S_0 \sqsubseteq S_1 \sqsubseteq \dots \sqsubseteq S_n$$

missä \sqsubseteq on tarkennusrelaatio ja jokaiselle parille S_i ja S_{i+1} voidaan todistaa, että jos $p \{ [S_i] \} q$ pätee, niin myös $p \{ [S_{i+1}] \} q$ pätee. Tällöin relaation \sqsubseteq transitiivisuudesta seuraa, että $p \{ [S_n] \} q$ pätee, eli asteittaisilla tarkennuksilla tuotettu ohjelma S_n täyttää alkuperäisen spesifikaation. Tällä menetelmällä voidaan tuottaa ohjelmia, jotka ovat varmasti spesifikaationsa mukaisia eli tekevät sen, mitä niiltä on alun perin vaadittu. Ohjelman S_n testaaminen on täten tarpeetonta.

Tarkennuskalkyyllillä voidaan johtaa esimerkiksi kahdesta luvusta pienemmän laskeva ohjelma seuraavaan tapaan asteittain tarkentaen. Kaikkien tarkennusten oikeellisuus on kalkyyllissä todistettu oikeaksi.

$$[z := z' \mid (z' = x \wedge x \leq y) \vee (z' = y \wedge x \geq y)]$$

\sqsubseteq (otetaan mukaan epädeterministinen ehdollisuus, guarded conditional)

$$\text{if } x \leq y \rightarrow \{x \leq y\}; [z := z' \mid (z' = x \wedge x \leq y) \vee (z' = y \wedge x \geq y)]$$

$$\square x \geq y \rightarrow \{x \geq y\}; [z := z' \mid (z' = x \wedge x \leq y) \vee (z' = y \wedge x \geq y)]$$

fi

\sqsubseteq (tarkennetaan kontekstin $x \leq y$ avulla)

$$\text{if } x \leq y \rightarrow \{x \leq y\}; [z := z' \mid z' = x]$$

$$\square x \geq y \rightarrow \{x \geq y\}; [z := z' \mid (z' = x \wedge x \leq y) \vee (z' = y \wedge x \geq y)]$$

fi

\sqsubseteq (tarkennetaan kontekstin $x \geq y$ avulla)

$$\text{if } x \leq y \rightarrow \{x \leq y\}; [z := z' \mid z' = x]$$

$$\square x \geq y \rightarrow \{x \geq y\}; [z := z' \mid z' = y]$$

fi

\sqsubseteq (poistetaan vaatimukset eli assertiot $\{...\}$ ja deterministiset sijoitukset)

$$\text{if } x \leq y \rightarrow z := x \square x \geq y \rightarrow z := y \text{ fi}$$

Backin ja von Wrightin lisäksi tarkennuskalkyyliä on Åbo Akademiassa tutkinut Kaisa Sere, joka sovelsi 1990-luvulla sitä erityisesti rinnakkaisten ohjelmien johtamiseen ja mikroprosessorien spesifointiin. 2000-luvulla Sere laajensi tutkimustyötään hajautettujen järjestelmien ja kontekstittietoisten järjestelmien formaaliin määrittelyyn.

Merkittävä tarkennuskalkyylin sivujuonne on rinnakkaisten ja hajautettujen reaaliaikajärjestelmien spesifointi ja suunnittelu ns. aktiojärjestelminä (action system). Toisin kuin perinteinen rinnakkaisjärjestelmä, aktiojärjestelmä ei perustu toiminnallisiin prosesseihin ja niiden väliseen kommunikointiin vaan prosessien yhdessä aikaansaamaan toiminnallisuuteen ja vuorovaikutukseen. Aktiojärjestelmä koostuu jou-

kosta prosesseja (process) ja aktioita (action). Jokaiselle aktiolle on määritelty vartija (guard), suoritettava runko (body) ja epätyhjä joukko aktioon osallistuvia prosesseja. Aktion runko voidaan valita suoritettavaksi aktiolle määriteltyjen prosessien toimesta, mikäli aktion vartija on voimassa eikä mikään prosesseista ole suorittamassa muita aktioita. Rinnakkaisuuden ja yhteistoiminnan kannalta keskeisiä ovat jaetut aktiot (joint action), joiden suorittamiseen osallistuu useita prosesseja.

Aktiojärjestelmien formaalin perustan loivat Ralph Back ja Reino Kurki-Suonio 1980-luvulla. Kurki-Suonio jatkoi tutkimustyötä konstruktivisempaan suuntaan johtamalla Tampereen teknillisessä korkeakoulussa 1990-luvulla tutkimusprojekteja, joissa kehitettiin aktiojärjestelmiin perustuvaa reaktiivisten järjestelmien määrittelymenetelmää DisCo (Distributed Co-operation). Menetelmän tueksi kehitettiin erityinen suoritettava DisCo-spesifointikieli ja joukko työkaluja kuten kääntäjiä, animaattori ja teoreemantodistaja. Kurki-Suonion ohella DisCon päätutkijoita olivat Hannu-Matti Järvinen (väitöskirja vuonna 1992, aiheena DisCo-spesifointikieli), Kari Systä (1995, DisCo-spesifointimenetelmä), Pertti Kellomäki (1997, DisCo-verifointimenetelmä), Tommi Mikkonen (1999, abstrahointi ja modulaarisuus DisCo-spesifikaatioissa) ja Mika Katara (2001, reaktiivisten reaaliaikajärjestelmien suunnittelu DisColla).



Ralph-Johan Reinhold Back, syntynyt 26.2.1949 Helsingissä.

Ylioppilas 1968 (Munksnäs svenska samskola). FK 1972, FL 1976, FD 1979 (Helsingin yliopisto).

Tutkimusapulainen 1973–81 (Helsingin yliopisto), vanhempi tutkija 1981–84 (Suomen Akatemia), apulaisprofessori 1982–83 (Tampereen yliopisto), tietojenkäsittelyopin (informationsbehandling) professori 1983– (Åbo Akademi). TUCS-tutkimuslaitoksen (Turku Centre for Computer Science) johtaja 1994–2002 ja johtokunnan puheenjohtaja 2002–2006. Vieraileva tutkija

1979–80 (Mathematisch Centrum / CWI), vieraileva professori 1991–92 (California Institute of Technology, Caltech), vieraileva professori 1994–95 (Universiteit Utrecht). Suomen Akatemian akatemiaprofessori 2002–2007.

Tietojenkäsittelytieteen Seuran varapuheenjohtaja 1985–86. Suomen Akatemian luonnontieteellisen toimikunnan jäsen 1986–88. Suomen Akatemian huippuyksikön johtaja 1995–99 ja 2002–2007. IFIPin teknisen työryhmän WG 2.3 (Programming Methodology) jäsen 1991–.

Academia Europaean jäsen 1996. Nokian Säätiön hallituksen jäsen 1999–2000. Svenska tekniska vetenskapsakademienin (i Finland) jäsen 1988, Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 2002. Kauppalehti Option 100 suomalaisen tietotekniikan edelläkävijän listalla 2000.

Ralph Backin tieteellinen tutkimustyö on keskittynyt ohjelmien formaaliin määrittelyyn, ja hänet tunnetaan kansainvälisessä tiedeyhteisössä erityisesti asteittain tarkentavan spesifoinnin (refinement calculus) yhtenä oppi-isänä. Backin muita tutkimusalueita ovat hajautettujen ja reaktiivisten ohjelmistojärjestelmien formaali määrittely (action systems) sekä rinnakkais- ja biolaskenta. Varsinaisen tieteellisen tutkimuksen lisäksi hän on ollut kehittämässä menetelmiä matematiikan ja ohjelmoinnin kouluopetukseen.

Ralph harrastaa mökinkunnostusta, pianonsoittoa, taidemaalausta, pyöräilyä ja kävelyä. Hän on poikkeuksellisen aktiivinen aloitteiden tekijä ja – harvinaista kyllä – myös niiden sinnikäs läpiviejä. Ralph on aina tehnyt omapäisesti sitä, mitä on pitänyt hauskana, eikä sitä, mistä voisi näyttää mainetta tai mitä joku auktoriteetti on pitänyt tärkeänä. Hänen mottonsa on amerikkalaisen Nobel-fysiikon Richard Feynmanin tunnettuja aforismeja mukaellen: "You're not responsible for other people's expectations".

Ohjelmistoarkkitehtuurit

DisCon tutkijat ovat 2000-luvulla siirtyneet uusiin aiheisiin. Mika Katara mm. on tutkinut aktiivisesti malliperustaista testausta. Monipuolisinta tutkimusta on tehnyt Tommi Mikkonen, jonka pääaiheita ovat olleet ohjelmistoarkkitehtuurit ja liikkuvien (mobiili-) järjestelmien ohjelmointi. Uusimpana tutkimuskohteena Mikkosella on, yhdessä mm. Kari Systän ja Antero Taivalsaaren kanssa, web-selaimen kehittäminen kokonaisvaltaiseksi verkkosovellusten ohjelmointi- ja suoritusympäristöksi.

Tampereen teknillisessä korkeakoulussa / yliopistossa ovat ohjelmistoarkkitehtuureja tutkineet myös Kai Koskimies ja Tarja Systä tutkimusryhmineen. He ovat keskittyneet erityisesti olioperustaisiin arkkitehtuureihin tutkimuskohteinaan mm. sovelluskehyykset ja suunnittelumallit (Koskimies), malliperustaiset arkkitehtuurit (Systä), tuoteperheet (Koskimies) sekä ohjelmistojen arkkitehtoninen ylläpito ja takaisinmallinnus (Systä). Koskimies ja Systä ovat joko erikseen tai yhdessä myös kehittäneet useita UML-kuvauskieleen perustuvia ohjelmistotyökaluja mm. UML-kaavioiden automaattiseen tuottamiseen, kaavioiden optimointiin ja kaavioiden välisiin muunnoksiin. Uusiin tutkimusalueisiin sisältyy, yhteistyössä Tampereen yliopiston Erkki Mäkisen ja Outi Räihän kanssa, ohjelmistoarkkitehtuurien automaattinen tuottaminen geneettisillä algoritmeilla.

Tampereen teknillisen yliopiston lisäksi ohjelmistoarkkitehtuureja on tutkittu mm. Aalto-yliopistossa, jossa Tomi Männistö (nykyisin Helsingin yliopisto) on tutkimusryhmineen kehittänyt tuoteperheiden (product line, product family) mallinnusmenetelmiä. Männistön ryhmät ovat tutkineet myös mm. ohjelmistojen vaatimusmäärittelyä ja tuotteiden konfigurointia. Tuoteperheiden arkkitehtonisia ratkaisuja on tutkittu aktiivisesti myös Oulun VTT:ssä (Eila Ovaska).

Ohjelmistoprosessit

Ohjelmistotuotannon tutkimuksessa 1990-luku oli prosessien ja kypsyyssmallien kulta-aikaa. Alueen de facto -standardiksi oli noussut Carnegie Mellon -yliopiston Software Engineering Institutessa (SEI) kehitetty Capability Maturity Model (CMM), jolle haluttiin kehittää eurooppalaisia vaihtoehtoja. Yhdeksi tällaiseksi nousi BOOTSTRAP, jonka ensimmäinen versio kehitettiin vuosina 1990-1993 laajassa ESPRIT-hankkeessa. Suomesta hankkeeseen osallistui Oulun yliopisto, jossa päätutkijoita olivat Pasi Kuvaja ja Jouni Similä.

Kuten muitakin vastaavia menetelmiä, BOOTSTRAPia voi käyttää sekä ohjelmistoprosessien arviointiin että niiden kehittämiseen. Arviointi perustuu BOOTSTRAPin kypsyyssmalliin ja se suoritetaan tutkimalla haastattelujen ja dokumenttien avulla, kuinka hyvin arvioitavan organisaation (esimerkiksi ohjelmistoyrityksen) ohjelmistoprojekteissa noudatettavat kehitysprosessit ja -käytännöt vastaavat ko. kypsyyssmallia. Arvioinnin lopputuloksena saadaan kypsyyssprofiili, joka osoittaa, millä tasolla kukin tarkasteltu prosessi on joko koko organisaatiossa tai sen yksittäisissä projekteissa. Kypsyyssprofiilin perusteella voidaan sitten käynnistää kehittämistoimet keskittyen useimmiten niihin prosesseihin ja käytäntöihin, jotka ovat huonoimmassa jamassa. Taustalla on prosessiajattelun keskeinen hypoteesi: mitä kypsempi prosessi, sitä laadukkaampia tuotteita sitä noudattava projekti tuottaa.

BOOTSTRAP-menetelmässä on kuusi prosessien kypsyystasoa eli yksi enemmän kuin CMM:ssä: (0) epätäydellinen prosessi (Incomplete Process): koska prosessi on epätäydellisesti toteutettu, se ei saavuta tavoitettaan; (1) suoritettu prosessi (Performed Process): joukko toimivia käytäntöjä saa prosessin saavuttamaan tavoitteensa; (2) hallittu prosessi (Managed Process): prosessi tuottaa riittävän laadukkaita tuotteita määritellyissä aika- ja resurssirajoissa; (3) vakiinnutettu prosessi (Established Process): prosessissa noudatetaan organisaation virallista määritelmää; (4) ennustettava prosessi (Predictable Process): vakiinnutettu prosessi suoritetaan kvantitatiivisesti määritellyissä rajoissa; (5) optimoiva prosessi (Optimising Process): prosessin suorituskykyä parannetaan jatkuvasti seuraamalla ja muuttamalla sitä kontrolloidusti.

BOOTSTRAPin prosessimallissa kuvataan ne ohjelmistokehitysprosessit, joita kypsissä organisaatioissa ja projekteissa tulisi noudattaa. Prosessit on organisoitu prosessialueiksi (process area) ja niiden suhdetta kuvaavaksi puuksi (process tree). BOOTSTRAP-version 3.0 prosessipuun ylimmän tason prosessialueita ovat organisaatio (Organization), menetelmät (Methodology) ja tekniikat (Technology), joista menetelmät jakaantuu edelleen alemman tason prosessialueisiin. Seuraavassa luetellaan prosessipuun lehtinä olevat prosessialueet ja niihin kuuluvat prosessit:

Organization (3)

Business Engineering, Human Resource Management, Infrastructure Management

Life Cycle Dependent Methodology (11)

System Requirements Analysis, System Architecture Design, Software Requirements Analysis, Software Architecture Design, Software Detailed Design, Software Implementation and Testing, Software Integration and Testing, System Integration and Testing, Maintenance, Migration, Retirement

Management Methodology (4)

Project Management, Quality Management, Risk Management, Subcontractor Management

Support Methodology (8)

Documentation, Configuration Management, Quality Assurance, Verification, Validation, Joint Review, Audit, Problem Resolution

Customer-Supplier Methodology (5)

Acquisition, Customer Need Management, Supply, Software Operation, Customer Support

Process-Related Methodology (2)

Process Definition, Process Improvement

Technology (4)

Technology Innovation, Technology Support for Life Cycle Processes, Technology Support for Life Cycle Independent Processes, Tool Integration



CMM, BOOTSTRAP ja muut huolellisesti määritellyt mutta raskaiksi koetut kypsyyksimallit ja prosessinkehitysmenetelmät kokivat inflaation vuosituhannen vaihteessa, kun ohjelmistokehitys muuttui kuin taikaiskusta yhdessä yössä ketteräksi (agile). Vuonna 2001 julkistetun ”ketterän manifestin” (Agile Manifesto) mukaan ohjelmistokehityksessä tulee arvostaa yksilöitä ja vuorovaikutusta, toimivaa ohjelmistoa, asiakasyhteistyötä ja muutokseen reagoimista enemmän kuin prosesseja ja työkaluja, kokonaisvaltaista dokumentaatiota, sopimusneuvotteluja ja suunnitelman noudattamista. Toisin sanoen, siinä missä vesiputousmalli, CMM, BOOTSTRAP yms. korostavat mahdollisimman täydellistä projektin ja ohjelmistotuotteen etukäteismäärittelyä ja -suunnittelua ja sääntillistä projektinhallintaa, ketterät menetelmät puolestaan perustuvat iteratiiviseen ja inkrementaaliseen ohjelmistokehitykseen ja itseohjautuviin tiimeihin.

Myös Suomessa ryhdyttiin vikkellästi tutkimaan ja kehittämään ketteriä prosesseja ja menetelmiä. Alueen kansainvälisesti tunnetuin suomalainen tutkija on Pekka Abrahamsson, joka on heti 2000-luvun alusta lähtien tehnyt VTT:llä, Oulun yliopistossa ja Helsingin yliopistossa (nykyisin: Bozen-Bolzanon ”vapaassa” yliopistossa Italiassa) erityisesti empiiristä tutkimusta ketterien menetelmien käytännön vaikutuksista, hyödyistä ja haitoista ohjelmistokehitykselle. 2010-luvulla Abrahamsson on tutkimusryhmineen tarkastellut myös ketteryyden seuraavaa astetta, vielä entistäkin kevyempää ja virtaviivaisempaa ns. lean-ohjelmistokehitystä.

Ketterää ohjelmistokehitystä on tutkittu Suomessa muuallakin, ja esimerkiksi Aalto-yliopistossa ovat Casper Lassenius ja Maria Paasivaara erikoistuneet kehittämään teollisuudessa yleisimmin käytettyä Scrum-menetelmää paremmin globaaliin ja hajautettuun ohjelmistokehitykseen soveltuvaksi. Merkille pantavaa ketterien menetelmien tutkimuksessa on se, että aihepiiriin julkaisuja tuotetaan yliopistojen lisäksi myös yrityksissä; suomalaisista yrityksistä esimerkiksi Nokia ja Reaktor ovat olleet tällä saralla aktiivisia. Myös yksityisillä konsulteilla näyttää olevan vankkaa katu-uskottavuutta ketterässä tutkimusyhteisössä.

Linux

Tunnetuin suomalainen ohjelmistotekninen saavutus on Linux-käyttöjärjestelmä, jota Helsingin yliopiston opiskelija Linus Torvalds ryhtyi kehittämään vuonna 1991 halutesaan yliopiston kurssien innoittamana saada Unixin omaan PC-koneeseensa. Kun Torvalds pani oman käyttöjärjestelmänsä ensimmäisen osan, pääte-emulaattorin, vapaasti ladattavaksi ja paranneltavaksi Internetin uutisryhmään, syntyi sen pohjalle välittömästi hänen koordinoimansa maailmanlaajuinen kehittäjäyhteisö, jonka vuonna 1994 tuottama versio 1.0 oli Linuxin lopullinen läpimurto. Linuxia ja siihen liitettyjä sovel- lusohjelmia ryhdyttiin sen jälkeen levittämään edullisina jakelupaketteina, joista muodostui 1990-luvun loppuun mennessä varteenotettava vaihtoehto ylivoimaiselle markkinajohtajalle, Microsoftin Windows-käyttöjärjestelmälle.

Vaikka Linux kehitettiin alun perin PC-koneita varten, on se aikojen kuluessa levinnyt laajemmin itse asiassa muunlaisiin laitteisiin ollen nykyisin palvelinten ja supertietokoneiden yleisin käyttöjärjestelmä. Linux löytyy lisäksi monista kotoisemmista laitteista, kuten televisioista, pelikonsoleista ja matkapuhelimista. Vapaan jakelulisen soinnin ansiosta Linux on saanut jalansijaa myös Afrikan, Aasian ja Etelä-Amerikan kehittyvissä maissa.

Vaikka Linux ei olekaan tieteellisen tutkimuksen tulos, on se kuitenkin inspiroinut merkittäväällä panoksella ohjelmistotekniikan tutkimusta. *Avoimen ohjelmistokehityksen* (open-source software development) nousu tärkeäksi ohjelmistotuotannon menetelmäksi ja tutkimuskohteeksi on nimittäin suurelta osin Linuxin ansiota: se on yhä edelleen paras esimerkki siitä, että laadukkaita, vapaasti muokattavia ja laajalti käytettäviä ohjelmistotuotteita voi kehittää globaaleissa vapaaehtoisuuteen perustuvissa yhteisöissä ilman määriteltyä ”prosessia” tai johdettua ”projektia”.

Alueella on oma tutkijayhteisönsä, jossa tarkastellaan paitsi avoimen ohjelmistokehityksen tekniikoita ja menetelmiä, myös sen sosiaalisia, psykologisia, filosofisia ja oikeudellisia näkökohtia. Suomessa avointa ohjelmistokehitystä ovat tutkineet erityisesti Imed Hammouda ja Tommi Mikkonen Tampereen teknillisessä yliopistossa (avoimen ohjelmistokehityksen tekniikat, yhteisöt ja ekosysteemit) sekä Matti Rossi Aaltoyliopistossa (avoimet liiketoimintamallit ja lisensointipolitiikat).

14. LAITTEISTOTEKNIikka (HARDWARE)

Tietojenkäsittelyn ja tietotekniikan historiassa tietokoneet ovat olleet avainasemassa, sillä koko atk-alaa ei olisi olemassa ilman niitä. Yleisemmin tietoteknisellä *laitteistolla* ((computer) hardware) tarkoitetaan paitsi itse tietokonetta, myös sen yksittäisiä osia (keskusuksikköä, kovalevyä, näyttöä ym.) ja kaikkia muita järjestelmään kuuluvia laitteita (palvelimia, reitittimiä, antureita ym.). Nämä osalaitteet samoin kuin niiden välinen tiedonsiirto ja yhteistoiminta ovat siinä määrin merkittäviä, että ne ovat luoneet omia erityisiä tutkimus- ja kehitysalueita. Suomessa tieteellinen laitteistotutkimus on kuitenkin keskittynyt niistä vain muutamaaan.

Tietokoneet

Suomessa on 1950-luvulta lähtien rakennettu tietokoneita. Koko suomalaisen tietojenkäsittelyn merkkipaaluhiin kuuluu matematiikkakonekomitean ESKO, vaikka sitä ei lopulta juurikaan käytetty tehokkaampien ja luotettavampien kaupallisten tietokoneiden rynnistäessä markkinoille. Kaupallisesti menestynein kotimainen tietokonemallisto on varmaankin MikroMikko, jonka ensimmäisen pöytäkonemallin, MikroMikko 1:n, Nokia Data julkisti vuonna 1981. Yleisemmin tietoteknisiä laitteita tarkasteltaessa Nokian matkapuhelimet ovat tietenkin aivan omassa sarjassaan.

Myös yliopistoissa on rakennettu muutama maininnan arvoinen tietokone. Niistä historiallisesti merkittävin on Teknillisessä korkeakoulussa Teuvo Kohosen johdolla vuosina 1965-67 suunniteltu ja opinnäytetöinä rakennettu REFLAC (Reflex Arithmetics Computer), jossa oli noin 1200 transistoria ja jota ohjelmoitiin myös TTK:ssa suunnitellulla kielellä. REFLACia käytettiin tietokonetekniikan opetuksessa ja teollisuusprosessien suoran tietokonesäädön tutkimuksessa aina vuoteen 1972 saakka.

Muita merkittäviä akateemisia tietokoneita ovat Åbo Akademin ja VTT:n yhteistyönä rakentamat moniprosessorikoneet Hathi-1 ja Hathi-2. Niitä käytettiin 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun alussa Åbo Akademiassa erityisesti rinnakkaislaskennan opetuksessa ja tutkimuksessa.

Digitaalinen signaalinkäsittely

Yksi tärkeimmistä laitteistotekniikan osa-alueista on *signaalinkäsittely* (signal processing), jossa järjestelmässä kulkevia fyysisiä signaaleja, kuten ääntä, kuvaa tai sensoridataa käsitellään ja muunnetaan joko tehokkaammin käsiteltävään, tiiviimmin tallennettavaan tai paremmin ymmärrettävään muotoon. Alun perin analogisilla laitteilla tehty signaalinkäsittely alkoi muuttua digitaaliseksi 1960-luvulla, jolloin tietokonekapasiteetin kasvu ja tietojenkäsittelymenetelmien kehittyminen tekivät mahdolliseksi toteuttaa signaalinkäsittelyä ohjelmoimalla luoden mahdollisuuksia tuottaa paitsi joustavampia myös monipuolisempia ja halvempia sovelluksia kuin analogisilla tekniikoilla olisi pystytty saamaan aikaiseksi.

Digitaalisen signaalinkäsittelyn (digital signal processing, DSP) katsotaan nousseen omaksi tutkimusalueekseen vuonna 1965, jolloin amerikkalaiset matemaatikot James Cooley ja John Tukey julkaisivat ensimmäisen tehokkaasti ohjelmoitavissa olevan algoritmin nopealle Fourier-muunnokselle (fast Fourier transform). Matematiikassa Fourier-muunnoksella tarkoitetaan mielivaltaisen jatkuvan ja riittävän säännöllisen funktion esittämistä sinimuotoisten funktioiden integraalina, ja sen diskreetissä versiossa funktio on korvattu äärellisellä joukolla funktion arvoja. Digitaalisessa signaalinkäsittelyssä ”nopealla” Fourier-muunnoksella tarkoitetaan puolestaan diskreettiä Fourier-muunnosta, jossa funktiona on jokin ajan suhteen vaihteleva signaali, joka muunnetaan taajuusolotteiseksi. Esimerkiksi äänen häviöllinen pakkaaminen ja palauttaminen takaisin alkuperäiseen muotoonsa perustuvat usein nopeaan Fourier-muunnokseen ja sen käänteisfunktioon.

Suomessa digitaalisen signaalinkäsittelyn oppi-isä on Yrjö Neuvo. Tultuaan nimitetyksi vuonna 1976 Tampereen teknillisen korkeakoulun (TTKK) elektroniikan professoriksi digitaaliseen ja tietotekniseen vallankumoukseen uskonut Neuvo käynnisti signaalinkäsittelyn opetuksen ja tutkimuksen, joka nousi 1980-luvulla kansainväliseen kärkeen. Neuvon tutkimusryhmät paneutuivat erityisesti *digitaalisiin suodattimiin* (digital filter), jotka poistavat käsiteltävästä signaalista haitallista tai turhaa ainesta. Digitaalinen puheensuodatin voi esimerkiksi poistaa äänisignaalista häiritsevän taustahälyn ja jäljelle jääneestä puheesta ihmiskorvalle tarpeettomat alle 300 Hz:n ja yli 4 kHz:n taajuudet. Digitaaliset suodattimet ovat yleisiä komponentteja mm. radioissa, videotallentimissa ja matkapuhelimissa.

Suodatus perustuu signaalista otettaviin näytteisiin, joiden perusteella voidaan automaattisesti tunnistaa oleelliset signaalit ja siten erotella ne epäoleellisista signaaleista. Digitaaliset suodattimet ovat yleensä lineaarisia, jolloin tulossignaalit ovat alkupeäraisten syötesignaalien (näytteiden) lineaarisia kombinaatioita. Mikäli tämä lineaarinen suhde ei päde, on kyseessä epälineaarinen suodatin.

TTKK:ssa digitaalisen signaalinkäsittelyn tutkimus keskittyi 1980-luvulla epälineaarisiin suodattimiin ja erityisesti niiden yhteen tärkeään luokkaan, *mediaanisuodattimiin* (median filter). Mediaanisuodatuksessa lähtösignaalista otettujen näytteiden muodostamaa syötevektoria läpikäydään vakiokokoinen ikkuna kerrallaan ja tulosvektoriin viedään kunkin ikkunassa keskimmäisenä olevan näytteen kohdalle arvo, joka on ikkunassa olevien syötearvojen mediaani, so. niistä suuruusjärjestyksessä keskimäinen. Mediaanisuodattimien hyvinä puolina esimerkiksi tavanomaisiin lineaarisiin suodattimiin verrattuna on se, että ne säilyttävät lähtösignaalissa olevat terävät ja pi-

tempiaikaiset muutokset mutta poistavat samalla yksittäiset pulssit ja häiriöpiikit. Lisäksi suodatus minimoi mediaaniarvon ja ikkunassa olevien syötearvojen erotusten itseisarvojen summan, mikä on hyödyllinen ominaisuus monissa signaalinkäsittelyn sovelluksissa.

Tarkastellaan esimerkkinä seuraavaa signaaliarvojen vektoria:

$$[2 \ 100 \ 2 \ 3 \ 10 \ 10 \ 10 \ 6 \ 5 \ 3]$$

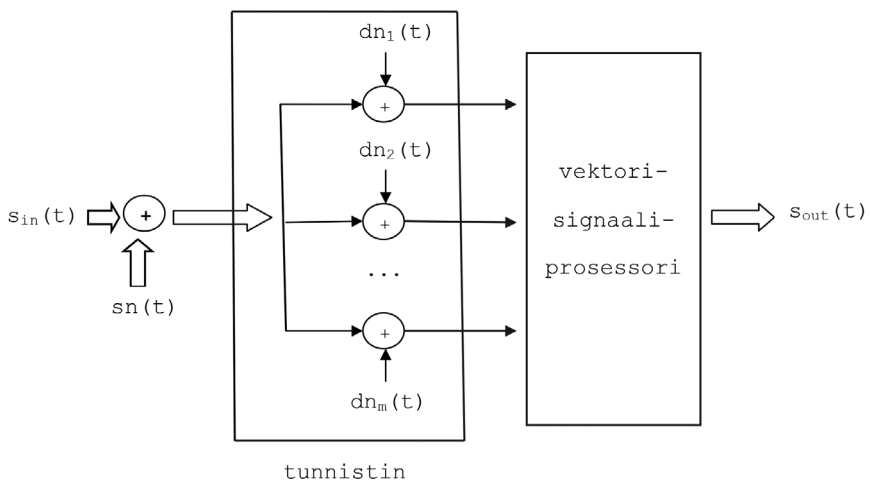
Sille saadaan seuraava mediaanisuodatettu tulosvektori, kun valitaan ikkunan kooksi kolme ja lisätään tekniikalle tavanomaiseen tapaan syötevektorin alkuun ja loppuun ensimmäiseen ja viimeiseen tulospositioon tulevien mediaaniarvojen laskemista varten tarvittavat duplikaatit 2 (ensimmäinen syötearvo) ja 3 (viimeinen syötearvo):

$$[2 \ 2 \ 3 \ 3 \ 10 \ 10 \ 10 \ 6 \ 5 \ 3]$$

Mediaanisuodatin on siis säilyttänyt varsin hyvin lähtösignaalin muodon ja poistanut siinä todennäköisesti esiintyneen yksittäisen häiriöpiikin 100 (sillä kyseistä syötearvoa vastaavaan toiseen tulospositioon tuleva arvo on mediaani kolmen mittaisesta ikkunas- ta [2 100 2] eli 2).

Tieteellisesti merkittävimmät ja viitatuimmat tulokset TTKK:n signaalinkäsittelijät ovat saavuttaneet vektorimediaanisuodattimia (vector median filter) koskevalla tutkimuksellaan. Tällaiset suodattimet käsittelevät moniulotteisia signaaleja, joissa on useita komponentteja, jolloin signaalinäytteet esitetään vektoreina eikä skalaariarvoina kuten edellisessä esimerkissä. Tyypillisiä esimerkkejä vektoriarvoisista signaaleista ovat väri-, satelliitti- ja tutkakuvat. TTKK:n tutkijat ovat kehittäneet useita vektorimediaanisuodattimia, joilla on samat hyvät ominaisuudet kuin yksinkertaisemmilla skalaariarvoisilla mediaanisuodattimilla: ne säilyttävät lähtösignaalin pidemmät muutokset ja niillä on ns. juurisignaaleja, so. signaaleja, jotka eivät muutu suodatuksessa.

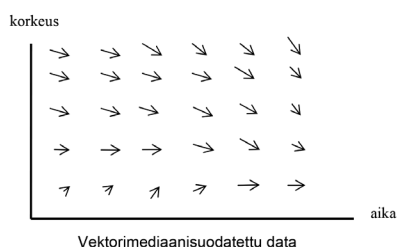
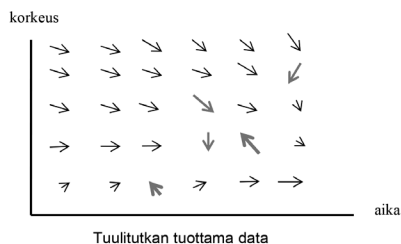
TTKK:lla kehitetyt vektorimediaanisuodattimet perustuvat alla esitettyyn malliin:



Järjestelmä suodattaa vektorimuotoisen lähtösignaalin $s_{in}(t)$ tulossignaalksi $s_{out}(t)$ hajottamalla sen ensin tunnistimessa osiin. Prosessoitavaan signaaliin tulee kohinaa (noise) kahdesta lähteestä, häiriöisestä lähtösignaalista ($sn(t)$) ja epätarkasta tunnistimesta ($dn_i(t)$). Näin ollen signaaliprosessori saa syötteen signaalin $s_{in}(t)+sn(t)+dn(t)$. Riippuen siitä, millaisia oletuksia kohinan lähteille ja niiden tuottaman kohinan tyyppille asetetaan, voidaan järjestelmälle johtaa erilaisia vektorimediaanisuoatinalgoritmeja. Algoritmit perustuvat tilastotieteelliseen suurimman uskottavuuden estimointiin (maximum likelihood estimation) ja ne voidaan toteuttaa lineaarisessa ajassa suodatikkunan koon suhteen. TTKK:ssa on kehitetty myös hybridisuoatintia, jotka yhdistävät lineaaristen suodattimien ja epälineaaristen mediaanisuoatintien parhaita ominaisuuksia mm. ottamalla huomioon mediaanin lisäksi ikkunassa olevien signaalien keskiarvon.

TTKK:n kehittämää vektorimediaanisuoatinta, jossa oletetaan lähtösignaalin sisältävän kohinan $sn(t)$ olevan tilastollisesti riippuvaa ja symmetrisesti jakautunutta, on käytetty mm. tutkan tuottaman mittausdatan käsittelyyn. Kyseessä oli Yrjö Neuvon äidin enon Vilho Väisälän perustaman Vaisala oy:n kehittämä tuulitutka, jonka Coloradossa kesäkuussa 1988 tuottamista mittaustuloksista suodatettiin pois häiriöitä pyrkien näin tuottamaan vakaampia yleisnäkyymiä tuulen suunnan ja voimakkuuden muutoksista. Koska tuulitutkan tuottama mittausdata on moniulotteista (aika, korkeus, tuulen suunta ja voimakkuus), se on esitettävä vektorina.

Tuloksia havainnollistetaan alla olevassa kuvaparissa. Ylempi kuva esittää tuulitutkalla kuuden minuutin välein ja 50 metrin korkeuseroin mitattua lähtödataa ja alempi kuva siitä suodatettua tulosdataa. Vektorimediaanisuoatintimessa ikkunan kooksi oli valittu 9. Kuvissa nuolten suunta kuvaa tuulen suuntaa (pohjoinen ylhäällä) ja nuolten pituus tuulen nopeutta. Kuten nähdään, suodatin on poistanut mittausdatassa esiintyneitä yksittäisiä vääristymiä ja sen tuottama tuulikenttä näyttää vastaavan selvästi paremmin tuulen dynaamisia ominaisuuksia. Potentiaaliset anomaliat on merkitty tuulitutkadataan korostetun harmaalla.



Vektorimediaanisiodattimien lisäksi TTKK:ssa on kehitetty lukuisia muuntotyyppejä digitaalisia suodattimia, kuten pinosuodattimia (stack filter) ja painotettuja mediaanisiodattimia (weighted median filter), joissa ikkunan sisällä oleville näytteille annetaan jokin sopiva painokerroin esimerkiksi sen mukaan, miten tuoreita tai vanhoja näytteet ovat. Näitä suodattimia on käytetty mm. puheentunnistukseen, valokuvien tallentamiseen, video- ja TV-kuvan käsittelyyn, autojen akustisen ympäristön analysointiin, mitatilaustyönä tehtävien kenkien kaavojen mittaamiseen sekä verenpaine- ja aivosähkösignaalien analysointiin.

Yhteiskunnallisesti tärkein tamperelaisen signaalinkäsittelyn tutkimusalue on kuitenkin eittämättä ollut matkapuhelinten äänen- ja puheenkäsittely: kun Suomen Pankin johtaja Harri Holkeri soitti 1.7.1991 Esplanadin puistosta Helsingistä maailman toisen GSM-puhelun Tampereen apulaiskaupunginjohtaja Kaarina Suoniolle, oli puhelun ”täydellinen häiriöttömyys” suurelta osin TTKK:n signaalinkäsittelyn laitoksen ansiota, sillä se oli osallistunut Nokian alihankkijana puhelimesta käytetyn puheentivistysmenetelmän kehittämiseen. (Ensimmäisen GSM-puhelun soitti pari tuntia ennen Holkeria Nokian insinööri Pekka Lonka sihteeri Marjo Jousiselle Saloon varmistaakseen suuren mediatapahtuman teknisen onnistumisen.) Pian tämän jälkeen, vuonna 1993, Yrjö Neuvo siirtyikin Nokian palvelukseen teknologiajohtajaksi vastaamaan mm. Nokia Mobile Phonesin tuotekehityksestä ja GSM-standardoinnista.

Signaalinkäsittely ei kuitenkaan kuihtunut Tampereella Neuvon lähtöön, sillä alueelle oli jo ehtinyt muodostua laaja huippututkimusta tekevä yhteisö. Suurelta osin signaalinkäsittelyn tutkimuksen varaan perustettu Tampereen teknillisen korkeakoulun *digitaalisen median instituutti* valittiin kaudelle 1997–99 kansalliseksi tutkimuksen huippuyksiköksi, jota statusta se nautti (signaalinkäsittelyn nimikkeellä) aina vuoteen 2011 saakka. Huippuyksiköitä johti Neuvon jälkeen tutkimusalueen vastuuprofessoriksi noussut Jaakko Astola. Neuvon ja Astolan lisäksi muita signaalinkäsittelyn päätutkijoita ovat TTKK:ssa olleet Moncef Gabbouj, Markku Renfors ja Tapio Saramäki.

Laadukasta signaalinkäsittelyn tutkimusta on Tampereen teknillisen korkeakoulun / yliopiston lisäksi tehty VTT:ssä ja Teknillisessä korkeakoulussa. VTT:ssä vuosina 1988–92 ja myöhemmin mm. Teknillisessä korkeakoulussa ja Tampereen teknillisessä korkeakoulussa / yliopistossa työskennellyt Olli Yli-Harja on tutkinut erityisesti (painotettuja) mediaanisiodattimia ja (rekursiivisia) pinosuodattimia erikoistuen sittemmin signaalinkäsittelyn menetelmien soveltamiseen systeemibiologiassa. Teknillisessä korkeakoulussa puolestaan digitaalitekniikan ja signaalinkäsittelyn käynnistäjiä ovat olleet Leo Ojala, Iiro Hartimo ja Olli Simula, jotka ovat alueen opetuksen lisäksi tutki-neet mm. signaalinkäsittelyn arkkitehtuureja.

Vihreä ICT

Ympäristöarvot ja kestävä kehitys ovat viime aikoina nousseet tärkeiksi kysymyksiksi myös tietojenkäsittelyn saralla. Orastavasta tutkimusalueesta käytetään nimityksiä *vihreä ICT*, *vihreä IT* ja *vihreä tietotekniikka* (green computing), ja sen keskeisenä tavoitteena on kehittää ympäristöä säästäviä tehokkaita tietoteknisiä järjestelmiä. Niihin kuuluvat normaalien tietokoneiden lisäksi myös kaikki runsaasti tietotekniikkaa sisältävät sulautetut järjestelmät, ääripäässä esimerkiksi ydinvoimalat ja matkapuhelimet.

Alueen toistaiseksi varsin vähäinen tutkimustoiminta on keskittynyt energiankulutukseen, lähinnä selvittämään tietoteknisten järjestelmien energiankulutusta ja kehittämään sähköä säästäviä tai hukkaenergiaa hyödyntäviä järjestelmiä. Aalto-yliopistossa ovat Jukka Manner ja Antti Ylä-Jääski kehittäneet matkapuhelinten virrankäyttöä vähentäviä ratkaisuja, kuten energiatehokkaita verkkoyhteyksiä (Manner) sekä mobiililaitteiden virrankulutusta sääteleviä arkkitehtuureja ja energiankäytön huomioon ottavia protokollia (Ylä-Jääski).

Energiatehokkaita matkapuhelin- ja tablettiratkaisuja ja mobiiliverkkoja on tutkittu myös Helsingin yliopistossa (Sasu Tarkoma, Markku Kojo, Eemil Lagerspetz, Yi Ding), jossa on mm. kehitetty yhteistyössä Berkeleyn yliopiston kanssa kannettavien laitteiden ja niissä pyörivien sovellusten akunkulutusta analysoiva Carat-työkalu. Jussi Kangasharju ja Mikko Pervilä ovat puolestaan analysoineet kylmän ulkoilman ja erityisen viilennetyin kontin vaikutusta palvelinten sähkönkulutukseen ja kehittäneet menetelmiä niiden aiheuttaman hukkalämmön hyödyntämiseksi. Palvelinten tuottamaa lämpöä on käytetty mm. kokeellisessa kasvihuoneessa tomaattien ja chilien (esimerkiksi *Capsicum baccatum*) viljelyyn nälkäisten opiskelijoiden suihin.

Åbo Akademiassa tutkitaan ja kehitetään energiatehokkaita ohjelmistoratkaisuja. Siellä on Johan Lilius mm. selvittänyt Javan virtuaalikoneiden energiankulutusta ja kehittänyt sovellusten energiankäyttöä sääteleviä käyttöjärjestelmäratkaisuja ja datakeskusten energiankulutuksen säätelyjärjestelmiä.



Yrjö Aunus Olavi Neuvo, syntynyt 21.7.1943 Turussa.

Ylioppilas 1962 (Vaasan lyseo). DI 1968, TkL 1971 (Teknillinen korkeakoulu), PhD 1974 (Cornell University).

Assistentti 1967–68 (Teknillinen korkeakoulu), tutkimusassistentti 1969–72, nuorempi tutkija 1973–74 ja vanhempi tutkija 1974–76 (Suomen Akatemia), tutkija 1973 (Cornell University), apulaisprofessori 1976 (Teknillinen korkeakoulu), elektroniikan professori 1976–93 (Tampereen teknillinen korkeakoulu), teknologiajohtaja 1993–94 ja johtaja 2004–05 (Nokia oyj), johtaja 1994–99

ja teknologiajohtaja 1999–2003 (Nokia Mobile Phones), professori ja tutkimusjohtaja 2007–13 (Teknillinen korkeakoulu / Aalto-yliopisto). Vierailleva professori 1981–82 (University of California, Santa Barbara). Suomen Akatemian tutkijaprofessori 1984–93.

Tampereen teknillisen korkeakoulun / yliopiston neuvottelukunnan ja hallituksen jäsen 1993–2009, Teknillisen korkeakoulun hallituksen jäsen 2005–07.

Elektroniikkainsinöörien seuran puheenjohtaja 1978–80 ja kunniajäsen 2003, Vaisala oyj:n hallituksen jäsen 1989–94 ja varapuheenjohtaja 1994–, Nokia oyj:n johtokunnan jäsen 1993–2005, Tekesin hallituksen varapuheenjohtaja 2003–05, Tekniikan edistämissäätiön hallituksen varapuheenjohtaja 2004–05 ja puheenjohtaja 2006–11, VTT:n tieteellisen neuvottelukunnan puheenjohtaja 2006–10, European Institute of Innovation and Technologyn (EIT) hallituksen jäsen 2008–12. IEEE Fellow 1989. IEEE Centennial Medal 1984, Sähkö- ja elektroniikkateollisuusliitto SETELI ry:n palkinto 1988, Nokia-palkinto 1989, Tekniikka ja Talous -lehden innovaatiopalkinto 1990, Pirkanmaa-palkinto 1997. Teknillisten Tieteiden Akatemian jäsen 1980, Academia Europaean jäsen 1989, Ruotsin kuninkaallisen teknillisten tieteiden akatemian jäsen 1992, Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1993. Tampereen yliopiston kunniatohtori 1992, Tampereen teknillisen korkeakoulun kunniatohtori 1997, Teknillisen korkeakoulun kunniatohtori 2005, Åbo Akademin kunniatohtori 2008. Suomen Leijonan ritarikunnan komentajamerkki 1992. Kauppalehti Option 100 suomalaisen tietotekniikan edelläkävijän listalla 2000.

Yrjö Neuvo on suomalaisen signaalinkäsittelyn uranuurtaja. Hän käynnisti 1970- ja 1980-luvuilla Tampereen teknillisessä korkeakoulussa alan koulutuksen ja tieteellisen tutkimustyön, joka johti mm. 1990-luvulla kansalliseen signaalinkäsittelyn huippuyksikköön. Siirryttyään 1990-luvulla Nokian palvelukseen hänestä tuli yksi Nokian matkapuhelinten maailmanvalloituksen avainhenkilöistä. Neuvoa pidetään yleisesti yhtenä suomalaisen tietotekniikan tärkeimmistä innovaattoreista ja yliopistojen ja yritysten välisen yhteistyön kehittäjistä.

Yrjön pääharrastuksia ovat mielikuvitusta positiivisesti virittävät kirjat, polkupyöräily sekä metsä- ja maatyöt erityisesti kotimaisilla Avant-merkkisillä koneilla, jotka lisäksi tuottavat sivuharrastukseksi mukavaa teknistä korjailua. Yrjö on sekä tiedeyhteisön että yritysmaailman korkealle arvostama visionäärinen johtaja ja kuuluu tietojenkäsittelytieteen harvalukuiseen vanhempien ja viisaampien valtiomiesten sarjaan. Yrjön kantavana elämänohjeena on: "Innovaatio päivässä pitää mielen vireänä".

15. TIETOJÄRJESTELMÄTIEDE (SOCIAL AND PROFESSIONAL TOPICS)

Tietojenkäsittelyjärjestelmien tekniseen kehittämiseen keskittyvän ”kovan” tietojenkäsittelyopin (computer science) rinnalle alkoi jo 1960-luvulla kehittyä atk:n laajempaa yhteiskunnallista merkitystä ja sen kytköksiä tarkasteleva ”pehmeämpi” tutkimusalue. 1960- ja 1970-luvuilla tästä tietojenkäsittelytieteiden alueesta käytettiin vaihtelevasti mm. nimityksiä hallinnollinen tietojenkäsittely, systemointi ja infologia, kunnes 1980-luvun puolivälissä sen nimeksi vakiintui *tietojärjestelmätiede* (information systems science).

Tietojärjestelmätieteessä keskeisiä tutkimuskohteita ovat tietotekniikkaan pohjautuvat sovellukset ja niihin liittyvät sosiotekniset ratkaisut ja järjestelmät, joissa yhtenä keskeisenä komponenttina ovat niitä käyttävät organisaatiot ja ihmiset. Sosioteknisen luonteensa vuoksi tietojärjestelmätiede onkin tieteenalana varsin monitieteinen sisältäen paitsi tietojenkäsittelytiedettä ja tietotekniikkaa, myös yhteiskunta-, talous- ja käyttäytymistieteitä ja jopa filosofiaa. Tästä pluralistisesta luonteesta johtuen tietojärjestelmätieteen tutkimustuloksia julkaistaan tietojenkäsittelytieteiden foorumien lisäksi myös yhteiskunta- ja taloustieteiden puolella eikä sitä katsota kaikissa tieteenalaluokitteluissa edes tietojenkäsittelytieteisiin kuuluvaksi. Myös ACM:n vuoden 2012 CCS-luokituksessa tietojärjestelmätiede sijoittuu vain osittain kaatoluokkaan ”social and professional topics”, kun sitä otsikoltaan paremmin kuvaava luokka ”information systems” sisältää lähinnä tiedonhallinnan eri osa-alueita.

Tietojärjestelmätieteen yhtenä klassisena perusteoksena pidetään ruotsalaisen Börje Langeforsin vuonna 1966 julkaisemaa oppikirjaa *Theoretical Analysis of Information Systems*. Kirja on ollut julkaisuajankohtanaan edistyksellinen käsitellessään monipuolisesti ja perinpohjaisesti systeemiteorian ja tietojärjestelmien formaalia perustaa ja siihen liittyviä sovellusten suunnitteluongelmia. Tietojärjestelmätieteen myöhemmän kehityksen valossa merkille pantavaa on myös se, että Langeforsin teoretisointi ei ole missään mielessä ”pehmeää” vaan pikemminkin matemaattisen ”kovaa” perustuen erityisesti algebraan, topologiaan ja verkkoteoriaan, ja sitä voidaan pitää myös yhtenä ns. suunnittelutieteen (design science) tutkimuksen edelläkävijänä.

Merkittävimmäksi Langeforsin klassikossaan esittämistä monista ajatuksista muodostui tietojärjestelmän kehittämisiongelman jakaminen kahteen osaan: ns. ”infologiseen” ongelmaan, jossa tavoitteena on määritellä käyttäjän järjestelmältä haluama palvelu ja informaatio, ja ns. ”datalogiseen” ongelmaan, jossa tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa kyseinen tietotekninen järjestelmä. Tunnetuin yksittäinen tähän jaoteluun liittyvä Langeforsin tulos on ns. *infologinen yhtälö* (infological equation), joka esiintyi alun perin pienenä mitättömältä tuntuvana sivuhuomautuksena hänen perusteoksessaan:

$$I = i(D, S, t)$$

Yhtälö kuvaa, kuinka käyttäjän tietojärjestelmältä saama tietämys eli informaatio (I) riippuu paitsi raakadatasta (D), myös käyttäjän aiemmasta kokemuksesta ja tietämyksestä (S) sekä siitä ajanjaksosta (t), jonka aikana tulkintaprosessi (i) tapahtuu. Infolo-

gisen yhtälön mukaan käyttäjät ja heidän elämäkokemuksensa ovat näin ollen keskeisessä asemassa tietojärjestelmien suunnittelussa. Tällöin ei voida varmuudella olettaa, että kaksi eri taustan omaavaa käyttäjää tulkitsevat samasta datasta tuotetun informaation samalla tavalla, ja sen vuoksi vastaavat järjestelmäratkaisut voivat vaihdella. Langefors itse samoin kuin muut infologisesta yhtälöstä innostuneet tutkijat kehittivät ja tarkensivat sen tulkintaa aina 1980-luvun lopulle saakka.

Skandinaavinen koulukunta

Langeforsin uraa uurtava tutkimustyö synnytti vilkkaan tietojärjestelmien tutkimustyön, ei pelkästään Ruotsissa vaan myös muissa Pohjoismaissa. Tutkimus oli varsin monipuolista tarkastellen tietojärjestelmien kehittämistä useasta eri (Langeforsin visioimasta) näkökulmasta toisin kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa, jossa keskityttiin pääasiassa johdon tietojärjestelmiin (management information systems, MIS) kohdistuviin pragmaattisiin kysymyksiin. 1960-1970-luvuilla muodostuneesta laajasta pohjoismaisesta tietojärjestelmien tiedeyhteisöstä käytetäänkin usein nimitystä ”skandinaavinen koulukunta”. Tähän koulukuntaan lasketaan mukaan myös suomalaiset tutkijat, vaikka Suomi ei maantieteellisesti Skandinaviaan kuulukaan. Skandinaavinen koulukunta alkoi hiipua 1990-luvulla paitsi siksi, että tietojärjestelmätieteen tiedeyhteisöstä oli tullut tyystin kansainvälinen, myös siksi, että uuden ICT-ajan teknologinen kehitys toi mukanaan aivan uudenlaisia tietojärjestelmien tutkimuskysymyksiä, jotka eivät enää kohdanneet Langeforsin aikaisia suunnittelun perusongelmia.

Käsitteellisyys, teoreettisuus ja jopa tietynasteinen yhteiskunnallisuus ja filosofisuus ovat olleet skandinaavisessa koulukunnassa tehdyn tutkimuksen tyypillisiä luonteenpiirteitä. Tutkimuksessa voidaan havaita useita toisiinsa sidoksissa olevia haaroja, joista useissa suomalaiset tutkijat ovat olleet aktiivisia ja jopa eturintamassa. Ensimmäinen suomalainen tietojärjestelmien kehittämistä tarkasteleva väitöskirja valmistui jo vuonna 1968 Helsingin yliopistossa (Olavi Niitamo: *Systeemiajattelun eräitä pääpiirteitä*), mutta se tehtiin kansantaloustieteessä, joten ensimmäiseksi tieteellisesti tietojenkäsittelytieteisiin suunnatuksi tietojärjestelmätieteen väitöskirjaksi onkin katsottava Markku Nurminen Turun yliopistossa vuonna 1976 julkaisema *Studies in Systemeering: On Fuzziness in the Analysis of Information Systems*. Nurminen myöhempiin tutkimusaiheisiin lukeutuu mm. ”langeforsilaisen maailmankuvan” kritisointi ja parantelu.

Pertti Järvinen (Tampereen yliopisto) ja Pentti Kerola (Oulun yliopisto) ovat tärkeimmät suomalaiset tietojärjestelmätieteen oppiaineen kehittäjät 1970-luvulla. He käynnistivät tuolloin alueen koulutuksen määrittellen samalla sen oppisisältöä mm. kirjasarjassaan *Systemointi I – III*, joka kohdistui pääosin yhtenäisen systeemin suunnitteluteorian rakentamiseen yleisen systeemitieteen ja kybernetiikan näkökulmasta. Järvisen ja Kerolan ansiota on myös maailman vanhimman yhä edelleen jatkuvan tietojärjestelmätieteen konferenssisarjan *IRIS* (Information systems Research seminar In Scandinavia) käynnistäminen vuonna 1978. IRIS oli alkujaan pieni vapaamuotoinen seminaari, joka järjestettiin neljänä ensimmäisenä vuonna Suomessa (1978 Tampere, 1979 Dragsfjärd, 1980 Saarijärvi, 1981 Oulu) ja johon osallistui muutamia kutsuttuja tutkijoita muista Pohjoismaista (v. 1980 ja 1981 myös Yhdysvalloista). Pääaiheena näissä varhaisissa seminaareissa olivat systeemin suunnittelumallit. Tämän jälkeen se-



minaari levisi muihin Pohjoismaihin (ensimmäiseksi Tukholmaan vuonna 1982) muutuen osanottajakaartiltaan kansainväliseksi 1980-luvun lopulla. Toinen tietojärjestelmätieteen skandinaavisen koulukunnan sanansaattaja on vuonna 1989 perustettu lehti *Scandinavian Journal of Information Systems*, jonka perustajat olivat pääosin tanskalaisia (Lars Mathiassen).

Merkittävin Kerolan ja Järvisen tieteellinen tulos on heidän 1970-luvulla kehittämänsä tietojärjestelmien suunnittelu- eli systemointimalli PSC. PSC perustuu Langeforsin ideoiden pohjalta kehitettyyn ISAC-malliin ja siinä tarkastellaan tietojärjestelmien suunnittelua kolmesta eri näkökulmasta, jotka ovat pragmaattinen (P, pragmatic), semanttinen (S, semantic) ja konstrukttiivinen (C, constructive). Pragmaattisessa näkökulmassa tarkastelukohteena on kehitettävän tietojärjestelmän hyödyntäminen sitä käyttävässä organisaatiossa, semanttisessa näkökulmassa tietojärjestelmän tuottaman informaation sisältö ja arvo loppukäyttäjälle ja konstrukttiivisessa näkökulmassa tietojärjestelmän tekninen suunnittelu ja toteutus.

Toinen merkittävä suomalainen tietojärjestelmien suunnittelumalli on Juhani Iivarin ja Erkki Koskelan Oulun yliopistossa kehittämä PICO. Sen kehittäminen alkoi PSC-mallin pohjalta 1970-luvun lopulla ja jatkui pääosin Iivarin toimesta aina 1990-luvun alkuun saakka. PICO on varsin monipuolinen menetelmä sisältäen tietojärjestelmiä kuvaavan yleisen metamallin ja sille tarvittavat kuvauskielet, tietojärjestelmien suunnitteluprosessin ja joukon tietojärjestelmien laatu- ja valintakriteerejä. PICO-malli tarjoaa PSC:n tapaan kolme näkökulmaa tietojärjestelmiin: pragmaattisen näkökulman (P), ulkoisen käyttäytymisen näkökulman (IO, input/output) ja rakenteellisen konstruktii-vis-operatiivisen näkökulman (CO). Sekä PSC että varsinkin PICO olivat mitä suurimmassa määrin kansainvälisen tutkimuksen ytimessä, sillä niiden kanssa varsin samankaltaisia piirteitä sisältyy tunnettuun, Barry Boehmin vuonna 1986 julkaisemaan ohjelmistokehityksen hierarkkiseen ja iteratiiviseen spiraalimalliin (spiral model).

Juhani Iivari on ollut yksi aktiivisimmista ja kansainvälisesti näkyvimmistä suomalaisista tietojärjestelmätieteen tutkijoista. Hän on PICO-mallin jälkeen keskittynyt tutkimustyössään pääosin tietojärjestelmien suunnittelumenetelmien sekä niitä tukevien tietojärjestelmä- ja ohjelmistokehitystyökalujen käytön analysointiin. Yleisestikin ottaen Iivarin työssä on keskeisenä teemana yksi tietojärjestelmätieteen skandinaavisen lähestymistavan kantavista peruspilareista, käyttäjänäkökulma: hän on tutkimuksessaan tarkastellut monipuolisesti käyttäjien huomioon ottamista niin tietojärjestelmien vaatimusmäärittelyssä kuin niiden koko elinkaareissa. Varsinaisen substanssitutkimuksen lisäksi Iivari on kunnostautunut tietojärjestelmien ja tietojenkäsittelytieteiden tutkimus- ja julkaisukäytäntöjen kriittisenä arvioijana.

Tietojärjestelmien suunnittelumalleihin liittyy läheisesti myös toinen skandinaavisen koulukunnan suomalaisvoittoinen tutkimusalue, tietokoneavusteinen tietojärjestelmäkehitys (Computer Aided Systems/Software Engineering, CASE ja Computer Aided Method Engineering, CAME). Aluetta tutkittiin 1970- ja 80-luvulla paljon erityisesti KTH:ssa Ruotsissa (Janis Bubenko) ja NTH:ssa Norjassa (Arne Sølvberg). Suomessa tämän alueen merkittävin tutkimushanke on ollut Kalle Lyytisen 1990-luvun alussa käynnistämä MetaPHOR (Metamodeling, Principles, Hypertext, Objects and Reposito-

ries) Jyväskylän yliopistossa. Hankkeessa kehitettiin tietojärjestelmien ja niiden suunnittelumenetelmien metamallintamisen teoriaa, menetelmiä ja työkaluja, joista tärkein on MetaCase-yrityksen tuotteistama metamallintamisympäristö MetaEdit+. Muita MetaPHOR-hankkeen tutkijoita olivat mm. Steven Kelly, Pentti Marttiin, Matti Rossi, Kari Smolander, Juha-Pekka Tolvanen ja Harri Oinas-Kukkonen (Oulun yliopisto).

Oinas-Kukkonen tutki 1990-luvulla MetaPHOR-hankkeen yhteydessä yleisemmän hypertekstin ja hypermedian edistyneiden piirteiden monipuolista hyödyntämistä tietojärjestelmissä. 2000-luvulla hän on tutkinut erityisesti ns. ”suostuttelevia” järjestelmiä ja sovelluksia (persuasive systems), jotka ohjaavat käyttäjää muuttamaan asenteitaan tai toimintatapojaan terveellisemmiksi tai muulla tavoin paremmiksi. Esimerkkejä tällaisista Oinas-Kukkosen suunnittelemissa tai analysoimista järjestelmistä ovat ylipainon, tupakanpolton sekä virvoitus- ja alkoholijuomien kittaamisen vähentämistä tukevat sovellukset.

Yksi skandinaavisen koulukunnan käsitteellisempiä tutkimusalueita on ollut myös toiminnan teoria (activity theory), jota on Suomessa tarkastellut etenkin Kari Kuutti (Oulun yliopisto). Tässä alun perin Neuvostoliitossa 1920- ja 1930-luvulla kehitetyssä yhteiskuntatieteen ja psykologian teoriassa työtä tai muuta toimintaa tarkastellaan kokonaisvaltaisesta näkökulmasta, joka kattaa paitsi yksittäiset toimijat ja laajemmat työryhmät, tiimit ja organisaatiot, myös niiden motivaatiot, toimintaympäristön, historian ja kulttuurin. Kuutti on 1990-luvun tutkimustyössään soveltanut toiminnan teoriaa tietokoneavusteiseen yhteistyöhön (computer-supported cooperative work, CSCW), jossa tarkastellaan ihmisten välisen yhteistoiminnan ja koordinoinnin tukemista tietojärjestelmien avulla. Tällä alueella hän on tutkinut varsinkin oppimista ja oppivia organisaatioita. Toiminnan teoriaan perustuvan tietojärjestelmätutkimuksen lisäksi Kuutti on myös kehittänyt teoriaan soveltuvia tutkimusmenetelmiä.

Tietohallinto

Yritysten strategiseen johtamiseen ja tietohallintoon liittyvää tutkimustyötä on Suomessa tehty etenkin kauppakorkeakouluissa. Alueen pioneereja ovat Markku Sääksjärvi (Helsingin kauppakorkeakoulu, nykyisin Aalto-yliopisto) ja Tapio Reponen (Turun kauppakorkeakoulu, nykyisin Turun yliopisto), jotka aloittivat liikkeenjohtamista, strategista suunnittelua ja päätöksentekoa tukevien tietojärjestelmien opetuksen ja tutkimuksen 1980-luvulla. Tämän aihepiirin nuoremman sukupolven tutkijoista aktiivisin on ollut Reima Suomi (Turun kauppakorkeakoulu / Turun yliopisto), joka on tutkimustyössään keskittynyt tarkastelemaan tietojärjestelmien roolia, säätelyä ja kehittämistä terveydenhuoltosektorilla.

Aihepiirin kansainvälisesti näkyvin suomalaissyntyinen tutkija on jo nuorena Yhdysvaltoihin muuttanut ja siellä koko tutkijanuransa ajan työskennellyt Sirkka Järvenpää (University of Texas at Austin), joka aloitti tutkimustyönsä 1980-luvulla päätöksenteon tukijärjestelmistä ja niiden käyttöliittymistä laajentaen sitä 1990-luvulla yleisempään strategiseen päätöksentekoon ja globaalin IT-sektorin liiketoimintamalleihin. 2000-luvulla Järvenpää on tutkinut tietohallinnon ja liiketoiminnan lisäksi erityisesti hajautettuja virtuaalisia tiimejä, niiden välisen yhteistyön muotoja ja yhteistyön tietoteknisiä tukijärjestelmiä.

Tietojärjestelmien epäonnistumiset ja riskit

Kansainvälisesti tunnetuin suomalainen tietojärjestelmätieteen tutkija on Kalle Lyytinen, jonka tutkijanura käynnistyi osallistumisesta ensimmäiseen IRIS-seminaariin vuonna 1978. Lyytinen työskenteli Jyväskylän yliopistossa 2000-luvun alkuun asti, jolloin hän siirtyi professoriksi Yhdysvaltoihin, Case Western Reserve -yliopistoon. Lyytisen tutkimustyö on ollut harvinaisen monipuolista sisältäen mm. tietojärjestelmien teoriaa, (meta-)mallintamista ja filosofista perustaa, ohjelmistotekniikkaa ja projektinhallintaa, innovaatioiden teoriaa ja niiden globaalia käyttöönottoa, mobiilisovellusten diffuusiota, digitaalitaloutta ja digitalisaation syvällisiä vaikutuksia sekä digitaalisia infrastruktuureja. Hän on lisäksi osallistunut – Juhani Iivarin tapaan – aktiivisesti oman tiedeyhteisönsä tutkimuspoliittiseen keskusteluun.

Lyytisen viitatuin yksittäinen julkaisu on hänen vuonna 1987 yhdessä Rudy Hirschheimin kanssa julkaisemansa artikkeli tietojärjestelmien epäonnistumisista (information systems failures). Artikkelissa luodaan kirjallisuuteen perustuva kattava yhteenveto tärkeästä ja vaikeasti hallittavasta ongelmasta, tietojärjestelmien käytön ja tietojärjestelmiä tuottavien projektien epäonnistumisista ja epäonnistumisten syistä. Artikkelista on sittemmin tullut tämän aiheen klassinen de facto -pääviite.

Lyytinen ja Hirschheim määrittelevät tietojärjestelmän *epäonnistuneen*, mikäli se ei vastaa jonkin tietyn sidosryhmän (stakeholder group) siihen kohdistuvia odotuksia. Perinteinen jaottelu sidosryhmille on tietojärjestelmän käyttäjät, tietojärjestelmän kehittäjät ja kehittäjäorganisaation johto, mutta Lyytinen ja Hirschheim kritisoivat tätä jaottelua liian karkeaksi ja yksinkertaiseksi ja näkevät sidosryhmä-käsitteen huomattavasti monisyisemmäksi jakaen esimerkiksi käyttäjät heidän tavoitteidensa ja kontekstinsa perusteella erilaisiin aliryhmiin (päättäjät, peruskäyttäjät, konsultit jne.).

Lyytinen ja Hirschheim jaottelevat tietojärjestelmien epäonnistumiset neljään pääluokkaan:

- 1) tietojärjestelmä ei vastaa sille määritellyjä vaatimuksia ja tavoitteita (correspondence failure)
- 2) tietojärjestelmän kehittäminen ylittää asetetut aika- ja budjettirajat (process failure)
- 3) tietojärjestelmää ei käytetä tai siihen suhtaudutaan negatiivisesti (interaction failure)
- 4) tietojärjestelmä ei vastaa (joidenkin) sidosryhmien odotuksia (expectation failure)

Pääluokista ”expectation failure” on yleisin ja vastaa parhaiten epäonnistumisen määritelmää sisältäen siten muut pääluokat. Toisaalta se on luonteeltaan pluralistinen eli moniarvoinen, jolloin odotusten vastaisuuden tunnistaminen, analysointi ja hallinta ovat vaikeampia kuin muihin luokkiin kuuluville epäonnistumisille, joille on kehitetty lukuisia menetelmiä ja työkaluja.

Neljän pääluokan pohjalta Lyytinen ja Hirschheim ovat kehittäneet tietojärjestelmien epäonnistumisille tarkemman kehikon, joka sisältää 16 epäonnistumisen tyyppiä. Ne on kehikossa jaettu tietojärjestelmien kehittämistä (development failures) ja niiden käyttöä (use failures) koskeviksi:

Kehittäminen

- 1) kehittäjäorganisaatiossa käytettävä teknologia pakottaa valitsemaan teknisesti sopimattomia tai riittämättömiä toteutusratkaisuja (technology problems)
- 2) tietojärjestelmän kehittämisessä keskitytään yksinomaan datan prosessointiin eikä sen käyttäjille tarjoaman informaation käyttökelpoisuuteen (view of data)
- 3) tietojärjestelmän suunnittelussa ei oteta huomioon taidoiltaan erilaisia ja eri taustan omaavia käyttäjäryhmiä, vaan niitä kaikkia pidetään tasalaatuisena harmaana massana (view of user)
- 4) tietojärjestelmän suunnittelussa ja kehittämisessä ei oteta huomioon sen (taloudellista) vaikutusta käyttäjäorganisaatioon eikä sitä kontekstia, johon järjestelmää ollaan viemässä (view of organization)
- 5) tietojärjestelmälle määritellyt tavoitteet ja vaatimukset ovat liian kapea-alaisia keskittyen vain muutamaaan osa-alueeseen tai sidosryhmään (goal problems)
- 6) tietojärjestelmä on liian monimutkainen niin kehittäjille kuin muillekin sidosryhmille (complexity problems)
- 7) tietojärjestelmän kehittäjät käyttävät muille sidosryhmille outoa kieltä (communication failures)
- 8) kehitystyön laadunvalvonta on riittämätöntä tai yksipuolista (control failures)
- 9) kehitystyössä käytettävä prosessimalli on liian jäykkä pystyäkseen vastaamaan eri sidosryhmien erilaisiin ja muuttuviin vaatimuksiin ja odotuksiin (view of the IS design process)

Käyttö

- 10) tietojärjestelmä on hidaskäyttöinen ja epäluotettava tai sen käyttöliittymä on huono (technical and operational problems)
- 11) tietojärjestelmästä saatava data on väärää, vaikeaselkoista tai epäoleellista taikka se voidaan tulkita informaationa väärin (data problems)
- 12) tietojärjestelmä tarjoaa teknistä apua mutta ei ratkaise käyttäjien todellista ongelmaa (conceptual problems)
- 13) tietojärjestelmä haittaa varsinaisen työn tekemistä tai huonontaa työn laatua ja työtyytyväisyyttä (job satisfaction problems)
- 14) tietojärjestelmä muuttaa haitallisesti organisaation (valta)rakenteita, työprosesseja, työnkuvia ja yhteistyön muotoja (organization problems)
- 15) tietojärjestelmä on käytettävyydeltään liian mutkikas (complexity of use)
- 16) tietojärjestelmän ylläpidettävyyden on heikko ja sen ylläpito kallista (complexity of maintenance)

Tietojärjestelmien epäonnistumisten lisäksi Lyytinen ja Hirschheim ovat analysoineet myös niiden syitä. Niitä on aiemman tutkimuksen perusteella tunnistettavissa yhteensä 12 kappaletta, jotka jaotellaan epäonnistumisten tavoin neljään pääluokkaan:

Tietojärjestelmä itsessään (features of the IS)

- 1) riittävän edistyneen toteutusteknologian puute (technical and

operational reasons)

Tietojärjestelmän käyttöympäristö (features of the IS environment)

- 2) yksilöiden käyttäytymisen ja todellisten tarpeiden sekä heidän erilaisuutensa huomiotta jättäminen (individual reasons)
- 3) käyttäjäorganisaation ympäristön, rakenteen, teknologian, normien ja työtapojen huomiotta jättäminen (organizational reasons)
- 4) tietojärjestelmän varsinaista käyttöympäristöä laajemman organisaation ja ulkoisen kontekstin huomiotta jättäminen (environmental reasons)

Tietojärjestelmän kehitysprosessi (features of the ISD process)

- 5) huonojen määrittely-, suunnittelu- ja toteutusmenetelmien tai väärän kehitysprosessin käyttö (methods reasons)
- 6) keskittyminen tukemaan liian tiukkaa ja rationaalista päätöksentekoprosessia käytännössä tapahtuvan epävarman päätelyn sijasta (decision-making reasons)
- 7) (päällikötason) käyttäjän tukeminen palveluilla, jotka perustuvat väärin olettamuksiin hänen työnsä luonteesta (nature of work reasons)
- 8) liian yksipuolinen riskianalyysi (contingency reasons)
- 9) tietojärjestelmän dynaamisesti muuttuvaan ympäristöön ja muuttuviin vaatimuksiin huonosti sopeutuva toteutustyö (implementation reasons)
- 10) tietojärjestelmän toteuttajien väärät oletukset tietojärjestelmän käsittelemästä datasta sekä tietojärjestelmän käyttäjistä, heidän tarpeistaan ja organisaatioistaan (systems assumptions reasons)

Tietojärjestelmäkehityksen konteksti (features of the ISD environment)

- 11) tietojärjestelmän kehittäjien puutteellinen ammattitaito ja heidän liian erilaiset työtapaansa (systems developer reasons)
- 12) kouluttamattomien käyttäjien puutteelliset tekniset taidot (user education reasons)

Epäonnistumisten ja niihin johtavien syiden välisen yhteyden analyttinen tarkastelu paljasti, että yleisin yksittäinen syy tietojärjestelmien epäonnistumiseen on – ehkä hie- man yllättäen – *huonojen määrittely-, suunnittelu- ja toteutusmenetelmien tai väärän kehitysprosessin käyttö* (methods reasons), joka korreloi (vahvasti) kaikkiin epäonnistumisten tyyppeihin. Seuraavaksi pahimmiksi osoittautuivat *keskittyminen tukemaan liian tiukkaa ja rationaalista päätöksentekoprosessia käytännössä tapahtuvan epävarman päätelyn sijasta* (decision-making reasons), *käyttäjän tukeminen palveluilla, jotka perustuvat väärin olettamuksiin hänen työnsä luonteesta* (nature of work reasons) ja *tietojärjestelmän toteuttajien väärät oletukset tietojärjestelmän käsittelemästä datasta sekä tietojärjestelmän käyttäjistä, heidän tarpeistaan ja organisaatioistaan* (systems assumptions reasons).

Myös toinen runsaasti viitattu Lyytisen tutkimusaihe, ohjelmistoprojektien riskit ja niiden hallinta, tarkastelee tietojärjestelmä- ja ohjelmistoprojektien suurta käytännön

murheenkryyniä. Tässä yhteydessä riskiksi määritellään mikä tahansa sellainen kehitystehtävän tai -ympäristön tila tai ominaisuus, jonka sivuuttaminen kasvattaa projektin epäonnistumisen todennäköisyyttä.

Lyytinen on 1990-luvun tutkimustyössään yhdessä Paul Culen, Mark Keilin, Janne Ropposen ja Roy Schmidin kanssa analysoinut potentiaalisia ja toteutuneita riskejä eri maiden (mm. Suomen, Yhdysvaltojen ja Hong Kongin) ohjelmistoprojekteissa. Analyysin pohjalta tutkijaryhmä on tuottanut seuraavan mustan listan suurimmista ohjelmistoprojektien riskeistä (laskevassa pahemmuusjärjestyksessä):

- 1) ylemmän johdon sitoutumattomuus projektiin
- 2) epäonnistunut käyttäjien sitouttaminen
- 3) väärin ymmärretyt vaatimukset
- 4) käyttäjien riittämätön osallistuminen projektiin
- 5) epäonnistuminen loppukäyttäjillä olevien odotusten hallinnassa
- 6) muuttuvat tavoitteet
- 7) projektiryhmän kokemattomuus tai huono ammattitaito
- 8) jäädytettyjen eli lukkoon lyötyjen vaatimusten vähäinen määrä
- 9) uuden teknologian käyttöönotto
- 10) liian vähäinen tai tehtävään sopimaton henkilöstö
- 11) käyttäjäorganisaation sisäiset ristiriidat

Ohjelmistoprojektien riskit osoittautuivat tutkimuksissa varsin samankaltaisiksi ympäri maailmaa. Kuten vastaavissa tutkimuksissa yleensäkin, yleisimmät ja suurimmat riskit eivät suinkaan näytä liittyvän tekniikkaan (poikkeuksena uuden teknologian käyttöönotto) vaan pikemminkin projektin eri sidosryhmien sitoutumiseen, ammattitaitoon ja yhteistyöhön ja alati muuttuvien vaatimusten hallintaan. Niihin panostaminen katsottiinkin Lyytisen ja kumppanien tutkimuksissa parhaaksi keinoksi varautua ohjelmistoprojektia mahdollisesti uhkaaviin fataaleihin riskeihin.

Kalle Lyytinen on Yhdysvaltoihin muutettuaan keskittynyt 2000-luvulla tarkastelemaan yhteiskunnan digitalisoitumista sekä tietojärjestelmien ja digitaalisten innovaatioiden roolia globaalissa murroksessa. Hänen mm. digitaalisiin infrastruktuureihin (esimerkkeinä Facebook, iPad ja iPhone) kohdistuva tutkimuksensa on merkittävällä panoksellaan ollut avaamassa uusia uria tietojärjestelmätieteeseen, ainakin skandinaavisen koulukunnan 1900-luvun perinteisiin teemoihin verrattuna.



Kalle Juhani Lyytinen, syntynyt 19.8.1953
Helsingissä.

Ylioppilas 1972 (Jyväskylän lyseo). TTK 1977, KTL 1982,
KTT 1986 (Jyväskylän yliopisto).

Suunnittelija 1977 ja assistentti 1978–81 (Jyväskylän
yliopisto), tutkija 1983–85 (Suomen Akatemia), lehtori
1984–85 (Vaasan korkeakoulu), lehtori 1985–87
(Jyväskylän yliopisto), tietojenkäsittelyopin professori
1987–2000 (Jyväskylän yliopisto), tietojärjestelmätieteen
professori 2001– (Case Western Reserve University).
Vieraileva tutkija 1981–82 (Kungliga Tekniska Högskolan),

vieraileva tutkija 1986 (London School of Economics), vieraileva professori 1989–90
(Copenhagen Business School), vieraileva professori 1992–93 (香港科技大學, The Hong
Kong University of Science and Technology), vieraileva professori 1997 (Georgia State
University), vieraileva professori 2007 (Université de Lausanne), vieraileva professori 2008
(Aalto-yliopisto), vieraileva professori 2008–15 (CIIR / Umeå universitet), vieraileva professori
2012–15 (London School of Economics).

Tietojenkäsittelytieteen Seuran johtokunnan jäsen 1985–86. Jyväskylän yliopiston
yhteiskuntatieteellisen tiedekunnan dekaani 1992–96, Jyväskylän yliopiston
informaatioteknologian tiedekunnan dekaani 1998–2000. TT-Tiedon tieteellisen
neuvottelukunnan puheenjohtaja 1994–96 ja 1998–2001. IFIPin teknisen työryhmän WG
8.2 (Information Systems and Organizations) jäsen 1983–, varapuheenjohtaja 1992–93 ja
puheenjohtaja 1994–96, AIS:n (Association for Information Systems) varapuheenjohtaja
2010–12.

IFIP Silver Core 1995 ja 1998, CASE Research Award 2002, AIS Fellow Award 2004, AIS LEO
Award 2013. Uumajan yliopiston kunniatohtori 2008.

Kalle Lyytinen aloitti tieteellisen työnsä 1980-luvulla tietojärjestelmien teoriasta
ja mallinnusmenetelmistä, joista hän siirtyi 1990-luvulla tietojärjestelmien
suunnittelumenetelmiin ja -työkaluihin. Muutettuaan Yhdysvaltoihin 2000-luvun alussa
Lyytinen on keskittynyt tutkimaan tietojärjestelmien laajempia globaaleja, sosiaalisia ja
yhteiskunnallisia vaikutuksia, digitaali-, internet- ja mobiilitaloutta sekä innovaatioverkostoja.
Tietojärjestelmätieteen lisäksi Lyytisen repertuaariin sisältyy myös ohjelmistotekniikkaa,
erityisesti metriikoita sekä vaatimusten- ja riskienhallintaa. Lyytinen on tutkinut ja
kehittänyt myös tietojärjestelmätieteen tutkimusmenetelmiä ja julkaisukäytäntöjä, joten
hänen tutkimustyönsä on poikkeuksellisen monipuolista. Lyytinen on yksi kansainvälisesti
viitatuimmista tietojärjestelmätieteen tutkijoista ja tutkimusalueen suomalainen supertähti.
Häntä luonnehditaan tietojärjestelmätieteen huippututkijoiden yhteisössä ainoaksi ”ketuksi”,
joka tutkii monia eri asioita monella eri tavalla (erotuksena ”siileistä”, jotka tutkivat yhtä ja
samaa asiaa aina samalla tavalla).

Kalle harrastaa patikointia, klassisen musiikin kuuntelua (erityisesti Bachia, Beethovenia,
Mahleria ja Sibeliusta) ja vakavahenkistä kirjallisuutta (erityisesti eurooppalaisia klassikoita
ja filosofiaa). Kalle on joviaali, harvinaisen monitahoisesti sivistynyt ja paljon maailmaa
nähtynyt kaveri, jonka kanssa on aina mukava rupertella paitsi varsinaista asiaa, myös vähän
niitä sun näitä. Hän käyttää mottonaan Albert Einsteinin tunnettua aforismia: ”The most
incomprehensible thing about the world is that it is comprehensible”.

16. TIEDONHALLINTA (INFORMATION SYSTEMS)

Tiedon tallentamiseen käytettyjen kankeiden levyjen ja nauhojen vaihtoehdoksi ryhdyttiin 1960-luvulla kehittämään *tietokantoja* (database), jotka tarjosivat paitsi joustavan tavan järjestää tallennettavaa tietoa myös tehokkaan tavan hakea sitä. Ensimmäiset kaupalliset tietokannat perustuivat joko IBM:n kehittämään hierarkkiseen tietomalliin (hierarchical database model), jossa tieto järjestetään puumaiseen rakenteeseen, tai CODASYL-konsortion määrittelemään verkkomalliin (network model), jossa tieto järjestetään yleisemmäksi verkkorakenteeksi.

Tietokantojen kehityksen tärkein merkkipaalu on englantilaisen Ted Coddin vuonna 1970 julkaisema *relaatiomalli* (relational model), jossa tallennettava tieto esitetään monikoista koostuvina matemaattisina relaatioina. Relatiomallin vahvin käytännön hyöty hierarkkiseen malliin ja verkkomalliin verrattuna oli se, että se tekee mahdolliseksi määritellä tiedon rakenteen ja siihen kohdistuvat haut formaalimmin, deklaraatiivisesti. Relatiomalliin liittykin läheisesti SQL-kyselykieli (Structured Query Language), jonka Donald D. Chamberlin ja Ray Boyce julkaisivat alun perin vuonna 1974 nimellä SEQUEL. Suurin osa 1970-luvulta lähtien kehitetyistä tietokannoista on perustunut relaatiomalliin ja SQL-kieleen.

Relaatiotietokanta koostuu käsiteltävän tiedon sisältävistä tauluista ja niiden välisistä yhteyksistä. Tiedonhakuja varten tauluissa on erityyppisiä avainkenttiä ja kahden taulun välinen yhteys muodostetaan niiden jakamien avainkenttien avulla, jolloin haussa voidaan yhdistää tietoa useammasta eri taulusta. Esimerkiksi Hill Side Golf Club ry:n jäsenrekisteri voitaisiin esittää seuraavanlaisena relaatiotietokannan tauluna, jossa *Jäsennumero* on jokaisen jäsenen yksikäsitteisesti identifioiva ns. pääavain (primary key).

| Jäsennumero | Nimi | Sukupuoli | Tasoitus |
|-------------|-------|-----------|----------|
| 803 | Anne | Nainen | 14,3 |
| 804 | Jukka | Mies | 9,4 |
| 1450 | Ripa | Mies | 30,9 |
| 1451 | Merja | Nainen | 13,8 |
| ... | ... | ... | ... |

Seuran mestaruuskisojen mitalistit vuodelta 2013 voitaisiin puolestaan tallentaa seuraavaan tauluun, jossa *Sarja-Sijoitus* on pääavain ja *Jäsennumero* jäsenrekisteritauluun viittaava ns. viiteavain (referential key). Yhdistämällä viiteavaimen avulla nämä kaksi taulua saadaan toteen näytetyksi mm., että Jukka on voittanut seniorien reikäpelimestaruuden, Anne on saanut pronssia naisseniorien lyöntipelimestaruuskisassa ja Merja on voittanut naisseniorien lyöntipelimestaruuden ja sijoittunut toiseksi Ladies Cup-reikäpelikisassa.

| Sarja-Sijoitus | Jäsennumero |
|-----------------------|-------------|
| Naiset-I | 499 |
| Miehet-I | 1112 |
| Seniори-ladyt-I | 1451 |
| Seniори-ladyt-II | 314 |
| Seniори-ladyt-III | 803 |
| Ladies-Cup-I | 976 |
| Ladies-Cup-II | 1451 |
| Seniорit-reikäpeli-I | 804 |
| Seniорit-reikäpeli-II | 111 |
| ... | ... |

1970-luvulla luotiin myös tietokantojen lukitus- ja eheyskäytännöt. Niiden pääkehittäjä oli Jim Gray, joka määritteli mm. transaktioiden luotettavuuden takaavat ns. ACID-periaatteet Atomicity (atomisuus: transaktio suoritetaan joko kokonaan tai ei lainkaan), Consistency (eheys: jokainen transaktio siirtää tietokannan eheästä tilasta toiseen eheään tilaan), Isolation (eristyneisyys: transaktiot eivät vaikuta toisiinsa) ja Durability (pysyvyys: transaktion sitoutumisen jälkeen tietokantaan tehdyt muutokset eivät enää voi kadota sieltä virheiden tms. vaikutuksesta).

Relaatiotietokantojen jälkeen on kehitetty mm. oliomalliin perustuvia oliotietokantoja ja dokumenttien hallintaan paremmin soveltuvia (teksti)tietokantoja. Jälkimmäisissä tieto määritellään ja tallennetaan usein dokumenttien hallintaan kehitetyssä XML-muodossa (Extensible Markup Language), jota on käytetty yleisesti myös mm. monipuoliseen internet-tiedonhakuun kehitetyn semanttisen webin metakielenä.

1990-luvun alussa ryhdyttiin kehittämään menetelmiä korkeamman tason tietämyksen (knowledge) muodostamiseksi erilaisiin tietolähteisiin, kuten tietokantoihin, tallennetusta raakadatasta. Tutkimus kehittyi tietämuskannoista ja tietokantojen prosessointimenetelmistä ("knowledge discovery in databases") omaksi tiedonhallintaa, tekoälyä, koneoppimista ja tilastotiedettä yhdistäväksi tietojenkäsittelytieteen osa-alueeksi, josta ryhdyttiin käyttämään nimitystä *tiedonlouhinta* (data mining). Tiedonlouhinnan menetelmiä on sittemmin käytetty mitä erilaisimmilla sovellusalueilla teleliikenteestä aina lääketieteeseen, päätöksentekoon ja liiketoimintaan asti.

Tietokannat

Suomessa tiedonhallinnan tieteellinen tutkimus aloitettiin Tampereen yliopistossa, jossa Kalervo Järvelin ja Timo Niemi ryhtyivät 1980-luvun alussa tutkimaan kehittyneitä tietokantapiirteitä ja niiden toteuttamistapoja, tavoitteena tarjota käyttäjälle tavanomaista relaatiotietokantaa suurempi ilmaisuvoima. Järvelinin ja Niemen erityisiä tutkimuskohteita olivat mm. relaatiomallin formalisointi, tiedon muunnosmenetelmät ja tietokantojen ylläpito.

Toinen varhainen tiedonhallinnan tutkimusaihe Tampereen yliopistossa oli tiedon käsitteellinen mallintaminen. Alueen päätutkija oli Hannu Kangassalo, joka kehitti 1980-luvun lopulla mm. visuaalisen tiedonmallinnuskielen Concept D ja siihen perus-

tuvan integroidun tietokannasuunnitteluympäristön COMIC. Concept D tuki erityisesti hierarkkisen tiedon sisältyvyysuhteiden mallintamista paremmin kuin alan klasinen mallinnusmenetelmä, ER-kaavio (Entity-Relationship model).

Tietokannan suunnittelua tutkivat 1980-luvulla myös Heikki Mannila (Helsingin yliopisto) ja Kari-Jouko Räihä (Tampereen yliopisto), joiden kehittämä tehokas algoritmi ns. Armstrongin relaatioina tunnettujen funktionaalisten esimerkkiriippuvuuk-sien laskemiseksi johti Design-by-Example-nimiseen tietokantojen suunnittelumene-telmään ja -työkaluun, joissa yhdistyy relaatio- ja ER-malleihin perustuva suunnittelu. Menetelmä on kuvattu vuonna 1992 julkaistussa oppikirjassa *The Design of Relational Databases*.

Pitkäaikaisinta tietokantojen tieteellistä tutkimusta on Suomessa tehnyt Eljas Soisa-lon-Soinin, alun perin Helsingin yliopistossa (HY) ja sittemmin Teknillisessä korkea-koulussa (TKK) / Aalto-yliopistossa. Soisalon-Soinin aloitti tämän alueen tutkimus-työnsä 1980-luvun alkupuolella tietokantojen rinnakkaistamis- ja lukitusmekanismeis-ta, minkä jälkeen hän on tutkinut mm. rekursiivisia tietokantakyselyjä, indeksointia, tietokantojen toipumismekanismeja, transaktioiden hallintaa ja tietojenpalautusalgo-ritmeja yhdessä mm. Gösta Grahnen (HY), Otto Nurmen (HY), Esko Nuutilan (TKK), Kerttu Pollari-Malmin (TKK), Seppo Sipun (HY) ja Tatu Ylösen (TKK) kanssa.

1990-luvulla Concordian yliopistoon Kanadaan siirtynyt Grahne on tehnyt pitkä-jänteistä ja monipuolista tietokantojen tutkimustyötä tullen tunnetuksi erityisesti epä-täydellisen tiedon (incomplete information) hallintaa käsittelevästä tutkimuksestaan. Hän on lisäksi tutkinut mm. merkkijonojen käsittelyä tietokannoissa yhdessä Matti Nykäsen kanssa (alun perin Helsingin yliopisto, sittemmin Kuopion yliopisto / Itä-Suomen yliopisto).

Myös Jari Veijalainen (alun perin Helsingin yliopisto, sittemmin Jyväskylän yliopis-to) on tehnyt monipuolista tiedonhallinnan tutkimusta mm. heterogeenisten tietokan-tojen transaktioiden hallinnasta. Jyrki Nummenmaa (Tampereen yliopisto) on puoles-taan tutkinut erityisesti suurten tietovarastojen kyselyissä, analysoinnissa ja raportoin-nissa käytettävien ns. OLAP-kuutioiden (Online Analytical Processing) suunnittelua.

Tiedonhaku ja tekstitietokannat

Tiedonhaulla (information retrieval) tarkoitetaan yleisesti ottaen niitä prosesseja, me-netelmiä ja työkaluja, joita tarvitaan käyttäjän haluaman tiedon tuottamiseen relevan-teista dokumenteista ja muista tietolähteistä. Jotta tiedonhaku olisi tehokasta, on sen kohteena olevien dokumenttien oltava sisällöltään rakenteista ja muodoltaan formaaleihin kyselyihin soveltuvaa. Tiedonhaku on tutkimusalana läheistä sukua kirjastojen ja arkistojen toiminnan tehostamiseen keskittyvälle informatiikalle eli informaatiotutki-mukselle (information science).

Tiedonhaun tutkimuksen suomalainen uranuurtaja on Kalervo Järvelin, joka aloit-ti informatiikan tutkimuksensa Tampereen yliopistossa 1980-luvun lopulla. Hänen päätutkimusalueikseen muodostuivat 1990-luvulla tiedonhaku tekstitietokannoista ja rakenteisten dokumenttien käsittely. Järvelin on lisäksi tutkinut mm. afrikkalaisten ja intialaisten kielten käyttöä tiedonhaussa ja kehittänyt tiedonhakumenetelmiä eri so-vellusalueille, kuten musiikin, valokuvien ja patenttien hakuun. Toinen näkyvä tiedon-

haun tutkija Tampereen yliopistossa on Jaana Kekäläinen, joka on tutkinut mm. ontologioiden ja XML-kontekstien käyttöä tiedonhakujen tarkemmassa kohdentamisessa.

Airi Salminen on 1980-luvulta lähtien tutkinut Jyväskylän yliopistossa rakenteisten ja tekstimuotoisten dokumenttien hallintaa. Hänen keskeisimpiä tutkimusalueitaan ovat olleet kielioppien käyttäminen tekstidokumenttien rakenteen kuvaamiseen ja tiedonhakuun sekä hypertekstitekniikoiden soveltaminen löydetyn tiedon käsittelyssä. Näitä menetelmiä on käytetty tavanomaisten dokumenttien lisäksi ohjelmakoodin ymmärtämisessä ja ylläpidossa. Salminen on lisäksi mm. kehittänyt menetelmiä hallinnollisten dokumenttien XML- ja SGML-perustaiseen (Standard Generalized Markup Language) käsittelyyn. Kielioppiin perustuvaa dokumenttien käsittelyä ovat lisäksi tutkineet Kuopion yliopistossa Eila Kuikka ja Martti Penttonen.

Helsingin yliopistossa on 1990-luvulla ja 2000-luvun alussa tutkittu Heikki Mannilan tutkimusryhmissä monipuolisesti kielioppien ja jäsennysmenetelmien soveltamista rakenteisten tekstitietokantojen käsittelyyn. Tutkimuksessa on kehitetty menetelmiä mm. puumuotoisten tekstihahmojen sovittamiseen ja hakuun (Pekka Kilpeläinen), dokumenttien rakennetta kuvaavan kieliopin automaattiseen tuottamiseen (Helena Ahonen(-Myka)) ja heterogeenisten dokumenttien yhdistämiseen (Ahonen, Kilpeläinen, Barbara Heikkinen, Oskari Heinonen).

Tiedonlouhinta

1980-luvun lopulla ryhtyi tietojenkäsittelytieteen kansainvälinen tiedeyhteisö kehittämään laskennallisia teorioita, menetelmiä ja työkaluja raakadatan muokkaamiseksi tiiviimpään, abstraktimpaan tai käyttökelpoisempaan muotoon. Aihepiiriin voidaan katsoa muodostuneen omaksi tutkimusalueekseen vuonna 1989, jolloin siitä järjestettiin ensimmäinen tieteellinen työpaja otsikolla *Knowledge Discovery in Databases* (KDD).

Tutkimusalueena KDD muokkaantui yhdistelmäksi tietojenkäsittelytiedettä (tekoälyä, koneoppimista, asiantuntijajärjestelmiä, hahmontunnistusta, visualisointia, tietokantoja), tilastotiedettä ja tieteellistä laskentaa. Valittuun tietokantaan kohdistuva interaktiivinen ja iteratiivinen KDD-prosessi määriteltiin 1990-luvun alussa koostuvaksi seuraavista päävaiheista: (1) sovellusalueeseen perehtyminen ja tavoitteen määrittely, (2) KDD-prosessin kohdedatajoukon muodostaminen, (3) datan esiprosessointi analysointiin paremmin soveltuvaksi, (4) datan yksinkertaistaminen analysoinnin tehostamiseksi, (5) tehtävään sopivan tiedonlouhintamallin ja -algoritmin valinta, (6) datan muokkaaminen valittuun tiedonlouhintamenetelmään soveltuvaksi, (7) tiedonlouhinta, (8) louhittujen datahahmojen visualisointi ja tulkinta tietämykseksi, (9) tietämyksen käyttöönotto.

Tiedonlouhintana (data mining) pidettiin siis alun perin yhtä KDD-prosessin vaihetta (7), jossa (muokatusta) raakadatasta etsitään tietämykseksi tulkittavia korkeamman tason hahmoja. KDD jäi nopeasti ainoastaan pienehkön akateemisen piiriin käyttämäksi termiksi, ja yllä kuvattua tietämyksen muodostamisen kokonaisprosessia (1)-(9) kutsutaan nykyisin tiedonlouhinnaksi.

Riippuen sovellusalueesta ja tiedonlouhinnan tavoitteesta, löydettyjä hahmoja voidaan käyttää joko jonkin hypoteesin verifioimiseen tai kumoamiseen, datan kuvaamiseen käyttäjälle paremmin ymmärrettävässä muodossa tai järjestelmän tulevan käytetytymisen ennustamiseen. Tiedonlouhinnan perinteisiä päämenetelmiä ovat datan

luokittelu, datan klusterointi, datan arvojen ja trendien ennustaminen, datassa toistuvien ilmiöiden tunnistaminen, datan sisältämien riippuvuuksien ja assosiaatioiden mallintaminen sekä datan sisältämien poikkeamien havaitseminen. Hahmojen ”oikeellisuus” tai ”todenperäisyys” on yleensä vain osittaista, joten tilastotieteellä on keskeinen rooli niihin liittyvän epävarmuuden ja todennäköisyyden hallinnassa. Koska analysoitavaa dataa on useimmiten erittäin paljon, on myös tehokkailla algoritmeilla suuri merkitys tiedonlouhinnassa.

Verrattuna perinteisiin tilastotieteen ja koneoppimisen menetelmiin tiedonlouhinnan valtti on kyky löytää myös sellaisia yllättäviä ja mielenkiintoisia suhteita, trendejä ja poikkeamia, joita käyttäjä ei tulisi koskaan edes ajatelleeksi. Tiedonlouhinta-algoritmit seulovat datasta käyttäjän puolesta valtavan määrän mahdollisia säännönmukaisuuksia ja valitsevat niiden joukosta joillain kriteereillä parhaat. Jotta tämä onnistuisi, on dataa oltava riittävästi luotettavien johtopäätösten tekemiseksi ja sen tulisi olla kohdullisen virheetöntä.

Suomessa tiedonlouhinnan tutkimus alkoi aivan eturintamassa, kun siihen ryhdyttiin Helsingin yliopistossa heti 1990-luvun alkupuoliskolla. Tutkimus keskittyi ensi alkuun datassa esiintyviä toistuvia hahmoja koskeviin *assosiaatiosääntöihin* (association rules), joiden etsintään Heikki Mannila, Hannu Toivonen ja Inkeri Verkamo kehittivät vuonna 1994 yhden ensimmäisistä algoritmeista. Kun samaan aikaan Rakesh Agrawal ja Ramakrishnan Srikant (IBM Almaden Research Center) kehittivät lähes identtisen tehokkaan algoritmin, yhdistivät tutkimusryhmät voimansa ja julkaisivat niiden pohjalta vuonna 1996 vielä yhteisen artikkelin. Nämä algoritmit ovat tiedonlouhinnan tutkimuksen kulmakiviä, joiden parantelusta tuli joksikin aikaa yksi tutkimusalueen aktiivisimmista aiheista.

Alkuperäinen motiivi assosiaatiosäännöille oli ns. ostoskoriongelma, jossa tavoitteena on tutkia, millaisia tuotekokonaisuuksia asiakkaat yleensä ostavat. Tähän kysymykseen vastaava assosiaatiosääntö voisi esimerkiksi kertoa, että ”golfpalloja ja pussihousuja ostavat asiakkaat ostavat yleensä myös Radleria”. Tällaiset ostokäyttäytymistä kuvaavat säännöt voivat olla hyödyllisiä esimerkiksi tuotteiden markkinoinnissa, hinnoittelussa ja sijoittelussa: golfpallot, pussihousut ja Radler-mäyräkoirat kannattaa esimerkiksi sijoittaa kaupassa lähekkäin ja tarjota asiakkaille edullisina ja näyttävästi mainostettuina paketteina.

Assosiaatiosäännöt etsitään useimmiten attribuuttivektoreja (rivejä) sisältävästä tietokannasta. Sitä koskeva yleinen sääntö on tyypillisesti muotoa ” n :lle prosentille tietokannan riveistä pätee, että jos joukon W sisältämissä sarakkeissa on arvo 1 (tosi), myös sarakkeessa B on arvo 1”. Mikäli esimerkiksi kaupan ostotapahtumat kirjataan relaatiotietokantaan, jonka riveinä ovat kaupan asiakkaat ja sarakkeina siellä myytävät tuotteet (”attribuutit”), voidaan edellä esitetty assosiaatiosääntö louhia esiin vaikkapa muodossa ”90 %:lle kaupan asiakkaista pätee, että jos asiakas ostaa golfpalloja ja pussihousut, hän ostaa myös Radleria”.

Assosiaatiosääntöihin liittyy kaksi päättelyä kontrolloivaa tekijää: *yleisyys* (frequency, support) ilmaisee, kuinka monella tietokannan rivillä etsittävä attribuuttien saraketekombinaatio (WB) esiintyy, ja *luottamus* (confidende) puolestaan kertoo, kuinka suurella osalla kombinaation W sisältävistä riveistä esiintyy myös kombinaatio WB . Koska luottamus mittaa datan sisältämiä riippuvuuksia, se on näistä kahdesta tekijästä

yleensä kiinnostavampi; esimerkiksi yllä esimerkkeinä annetut tietokannan assosiaatiosäännöt kuvastavat nimenomaan luottamusta.

Toisin sanoen, yleisyys kuvaa esimerkiksi sitä, kuinka suuri osa kaupan asiakkaista on ostanut sekä golfpalloja ja pussihousuja että Radleria, ja luottamus sitä, kuinka suuri osa golfpalloja ja pussihousuja ostaneista asiakkaista on ostanut lisäksi myös Radleria. Tiedonlouhija voi määritellä yleisyydelle ja luottamukselle sovellus- ja tapauskohtaiset kynnsarvot (threshold) σ ja γ , joiden avulla hän voi karsia pois liian harvinaiset hahmot ja assosiaatiosäännöt.

Olkoon B tietokannan attribuutti ja W joukko attribuutteja, $B \notin W$. Olkoon tietokannassa n riviä. Merkintä $t[W]=1$ tarkoittaa, että tietokannan rivillä t esiintyy arvo 1 kaikissa joukon W attribuutteja vastaavissa sarakkeissa. *Assosiaatiosääntö* on muotoa $W \Rightarrow B$ oleva lauseke. Nyt määritellään, että assosiaatiosääntö $W \Rightarrow B$ pätee kynnsarvojen σ ja γ suhteen, mikäli

$$1) \quad | \{i \mid t_{[W \cup \{B\}]}=1\} | / n \geq \sigma \text{ ja}$$

$$2) \quad | \{i \mid t_{[W \cup \{B\}]}=1\} | / | \{i \mid t_{[W]}=1\} | \geq \gamma$$

Tiedonlouhintatehtävänä on nyt löytää tietokannasta kaikki ne assosiaatiosäännöt $W \Rightarrow B$, jotka pätevät yleisyys-kynnsarvon σ ja luottamus-kynnsarvon γ suhteen.

Tarkastellaan esimerkkinä seuraavaa viiden rivin tietokantaa:

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t_1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| t_2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| t_3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| t_4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| t_5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Koska esimerkiksi attribuutit A , B ja G esiintyvät (arvona 1) riveillä t_1 , t_2 ja t_4 , on joukon $\{A,B,G\}$ yleisyys $3/5 = 0,6$. Myös joukkojen $\{A\}$, $\{A,B\}$, $\{A,G\}$ ja $\{B,G\}$ yleisyys on $0,6$, joukkojen $\{B\}$ ja $\{G\}$ yleisyys $4/5 = 0,8$ ja koko attribuuttijoukon $\{A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K\}$ yleisyys 0 . Oletetaan, että louhinnalle on asetettu kynnsarvoiksi $\sigma = 0,3$ ja $\gamma = 0,9$. Tällöin niiden suhteen pätee esimerkiksi assosiaatiosääntö $\{A,B\} \Rightarrow G$: joukon $\{A,B,G\}$ yleisyys on $0,6$ ($\geq 0,3$) ja säännön luottamus on $0,6 / 0,6 = 1$ ($\geq 0,9$) (joukon $\{A,B,G\}$ yleisyys jaettuna joukon $\{A,B\}$ yleisyydellä). Sen sijaan esimerkiksi sääntö $\{G\} \Rightarrow A$ ei päde, koska sen luottamus on $0,6 / 0,8 = 0,75$, mikä on alle kynnsarvon. Jos tämä tietokanta sisältää kaupan asiakkaiden ostotapahtumia siten, että A vastaa golfpalloja, B pussihousuja ja G Radleria, voidaan siis assosiaatiosääntöjen perusteella päätellä luotettavasti, että pussihousuisille golfareille kannattaa myydä myös Radleria mutta oluen ja virvoitusjuoman sekakäyttäjille ei kannata kaupitella golfpalloja.

Kynnsarvojen suhteen pätevät assosiaatiosäännöt löydetään kahdessa vaiheessa: ensin etsitään tietokannasta kaikki yleisyyssehdon σ täyttävät attribuuttijoukot, minkä

jälkeen testataan yksitellen kaikille ko. joukoille X ja kaikille attribuuteille $B \in X$, täyttääkö sääntö $X \setminus \{B\} \Rightarrow B$ luottamusehdon γ . Jälkimmäinen vaihe on triviaali, joten assosiaatiosääntöjen löytämisessä keskitytään ensimmäiseen vaiheeseen, etsimään tehokkaasti kaikki yleiset attribuuttijoukot, so. joukot X , joille pätee: $|\{i \mid t_i[X]=1\}| / n \geq \sigma$.

Yleiset attribuuttijoukot voisi löytää laskemalla erikseen jokaiselle mahdolliselle attribuuttijoukolle sen yleisyys. Jos attribuutteja on m kappaletta, on niiden osajoukkoja kuitenkin 2^m kappaletta, mikä tekee tyhjentävän testaamisen käytännössä mahdottomaksi. Niinpä tietokantaa kannattaa käydä läpi esimerkiksi vaiheittain tuottamalla iteratiivisesti yhä suurempia ja suurempia yleisiä attribuuttijoukkoja kokoelmiin L_1, L_2, \dots, L_s , kunnes yleisiä joukkoja ei enää löydy. Lisäksi kussakin iteraatiossa s tuotetaan seuraavaa iteraatiota varten ehdokaskokoelma C_{s+1} , joka sisältää ne kokoelman L_s perusteella muodostetut attribuuttijoukot, jotka saattavat kuulua kooltaan yhtä suurempaan $(s+1)$ yleisten attribuuttijoukkojen kokoelmaan L_{s+1} .

Mannilan, Toivosen ja Verkamon algoritmi on seuraavanlainen:

Algoritmi yleisten attribuuttijoukkojen kokoelmien L_s muodostamiseksi tietokannan attribuuteille R .

$C_1 \leftarrow \{\{A\} \mid A \in R\}$

$s \leftarrow 1$

while $C_s \neq \emptyset$ **do**

tietokannan läpikäynti: $L_s \leftarrow$ joukon C_s yleiset attribuuttijoukot

ehdokkaiden tuottaminen: laske C_{s+1} L_s :n yleisten attribuuttijoukkojen perusteella

$s \leftarrow s+1$

od

Ehdokaskokoelman C_s sisältämien joukkojen yleisyyden tarkistaminen tietokannan rivien läpikäynnillä on suoraviivainen tehtävä mutta hidaskäyttöisesti suurille tietokannoille, joten ehdokkaiden määrä kannattaa minimoida. Ehdokkaiden tuottaminen perustuukin siihen havaintoon, että attribuuttijoukon osajoukko on aina vähintään yhtä yleinen kuin sen ylijoukko: mikäli $Y \subseteq X$ ja X täyttää yleisyysehdon, niin myös Y täyttää yleisyysehdon. Algoritmin tehokkuudelle ratkaiseva jatkohavainto on, että mikäli yksikin joukon X (kooltaan yhtä pienempi) osajoukko Y ei täytä yleisyysehtoa, ei myöskään X voi ehtoa täyttää, jolloin sitä ei tarvitse sisällyttää ehdokaskokoelmaan $C_{|X|}$.

Olkoon esimerkiksi algoritmin toisen iteraation tuottamana yleisten attribuuttijoukkojen kokoelmana $L_2 = \{\{A,B\}, \{A,C\}, \{A,E\}, \{A,F\}, \{B,C\}, \{B,E\}, \{C,G\}\}$. Tällöin voidaan päätellä, että $\{A,B,C\}$ ja $\{A,B,E\}$ ovat ainoat ehdokkaat kokoelmaan L_3 , koska ne ovat ainoat kokoa 3 olevat joukot, joiden kaikki kokoa 2 olevat osajoukot sisältyvät kokoelmaan L_2 ($\{A,B\}, \{A,C\}, \{B,C\}$ ja $\{A,B\}, \{A,E\}, \{B,E\}$). Se merkitsee samalla, että L_4 on varmuudella tyhjä.

Ehdokasjoukkoja koskeva havainto voidaan esittää formaalimmin seuraavasti:

$$C_{s+1} \leftarrow \{X \subseteq R \mid |X| = s+1 \text{ ja } \forall Y \subseteq X, |Y| = s: Y \in L_s\}$$

Ehdokasjoukko C_{s+1} voidaan tuottaa usealla tavalla. Suoraviivaisin tapa olisi tarkistaa yllä oleva ehto kaikille mahdollisille tietokannan attribuuttijoukon R kokoa $s+1$ oleville

osajoukoille X , mutta se olisi selvästikin toivottoman tehotonta. Tehokkaampi menetelmä on esimerkiksi hyödyntää yleisiksi tiedettyjä, kokoa s olevia attribuuttijoukkoja yhdistämällä niitä pareittain kokoa $s+1$ oleviksi joukoiksi, joihin tulee $s-1$ yhteistä attribuuttia ja lisäksi molemmista yksi ei-yhteinen attribuutti:

$$C'_{s+1} = \{X \cup X' \mid X, X' \in L_s, |X \cap X'| = s-1\}$$

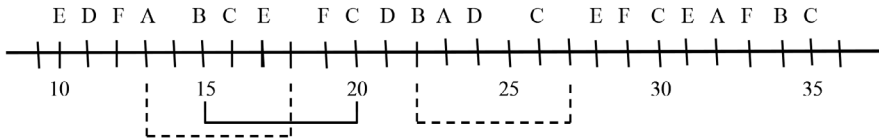
Nyt $C_{s+1} \subseteq C'_{s+1}$ ja ehdokaskokoelma C_{s+1} voidaan tuottaa tutkimalla, mitkä kokoelmaan C'_{s+1} kuuluvista joukoista täyttävät C_{s+1} :n määrittelevän ehdon.

Algoritmi on lineaarinen tietokannan koon suhteen ja eksponentiaalinen suurimman yleisen attribuuttijoukon koon suhteen. Ehdokasjoukkojen laskenta on osoittautunut empiirisissä kokeissa paitsi suoritusajaltaan tehokkaaksi myös osumatarkkuudeltaan hyväksi: erityisesti pienillä yleisyyden kynnyksarvoilla (alle 5 %) tyypillisesti yli 90 % ehdokasjoukoista osoittautuu yleisiksi muutamaa ensimmäistä iteraatiota lukuun ottamatta.

Tietokannan läpikäynti moneen kertaan yleisten joukkojen karsimiseksi ehdokkaiden joukosta on sen sijaan algoritmin tehokkuudelle pullonkaula viedessään aikaa vähintään kymmenkertaisesti ehdokkaiden laskentaan verrattuna. Suurille tietokannoille kannattaakin käyttää otantaa (sampling), jossa ensin tuotetaan approksimaatio yleisille joukoille laskemalla ne ainoastaan osasta tietokannan rivejä ja sitten näin saatua attribuuttijoukkojen kokoelmaa käytetään ehdokkaina todellisille yleisille joukoille laskeamalla niille tarkat yleisyydet käymällä koko tietokanta ainoastaan kertaalleen läpi. Jotta otannassa ei menetettäisi todellisia yleisiä joukkoja, on siinä käytettävä varsinaista yleisyyden kynnyksarvoa matalampaa kynnystä. Empiirisissä kokeissa on havaittu, että jo pienehkö (20–40 %) satunnaisotanta tuottaa useimmiten riittävän tarkkoja tuloksia: pudottamalla kynnyksarvoa esimerkiksi 2 prosentista 1,75 prosenttiin löydetään yli 99 %:n todennäköisyydellä kaikki todelliset yleiset attribuuttijoukot.

Assosiaatiosääntöjen ohella toinen Helsingin yliopiston tiedonlouhijoiden päätutkimusalue 1990-luvulla olivat *episodit* (episode), so. ajallisesti ja toistuvasti lähellä toisiaan esiintyvien tapahtumien jonot. Toistuvien episodien tai episodihahmojen löytäminen on tärkeää sovellusalueilla, joissa datalla on selvää sisäistä järjestystä ja siitä pääteltävissä olevaa seurannaisvaikutusta. Kiinnostavien episodihahmojen tunnistamiseksi niille määritellään yleensä lisäksi pituus sellaisille aikaikkunoille, joiden sisällä tapahtumien on esiinnyttävä, hahmon esiintymistodennäköisyys sekä kynnyksarvo hahmon yleisyydelle eli (suhteelliselle) esiintymismäärälle. Tämä tietämys kuvataan episodisääntönä, joka sisältää tyypillisesti episodihahmon (episodin muodostavat tapahtumat ajallisesti järjestettynä), hahmon yleisyyden datassa ja (minimi)pituuden aikaikkunoille, joiden sisällä hahmot esiintyvät.

Tarkastellaan esimerkkinä seuraavaa jonoa, joka kuvaa tiettyinä ajanhetkinä esiintyviä tapahtumia. Kuvaan on piirretty lisäksi kolme viiden aikayksikön pituista aikaikkunaa.



Jonosta voi löytää esimerkiksi episodihahmon ”tapahtumaa *E* seuraa tapahtuma *F*”, joka esiintyy varsin yleisesti (mm. umpiviivalla merkityssä aikaikkunassa), vaikka aikaikkuna olisi kapeakin. On kuitenkin huomattava, että koska aikaikkunat menevät päällekkäin, ei tietty episodihahmo voi esiintyä kaikissa aikaikkunoissa; yllä esimerkiksi tapahtuma *F* ei seuraa tapahtumaa *E* ensimmäisessä katkoviivalla merkityssä aikaikkunassa, koska sellaista ei siihen mahdu. Jonosta voi päätellä lisäksi sen, että aina kun sekä tapahtuma *A* ja tapahtuma *B* ovat esiintyneet (kummassa tahansa järjestyksessä), myös tapahtuma *C* tulee esiintymään pikapuoliin; tämä pätee mm. molemmissa katkoviivoitetuissa aikaikkunoissa.

Merkittävimpiä tiedonlouhinnan sovelluskohteita Helsingin yliopistossa ovat olleet teleliikenneverkkojen hälytystietokannat. Alueen päätutkijoita olivat Mika Klemettinen, Heikki Mannila ja Hannu Toivonen, jotka ovat kehittäneet sovellusalueen episoditeorian ja -algoritmien lisäksi hälytystietokantojen tiedonlouhintaan TASA-nimisen järjestelmän (Telecommunication Alarm Sequence Analyzer). TASAlla on analysoitu mm. useita Nokian, Radiolinjan, Helsingin puhelinyhdistyksen ja Tampereen Puhelinosuuskunnan tietokantoja, jotka sisältävät hälytyksiä eli ilmoituksia erilaisista televerkon vioista ja häiriöistä. Hälytystietokannat ovat mitä soveliaimpia kohteita tiedonlouhinnalle, koska ne sisältävät suuren määrän vikojen oireita (häiriöitä) mutta eivät suoraan niiden varsinaista syytä.

TASA etsii hälytystietokannasta sekä yksittäisiä hälytyksiä koskevia assosiaatio-sääntöjä että ajallisesti peräkkäisistä hälytyksistä koostuvia episodihahmoja ja niitä kuvaavia sääntöjä. Jälkimmäisillä voidaan esimerkiksi tutkia, mitkä häiriöt näyttävät usein edeltävän mitäkin vikoja. Louhittujen hahmojen ja sääntöjen tulkinnan helpottamiseksi TASA näyttää myös erilaisia tietokannasta laskettuja tilastotietoja, kuten eri hälytystyyppien määrän ja suhteellisen osuuden sekä hälytysten kokonaismäärän. Tyyppillinen TASA:n löytämä assosiaatiosääntö voisi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

```

IF      network element = 1
        day = Monday
        hour = 14
THEN   error level > 10
WITH   confidence (0,95) frequency (0,05)

```

Sääntö kertoo, että mikäli IF-osan sisältämät hälytyksen ominaisuudet (”attribuutit”) ovat voimassa, niin 95 %:n todennäköisyydellä (confidence) ko. hälytykselle pätee myös THEN-osan ominaisuus. Lisäksi säännöstä ilmenee, että hälytystietokannan riveistä eli hälytyksistä 5 % sisältää kaikki IF- ja THEN-osien ominaisuudet (frequency). Näin ollen voidaan päätellä, että verkkoelementti 1 on mitä todennäköisimmin varsin huonossa hapessa maanantai-iltapäivisin, jolloin sen kuormaa olisi syytä vähentää.

Erästä todellisesta hälytystietokannasta TASA on puolestaan löytänyt seuraavanlaisen hälytysepisodeja koskevan säännön:

```

IF      link alarm
        link failure
THEN   high fault rate
WITH   [10] [30] confidence (0,04) frequency (9/218)
        [20] [60] confidence (0,09) frequency (40/426)
        [30] [120] confidence (0,14) frequency (89/634)

```

Sääntö kertoo, että

- 4 prosentissa niistä tapauksista, joissa häiriöt *link alarm* ja *link failure* ovat esiintyneet 10 sekunnin sisällä (yhteensä 218 kappaletta), myös vika *high fault rate* on esiintynyt 30 sekunnin sisällä (9 kertaa)
- 9 prosentissa niistä tapauksista, joissa häiriöt *link alarm* ja *link failure* ovat esiintyneet 20 sekunnin sisällä (yhteensä 426 kappaletta), myös vika *high fault rate* on esiintynyt 60 sekunnin sisällä (40 kertaa) ja
- 14 prosentissa niistä tapauksista, joissa häiriöt *link alarm* ja *link failure* ovat esiintyneet 30 sekunnin sisällä (yhteensä 634 kappaletta), myös vika *high fault rate* on esiintynyt 120 sekunnin sisällä (89 kertaa).

Säätämällä yllä olevan esimerkin tapaan episodihahmojen aikaikkunoita voidaan tietokannasta etsiä usein toistuvia hälytysarjoja ja tutkia niiden ajallista läheisyyttä sekä ryhtyä tämän tiedon perusteella laatimaan varotoimia vakaviksi luokitelluille hälytysepisodeille.

Empiirisissä tapaustutkimuksissa on todettu TASASTA olevan apua varsinkin luotaessa assosiaatiosääntöjen avulla kokonaiskuvaa erityistä valvontaa vaativien hälytysten luonteesta ja etsittäessä ajallisesti kaukana toisistaan tapahtuvien hälytysten muodostamia toistuvia episodihahmoja, joita on vaikea havaita manuaalisesti ja vieläpä riittävän nopeasti. Toisaalta kapeista aikaikkunoista louhitut episodisäännöt ovat useimmiten käytännössä hyödyttömiä, koska ne ovat häiriöasiantuntijoiden mielestä triviaaleina jo itsestään selviä. Episodihahmojen louhinta-algoritmit eivät selviä kovin hyvin myöskään hälytysarjoista, jotka sisältävät purskeisia jaksoja, koska ne tuottavat massallaan runsaasti yksipuolisia ja vain tietyissä erityisolosuhteissa ilmeneviä episodisääntöjä, jotka saattavat peittää alleen todellisten vikojen ja häiriöiden yleiset säännönmukaisuudet.

Helsingin yliopistossa tiedonlouhintatutkimus on 2000-luvulla suuntautunut kehittämään tiedonlouhinnan menetelmiä erilaisille sovellusalueille, kuten lääketieteeseen ja genetiikkaan (bioinformatiikkaan), kielitieteeseen ja paleontologiaan. Tutkimustyö on 2000-luvulla sijoittunut pääosin Helsingin yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun (Aalto-yliopiston) yhteiseen HIIT-tutkimuslaitokseen, jossa varsinkin Jaakko Hollmén on ollut aktiivinen tiedonlouhinnan ja siihen liittyvien neurooverkkojen tutkija. HIITissä tiedonlouhinnan tutkimusryhmää johtaa nykyisin Aristides Gionis, ja ryh-

män tutkimuskohteita ovat mm. datan klusterointi, verkkojen louhinta ja sosiaalisten verkostojen analysointi.

Semanttinen web

Semanttinen web laajentaa perinteistä internetin World Wide Webiä tarjoamalla tehokkaammat ja monipuolisemmat mahdollisuudet tiedon tallentamiseen ja erityisesti sen merkityspohjaiseen hakuun. Tiedon semantiikan kuvaamiseen tarvitaan semanttisessa webissä ns. metatietoa ja tietojen yhteenkuuluvuuden kuvaamiseen puolestaan jonkinlaista käsitteellistä mallintamista. Eräs suosituimmista käsitteellisen mallintamisen muodoista on ontologia eli tietyn aihealueen käsitteiden ja niiden välisten suhteiden kuvaus.

Aktiivisin suomalainen semanttisen webin tutkimusryhmä on Eero Hyvösen Aalto-yliopistossa johtama SeCo (Semantic Computing Research Group), joka on kehittänyt työkaluja ontologioiden luomiseen ja ylläpitoon, sekä niiden avulla useiden eri alueiden ontologioita ja niihin perustuvia semanttisen webin hakupalveluja. SeCo on määrittellyt esimerkiksi suomalaiseen asiasanastoon perustuvan yleisen ontologian, kiinnostavien Suomen paikkojen ontologian, historiallisten aineistojen ontologian sekä kuvataiteen ontologian ja kehittänyt niihin perustuvia semanttisia hakuportaaleja mm. suomalaiselle kirjallisuudelle (Kirjasampo), suomalaiselle kulttuuriperinnölle (Kulttuurisampo), Suomen museoille (MuseoSuomi) ja Suur-Suomen karjalaiselle kartastolle (TempO-Map).



Heikki Olavi Mannila, syntynyt 4.1.1960 Espoossa.

Ylioppilas 1978 (Helsingin Suomalainen Yhteiskoulu). FK 1982, FL 1983, FT 1986 (Helsingin yliopisto).

Tutkimusapulainen 1982 (Suomen Akatemia), tutkija 1983–85 (Helsingin yliopisto), nuorempi tutkija 1985–87 (Suomen Akatemia), apulaisprofessori 1987 (Tampereen yliopisto), apulaisprofessori 1987–89 ja tietojenkäsittelyopin professori 1989–99 (Helsingin yliopisto), tietojenkäsittelytekniikan professori 1999– (Teknillinen korkeakoulu / Aalto-yliopisto). Vieraileva professori 1993 (Technische Universität Wien), vieraileva

tutkija 1995–96 (Max Planck Institut für Informatik, Saarbrücken), tutkija 1998–99 (Microsoft Research, Redmond), research fellow 1999–2001 (Nokia Research Center), tutkimusjohtaja 2002–04 ja johtaja 2009 (Helsinki Institute for Information Technology HIIT), Suomen Akatemian akatemiaprofessori 2004–08.

Tietojenkäsittelytieteen Seuran johtokunnan jäsen 1989–90 ja puheenjohtaja 1994–95. Aalto-yliopiston akateemisten asioiden vararehtori 2009–12, Suomen Akatemian pääjohtaja 2012–17.

Anders Donnerin palkinto 1982, Ernst Lindelöfin palkinto 1983, Tietotekniikan tutkimussäätiön väitöskirjapalkinto 1986, ACM SIGKDD Innovation Award 2003, IEEE ICDM Research Contributions Award 2009. Suomalaisen Tiedeakatemiaan jäsen 2001.

Heikki Mannila on tiedonlouhinnan tieteellisiä uranuurtajia ja kansainvälisesti tunnetuimpia alan tutkijoita. Hänen muita merkittäviä tutkimusalueitaan ovat algoritmit, tiedonhallinta ja bioinformatiikka. Mannila on monissa kansainvälisissä sitaatiotietokannoissa viitatuin suomalainen tietojenkäsittelytieteen tutkija.

Heikin harrastuksiin kuuluvat kävely ja lukeminen. Hänellä on hämmästyttävän monipuolinen ura, niin tutkimuksen kuin hallinnonkin saralla: matkan varrelle mahtuu mm. matematiikkaa, tietojenkäsittelytiedettä, biotieteitä, paleontologiaa, Microsoftia, Nokiaa, Helsingin yliopistoa, Aaltoa, HIITtiä ja Akatemiaa. Vain taivas tuntuu olevan kattona tälle monitaitajalle.

17. TIETOLIIKENNEVERKOT (NETWORKS)

Yhteistyössä toimivista mutta fyysisesti eri paikoissa sijaitsevista tietokoneista muodostuvien tietoverkkojen kehitystyö katsotaan alkaneeksi vuonna 1969, jolloin Yhdysvalloissa käynnistettiin alun perin sotilaalliseen käyttöön ajateltu *ARPANET*-verkko (Advanced Research Projects Agency Network). Ensimmäinen ARPANET-viesti välitettiin 29.10.1969, ja saman vuoden joulukuussa avattiin ensimmäinen ARPANET-verkko, johon kuului neljä reititintä (University of California, Los Angeles; University of California, Santa Barbara; Stanford Research Institute; University of Utah). Verkosta ryhdyttiin käyttämään ”virallisesti” nimitystä *Internet* vuonna 1982, jolloin standardoitiin sen perusprotokollapari, TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol).

Pääasiassa yliopistojen tutkimus- ja opetuskäytössä ollut Internet alkoi levitä koko kansan hyötykäyttöön 1990-luvun alussa, jolloin Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuskeskuksessa CERNissä työskennellyt Tim Berners-Lee julkaisi hypertekstiin pohjautuvan *World Wide Web* (WWW) -konseptinsa ja sitä tukevat ensimmäiset työkalut (www-palvelimen, -sivut ja -selaimen). Berners-Lee suunnitteli samalla myös WWW:n tärkeimmän kuvauskielen, *HTML*:n (HyperText Markup Language), joka standardoitiin lopulta vuonna 2000.

Tietoliikenteessä käytettäviä protokollia eli yhteyskäytäntöjä kuvaamaan kehitettiin 1980-luvun alussa *OSI-malli* (Open Systems Interconnection reference model). Se on yleinen käsitelmä, joka kuvaa tietoliikennejärjestelmän sisäisen kommunikoinnin jakamalla järjestelmän seitsemään abstraktiin kerrokseen, joiden välillä on hyvin määritellyt rajapinnat. OSI-mallin peruseräite on, että kukin kerros tarjoaa palveluita (ainoastaan) sitä lähinnä ylempänä olevalle kerrokselle ja käyttää puolestaan (ainoastaan) sitä lähinnä alempana olevan kerroksen palveluita. Mallin alimmalla tasolla määritellään järjestelmän fyysinen tiedonsiirto ja ylimmällä kerroksella sijaitsevat käyttäjälle tarjottavat palvelut. OSI-mallin kerrokset alimmasta ylimpään ovat fyysinen kerros (physical layer), siirtoyhteyserros (data link layer), verkkokerros (network layer), kuljetuserros (transport layer), istuntokerros (session layer), esitystapakerros (presentation layer) ja sovelluserros (application layer).

OSI-malli on osoittautunut käytännön sovelluksiin liian kankeaksi ja puhdashenkiseksi, mutta se on toiminut käsitteellisesti tärkeänä tietoliikennejärjestelmien viitearkkitehtuurina, jonka siistiä kerrosrakennetta on käytetty soveltuvin osin pohjana mm. lukuisissa keskeisissä Internetin teknologioissa. Esimerkiksi nimellä TCP/IP tunnetussa Internetin protokollapinossa on neljä kerrosta, joista peruserros (link layer) vastaa OSI-mallin fyysistä kerrosta ja siirtoyhteyserrosta, verkkokerros (internet layer) vastaa OSI-mallin verkkokerrosta, kuljetuserros (transport layer) vastaa OSI-mallin kuljetuserrosta ja sovelluserros (application layer) vastaa OSI-mallin istunto-, esitystapa- ja sovelluserrosta.

Tietoverkot ja Internet

Suomessa on tietoverkkojen ja tietoliikenteen varsinainen tieteellinen tutkimus käynnistynyt yllättävän myöhään ja matalalla profiililla. Alueella on pikemminkin keskityt-



ty pitkälti koulutukseen, kehitystoimintaan ja standardointiin, joiden ansiosta Nokialle ja muille alan yrityksille on ollut mahdollista luoda uusia innovaatioita ja kansainvälisesti menestyviä tuotteita. Sen sijaan näyttäviä tieteellisiä läpimurtoja on vähemmän.

Tietokoneverkkoja ryhdyttiin kehittämään jo 1970-luvun alussa, jolloin yliopistojen ja korkeakoulujen yhteiseksi suurtietokoneeksi hankittuun UNIVAC 1108:aan liitettiin puhelinyhteyksien välityksellä noin 150 erilaista päätelaitetta. Kansainvälisiin verkkoihin päästiin vuonna 1985, jolloin Teknillisen korkeakoulun AS-tietokone liitettiin suomalaisista ensimmäisenä eurooppalaiseen EARN-verkkoon (European Academic Research Network). Internetin vuoro koitti vuonna 1988, jolloin opetusministeriön rahoituksella perustettu suomalaisten yliopistojen, korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten yhteinen FUNET-tietoliikenneverkko (Finnish University and Research Network) liitettiin siihen. Suomen ensimmäinen www-palvelin avattiin vuonna 1992.

Alan koulutus aloitettiin Teknillisessä korkeakoulussa, jonne perustettiin jo vuonna 1944 heikkovirtatekniikan laboratorio. Sen nimi muutettiin myöhemmin puhelintekniikan laboratorioksi ja siitä edelleen teletekniikan laboratorioksi ja tietoverkkolaboratorioksi. Vuonna 2008 laboratorio yhdistettiin TKK:n tietoliikennelaboratorion kanssa nykyisen Aalto-yliopiston Sähkötekniikan korkeakoulun tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitokseksi (Comnet). Myös Aalto-yliopiston nykyinen signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos on TKK:n heikkovirtatekniikan laboratorion perillisistä.

TKK:n heikkovirtatekniikan ja puhelintekniikan laboratorioissa tutkittiin ja opetettiin 1940-1960-luvuilla mm. tutkia ja muuta sotilaselektronikkaa, radiolinkkejä, puhelinverkkoja, puhelinkoneiden rakennetta, teekkariteleviisiota ja tv-vastaanottimia. Teletekniikka- ja tietoverkkolaboratorioiksi muuttumisen myötä toiminta alkoi suuntautua (laitteistopohjaiseen) tietoliikenteeseen ja mm. datavaihteisiin, digitaalisiin puhelinkeskuksiin, kytkimiin, keskittimiin ja pakettiverkkoihin. Laboratorioiden tunnettuja pioneeriavainkappaleita olivat mm. radiotekniikan professori Martti Tiuri ja tietoliikennetekniikan professori Kauko Rahko.

Laboratorion tieteellinen tutkimustoiminta vilkastui 1990-luvulla, jolloin mm. Jorma Virtamo teki merkittävää tutkimusta teleliikenteen suorituskyvystä. Comnetin nykyisiä päättötutkimusalueita ovat tietoliikenne-, informaatio- ja teleliikenneteoria (Samuli Aalto, Olav Tirkkonen, Patric Östergård), internet-teknologiat (Raimo Kantola, Jukka Manner, Jörg Ott), langaton tietoliikenne (Jyri Hämäläinen, Riku Jäntti) ja tietoverkkoliiketoiminta (Heikki Hämmäinen).

Internet-teknologioita tutkitaan myös Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun tietotekniikan laitoksessa, jossa aiemmin Nokiassa työskennellyt Antti Ylä-Jääski on erikoistunut internetin sovellus- ja palvelukehitykseen ja verkkoarkkitehtuureihin ja aiemmin Microsoft Research -tutkimuslaitoksessa työskennellyt Tuomas Aura puolestaan internetin tietoturvaan. Erityisen merkittävä tutkimustulos näillä alueilla on Auran Internet-protokollan versioon 6 (IPv6) kehittämä kryptografisen osoitteen periaate (cryptographically generated address), jossa 128-bittisen IPv6-osoitteen loppuosaa muodostetaan kryptografisella hajautusfunktiolla osoitteen omistajan julkisesta avaimesta ja jossa viestit allekirjoitetaan tämän salaisella avaimella. Aura on tutkinut lisäksi mm. liikkuvaan tietoliikenteeseen kehitetyn Internet-protokollan (Mobile IP, Mobile IPv6) tietoturvaan. Toinen kansainvälisesti tunnettu suomalainen IPv6-tutkija on Erics-

sonissa työskentelevä Jari Arkko, joka on tietoturvaan liittyvän tutkimustyön lisäksi ollut aktiivinen standardoija ja toimii internetin kehitystä koordinoivan laajan Internet Engineering Task Force -yhteisön (IETF) puheenjohtajana.

Teknillisen korkeakoulun (Aalto-yliopiston) ja Helsingin yliopiston yhteisessä tietotekniikan tutkimuslaitoksessa HIIT työskennellyt Teemu Koponen on yhdessä mm. Scott Shenkerin (Berkeley) kanssa kehittänyt DONA-arkkitehtuurin (Data-Oriented Network Architecture), jossa Internetin jäykkä ja yhteyksiin perustuva DNS-nimipalvelu korvataan turvallisemmalla ja enemmän datan välitykseen keskittyvällä mekanismilla. DONA on yksi mahdollinen palvelu ns. SDN-mallia (Software-Defined Networking) noudattavassa verkkoratkaisussa, jossa kiinteät ja verkon topologiaan perustuvat kytkimet ja reitittimet on korvattu palveluperustaisilla ja dynaamisesti reititystä kontrolloivilla ohjelmistoilla.

1990-luvulla ja 2000-luvun alussa Nokia Research Centerissä WWW:n teknologioita kehittänyt Ora Lassila on yksi ns. semanttisen webin (semantic web) luojaista. Toisin kuin alkuperäinen perustoteutus, semanttinen web ei tarjoa pelkästään staattisiin WWW-sivuihin ja linkkeihin perustuvaa ”syntaktista” tiedonhakua vaan myös sivujen merkitykseen, linkkien välisiin suhteisiin ja metadataan perustuvia ”semanttisia” hakumahdollisuuksia, joilla voidaan yhdistellä ja löytää tiettyyn aiheeseen liittyvää tietoa huomattavasti monipuolisemmin. Lassila tunnetaan parhaiten yhtenä klassisen perusartikkelin *The Semantic Web* (Scientific American, 2001) kirjoittajista ja semanttisen webin metadatan kuvaamiseen käytettävän Resource Description Framework -mallin (RDF) arkkitehtina.

Protokollat

Tietoliikenteen saralla menestyneen teollisuutemme vaikutuksesta tietoliikenneprotokollia on Suomessa tutkittu ahkerasti, niin kokeellisesti, konstruktivisesti kuin teoreettisesti. 1980- ja 1990-luvuilla kehitettiin useita protokollien suunnittelun ja toteutuksen apuvälineitä, joista laajimmassa käytössä oli Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) ja Nokia Research Centerin (NRC) yhteistyönä kehittämä CVOPS. CVOPS perustui alun perin VTT:llä Olli Martikaisen aloitteesta ja Tekesin rahoituksella vuosina 1983-86 kehitettyyn VOPS-järjestelmään (Virtual Operating System) ja sitä käytettiin mm. Nokiassa GSM-standardoinnissa ja -kehityksessä. Muita teollisessa hyötykäytössä olleita protokollatyökaluja olivat mm. NRC:ssä kehitetyt TTCN-kieleen (Tree and Tabular Combined Notation) perustuvat testaustyökalut ja sanomarakenteiden määrittelykielen ASN.1 (Abstract Syntax Notation One) kääntäjä CASN.

Tunnetuin suomalainen tieteellisessä protokollatutkimuksessa on Antti Valmari, joka aloitti reaktiivisten ja rinnakkaisten järjestelmien formaalien ominaisuuksien tutkimuksensa 1980-luvun lopulla VTT:ssä ja on jatkanut sitä Tampereen teknillisessä korkeakoulussa / yliopistossa 1990-luvun alusta lähtien. Valmarin tärkein tutkimuskohde on ollut reaktiivisten ja hajautettujen järjestelmien oikeaksi todistaminen eli verifiointi ja sen erityisalueena verifioitavan tila-avaruuden minimointi eli ns. tilaräjähdysongelman (state explosion problem) hillitseminen. Valmarin teoreettiseen työhön perustuen on kehitetty myös useita verifiointia tukevia työkaluja, 1990-luvulla Ara-

työkalusto (Advanced Reachability Analysis Tool Set) ja 2000-luvulla TVT (Tampere Verification Tool).

Ara perustuu protokollan määrittelemiseen formaalilla Lotos-spesifointikielellä ja protokollan käyttäytymisen esittämiseen määrittelyä vastaavana tilasiirtymäjärjestelmänä (labelled transition system). Arassa oli kolme integroitua päätyökalua: (1) tila-avaruuden generoija (State Space Generator), joka muuntaa Lotos-kielisen spesifikaation tilasiirtymäjärjestelmäksi, (2) tila-avaruuden kutistaja (Normaliser), joka muuntaa generoijan tuottaman tilasiirtymäjärjestelmän kooltaan pienemmäksi säilyttäen kuitenkin sen toiminnallisen semantiikan ja (3) vertailija (Comparator), jonka avulla voi tarkistaa, ovatko kaksi (kutistettua) tilasiirtymäjärjestelmää toiminnaltaan ekvivalentit. Lisäksi Arassa oli tilasiirtymäjärjestelmien visualisoija (Illustrator). Aralla voi esimerkiksi löytää rinnakkaisesta järjestelmästä lukkiutumia (deadlock) ja tarkistaa, onko tietoliikenteessä käytettävä kommunikointiprotokolla määrittelynsä mukainen.

Verifointi Arassa perustuu Sir Tony Hoaren määrittelemään algebralliseen CSP-teoriaan (Communicating Sequential Processes), jonka pohjalta Valmari ja Martti Tienari ovat kehittäneet protokoliin paremmin soveltuvan semanttisen CFFD-ekvivalenssimallin (Chaos-Free Failures Divergences). Aran tehokas tila-avaruuden kutistus perustuu puolestaan Valmarin kehittämiin menetelmiin, erityisesti koko järjestelmän toiminnallisen määrittelyn vaiheittaiseen koostamiseen alijärjestelmiä kuvaavista redusoiduista tilasiirtymäjärjestelmistä sekä tilasiirtymäjärjestelmän tilojen ja siirtymien vähentämiseen yhdistämällä tilasiirtymäketjujen sisältämiä rinnakkaisia ja riippumattomia tapahtumia (ns. stubborn sets -menetelmä).

Aralla on analysoitu mm. yksinkertaista vaihtuvan bitin (alternating bit) protokollaa, jossa lähetettyihin viesteihin ja niiden kuittauksiin liitetään vuorotellen tarkistusbitit 0 ja 1, joiden avulla varmistetaan oikean viestin perille meno. Protokolla määritellään Aran Lotos-murteella seuraavasti. *Sender* on viestejä lähettävä prosessi, *Receiver* niitä vastaanottava prosessi ja *Channel* epäluotettava viestikanava.

```
(* enumerated data type for the alternating bit *)
$sort seq_nr is (s0, s1)

(* main process name + list of visible actions *)
process Abprot[ send, ok, err, rec ] :=

hide dats, datr, acks, ackr in      (* hide actions in the channel *)
Sender[ send, dats, ackr, ok, err ]( s0 )
|[ dats, ackr ]|
( Channel[ dats, datr ] ||| Channel[ acks, ackr ] )
|[ datr, acks ]|
Receiver[ rec, datr, acks ]( s0 )

where

process Sender[ send, dat, ack, ok, err ]( sn : seq_nr ) :=
send; Try[ send, dat, ack, ok, err ]( sn, 2 )
where
process Try[ send, dat, ack, ok, err ]
( sn : seq_nr, retry_cnt : int ) :=
```



```

hide timeout in
dat ! sn;
( (* receive ack with correct seq. nr. *)
ack ! sn; ok; Sender[ send, dat, ack, ok, err ]( sn+1 )
[] [ retry_cnt > 0 ]-> timeout; (* timeout -> retry *)
Try[ send, dat, ack, ok, err ]( sn, retry_cnt-1 )
[] [ retry_cnt = 0 ]-> timeout; err; (* timeout -> give up *)
Sender[ send, dat, ack, ok, err ]( sn )
)
endproc
endproc

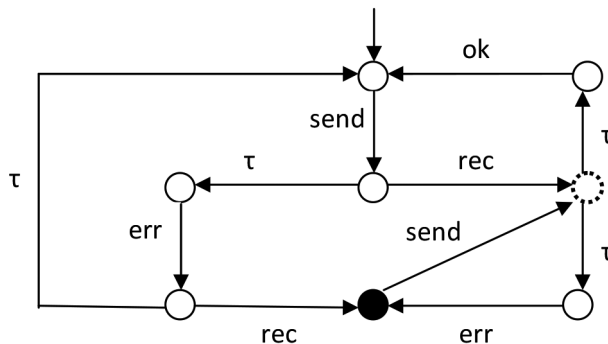
process Receiver[ rec, dat, ack ]( sn : seq_nr ) :=
(* receive message from channel *)
dat ? sr : seq_nr;
( (* correct seq. nr. -> deliver and ack *)
[ sn = sr ]-> rec; ack ! sr; Receiver[ rec, dat, ack ]( sn+1 )
[] (* incorrect seq. nr. -> acknowledge *)
[ sn /= sr ]-> ack ! sr; Receiver[ rec, dat, ack ]( sn )
)
endproc

process Channel[ min, mout ] :=
min ? sn : seq_nr; (* message enters the channel *)
( mout ! sn; Channel[ min, mout ](* message leaves the channel *)
[] (* message disappears in the channel
("i" generates a tau-transition) *)
); Channel[ min, mout ]
)
endproc

endproc

```

Aran tila-avaruuden generoija tuottaa yllä olevasta spesifikaatiosta tilasiirtymäjärjestelmän, jossa on 1623 tilaa ja 3718 siirtymää. Jotta tätä tilarajähäntä järjestelmää pystyisi analysoimaan, voidaan siitä tuottaa Aran tila-avaruuden kutistajalla alla oleva CFFD-ekvivalentti versio, jossa on enää 8 tilaa ja 11 siirtymää. Varsinaisessa protokollassa näkymättömiä tapahtumia vastaavilla tau-siirtymillä (τ) mallinnetaan CF-FD-semantiikassa protokollan ja sen ympäristön välisiä lukkiutumien kaltaisia estymiä (failure) ja silmukan muotoisia pillastumia (livelock).



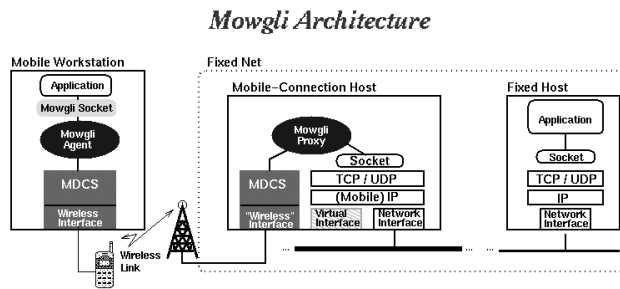
Tämä Ara-työkälystolla tuotettu tilasiirtymäjärjestelmä on jo niin pieni, että siitä on suhteellisen helppo verifioida vaihtuvan bitin protokollan toiminta ja todeta mm. se, että onnistuneesta viestinvälityksestä (siirtymäsykli send-rec- τ -ok) poikkeaminen johdtaa aina virheilmoitukseen (err) ja joko viestin katoamiseen (send- τ -err- τ) tai sen perille toimittamiseen (send-rec- τ -err, send- τ -err-rec). Jälkimmäisessä tapauksessa seuraava viesti katoaa, koska protokolla on edellisessä vaiheessa päätyntä tilasiirtymäjärjestelmässä tummennettuun tilaan, jossa suoritettavaa uuden viestin lähettämistä (katkoviivoitettuun tilaan johtava send) ei voi koskaan seurata kuittaus ko. viestin perille menosta (rec).

Valmari on jatkanut hajautettujen, sulautettujen, reaktiivisten ja rinnakkaisten järjestelmien teorian, spesifioinnin, verifiointin ja mallintarkastuksen tutkimista koko tutkijanuransa ajan. Hänen muita tutkimusteemojaan ovat olleet mm. pysähtymisongelman testaaminen ja tietorakenteisiin soveltuva informaatioteoria.

Liikkuva tietojenkäsittely

Tietoliikenneverkkojen, kannettavien tietokoneiden ja matkapuhelinten yleistäminen 1990-luvun alussa synnytti tarpeen ja mahdollisuuden kehittää ajasta ja paikasta – ”anytime, anywhere” – riippumattomia sovelluksia. Luonnollisin tekninen liikuteltava ratkaisu oli yhdistää kannettavaan tietokoneeseen matkapuhelin, jonka välityksellä pääsi käsiksi jossain muualla, langattoman yhteyden päässä sijaitsevaan sovellukseen. Ongelmia kuitenkin syntyi mm. senaikaisten langattomien verkkojen hitaudesta ja epäluotettavuudesta ja matkapuhelinten primitiivisyydestä.

Ensimmäinen laajempi liikkuvien ja langattomien sovellusten arkkitehtuureja Suomessa tutkinut ja kehittänyt tutkimushanke oli Helsingin yliopistossa vuonna 1993 käynnistetty Mowgli (Mobile office workstations using GSM links). Hankkeessa kehitetty Mowgli-tietoliikennearkkitehtuuri koostuu kolmesta pääkomponentista, liikkuvasta työasemasta (mobile workstation), kiinteästä isäntäsolmusta (fixed host) ja niiden välistä yhteyttä hallinnoivasta solmusta (mobile-connection host). Liikkuvan työaseman ja hallinnointisolmun välillä on langaton GSM-verkko ja hallinnointisolmun ja isäntäsolmun välillä puolestaan kiinteä (Internet-) verkko. Liikkuvasti käytettävä sovellus sijaitsee työasemassa, joka saa tarvitsemansa palvelut isäntäsolmulta ottamalla yhteyden niitä välittävään hallinnointisolmuun. Liikkuva työasema näkyy isäntäsolmulle hallinnointisolmuun sijoitettuna edustajana (Mowgli proxy), joka puolestaan kommunikoi työaseman suuntaan sinne sijoitetun vastinagentin (Mowgli agent) kanssa. Arkkitehtuurissa on lisäksi langattoman verkkoyhteyden tehokkuutta ja luotettavuutta parantava komponentti Mowgli Data Channel Service (MDCS), mm. tiedon tiivistämistä toteuttava Mowgli Generic Communication Service (MGCS) sekä mm. sähköpostissa tarvittavan datansiirron tarjoava Mowgli Data Transfer Service (MDTS).



Mowgli-arkkitehtuuri. Kuvasta puuttuvat yksinkertaisuuden vuoksi MDCS-komponenttien yhteyteen sijoittuvat MGCS- ja MDTS-palvelut.

Mowgli-hankkeen päätukijoita ja -organisoijia olivat Kimmo Raatikainen, Timo Alan-ko ja Markku Kojo. Mowgli-tutkimusryhmä oli osa laajempaa ja yhä toimivaa NODES-tutkimusryhmää, jonka muita tutkimusteemoja ovat olleet mm. yhteistoiminnalliset ja palveluperustaiset ekosysteemit ja arkkitehtuurit (Lea Kutvonen), tulevaisuuden internet (Jussi Kangasharju, Sasu Tarkoma), tietoturva (N. Asokan) sekä kaikkialla läsnä olevien, liikkuvien ja interaktiivisten sovellusten käyttöliittymät (Giulio Jacucci). NO-DES-ryhmä on osallistunut aktiivisesti myös kansainväliseen tietoliikennealueen standardointiin.

1980-luvulla VTT:ssä VOPS-protokollatutkimukseen osallistunut Jarmo Harju on 2000-luvulla keskittynyt Tampereen teknillisessä yliopistossa langattomien (ad hoc-) verkkojen suorituskykyyn ja toipumiseen. Muita hänen tutkimusaiheitaan ovat olleet mm. videokuvan langaton jakelu ja langaton yleislähetys (broadcasting).

Liikkuvan tietojenkäsittelyn vaatiman teknisen infrastruktuurin lisäksi Suomessa on tutkittu myös jokapäiväiseen hyötykäyttöön soveltuviin liikkuvien sovellusten tekni-isiä ratkaisuja ja käytettävyyttä (ubiquitous, pervasive computing) mm. Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston yhteisen HIIT-tutkimuslaitoksen Adaptive Computing -tutkimusryhmässä, jota johtavat Patrik Floréen ja Petteri Nurmi. Oulun yliopistossa on puolestaan Petri Pulli kehittänyt tekniikoita erityisesti ikäihmisille kehitettäville kannettaville turva- ja sairaanhoitopalveluille.

18. IHMISEN JA TEKNOLOGIAN VUOROVAIKUTUS (HUMAN-CENTERED COMPUTING)

Tietokoneiden, tietoteknisten järjestelmien ja ohjelmistojen yleistyminen arkikäyt-
töön käynnisti niiden käytettävyyden tieteellisen tutkimuksen 1980-luvun alkupuol-
lella. Alkuaikoina tutkimus keskittyi lähinnä ohjelmistojen käyttöliittymiin ja visuaali-
sointiin, minkä jälkeen siirryttiin tutkimaan käytettävyyttä yleisemmällä tasolla. Tä-
stä tutkimusalueesta käytettiin alkuaikoina kansainvälisessä tiedeyhteisössä nimitystä
”Human-Computer Interaction” (HCI), joka suomennettiin useimmiten suoraviivaisen
kömpelösti ”ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutukseksi”. Alueen tiedeyhteisön voidaan
katsoa syntyneen vuonna 1982, jolloin perustettiin ACM:n teemaryhmä *SIGCHI* (Spe-
cial Interest Group on Computer-Human Interaction). Tutkimusalueen ja teemaryh-
män nimissä pantiin siis ”ihminen” ja ”tietokone” jostain syystä eri järjestykseen.



Käyttöliittymien suunnittelun ja niiden käytettävyyden arvioinnin de facto -standardeja ovat tanskalaisen Jakob Nielsenin 1990-luvun alkupuolella julkaisemat viisi käytettävyyden yleistä kriteeriä (opittavuus / learnability, tehokkuus / efficiency, muistettavuus / memorability, virheiden vähyyks / errors, tyytyväisyys / satisfaction) ja niihin perustuvat kymmenen heuristiikkaa hyvän käyttöliittymän suunnittelulle: 1) käytä yksinkertaista ja luonnollista dialogia, 2) käytä käyttäjien omaa kieltä, 3) minimoi käyttäjän muistikuorma, 4) tee käyttöliittymästä yhdenmukainen, 5) anna käyttäjälle palautetta toiminnoista, 6) tarjoa käyttäjälle selkeä tapa poistua järjestelmän eri tiloilta, 7) tarjoa käyttäjälle mahdollisuus käyttää oikopolkuja, 8) vältä virhetilanteita, 9) anna virhetilanteista selkeä virheilmoitus, 10) tarjoa selkeää apua ja dokumentaatiota. Nielsenin lista perustuu toisen käytettävyydgurun, Ben Shneidermanin, jo 1980-luvulla määrittelemään kahdeksaan käyttöliittymäsuunnittelun ”kultaiseen sääntöön”.

2000-luvulla alueen tutkimus on laajentunut edelleen tarkastelemaan kokonaisvaltaisesti niitä periaatteita ja tapoja, joilla yksittäiset käyttäjät ja laajemmat käyttäjäryhmät ottavat tietoteknisiä tuotteita ja palveluja osaksi normaalia elämäänsä. Käyttöliittymien ja käytettävyyden lisäksi keskeiseksi tutkimuskohteeksi on noussut käyttäjäkokemus (user experience), jolla tarkoitetaan niitä elämyksiä ja tunteita, joita käyttäjä kokee käyttäessään jotain palvelua, järjestelmää tai tuotetta, kuten esimerkiksi tietokonepelejä. Tutkimusalueesta onkin ryhdytty käyttämään tiedeyhteisössä perinteisen HCI:n ohella myös nimitystä ”Human-Technology Interaction” (HTI), suomeksi joko ”ihmisen ja teknologian vuorovaikutus” tai ”ihmisen ja tekniikan vuorovaikutus”.

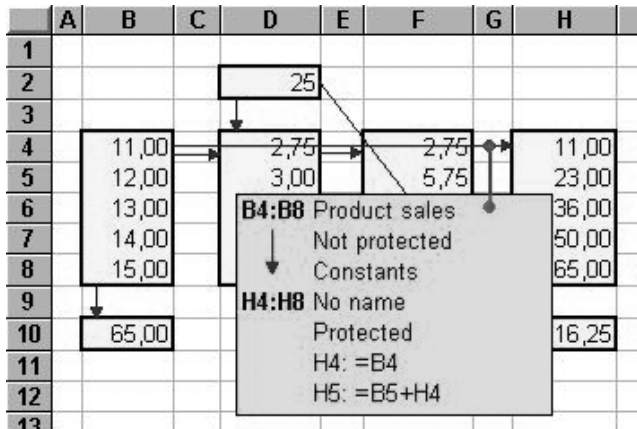
Tutkimusalueena ihmisen ja teknologian vuorovaikutus on varsin monitieteistä: siinä hyödynnetään paitsi tietojenkäsittelytiedettä myös mm. psykologiaa, sosiologiaa, kognitiotiedettä sekä graafista suunnittelua ja teollista muotoilua. Alan tutkimusryhmissä onkin yleensä useamman tieteenalan edustajia. Toinen alueen erityispiirre on tutkimus- ja kehitystyössä vaadittava erikoistekniikka: suuria tunteita ja elämyksiä analysoivat teknologiat eivät useimmiten ole perustietokoneissa pyöriviä standardisovelluksia vaan vaativat erityislaatuista, usein vain tietyn tyyppiseen käyttöön soveltuvia laitteita. Lisäksi käytettävyyden tutkiminen vaatii tällaisilla erikoislaitteistoilla ja -ohjelmistoilla varustettuja laboratorioita.

Visualisointi

Alueen tieteellinen tutkimustoiminta alkoi Suomessakin käyttöliittymistä. Ilmeisesti ensimmäinen HCI-alueen kansainvälinen julkaisu oli Ralph-Johan Backin ja Pentti Hietalan *A Simple User Interface for Interactive Program Verification*, joka esitettiin vuonna 1984 järjestetyssä ensimmäisessä IFIPin ”Human-Computer Interaction”-konferenssissa (INTERACT 84). Artikkelissa kuvattiin Tampereen yliopistossa kehitettyä ohjelmien verifiointijärjestelmän I3V (Interactive system for Incremental and Iterative Verification of programs) käyttöliittymää. Järjestelmä tuki ohjelmien interaktiivista verifointia esittämällä samassa, jatkuvasti päivittyvässä näkymässä sekä verifioitavana olevan ohjelman että sitä koskevat todistukset ja lemmat omissa ali-ikkunoissaan. Koska graafisten käyttöliittymien aika oli vielä edessä päin, I3V-järjestelmän käyttöliittymä oli puhtaasti tekstuaalinen.

Ohjelmien visualisointia harrastettiin muuallakin. Jorma Sajaniemi käynnisti Joensuun yliopistossa 1980-luvun lopulla tutkimustyön, jossa kehitettiin apuvälineitä mutkikkaiden taulukkolaskinohjelmien ymmärtämiseen. Apuvälineet (S2 ja S3) piirsivät automaattisesti taulukkolaskimen päälle eri väreillä korostettuja visualisointeja, jotka kuvaavat mm. solujen keskinäisiä viittaussuhteita ja samankaltaisuutta. Sajaniemen ryhmä laajensi tutkimustaan myöhemmin ”normaaleihin” ohjelmiin mm. kehittämällä ohjelmointikielestä riippumattoman VinEd-editorin, jolla käyttäjä pystyy luomaan ohjelmakoodiin erilaisia abstrahoituja näkymiä, kuten esimerkiksi funktioiden kutsusuhteita ja tunnuslistoja.

Joensuun yliopistossa kehitettyjä ohjelmien visualisointivälineitä käytettiin, ei niinkään käyttöliittymien vaan ohjelmoinnin psykologisten ilmiöiden tutkimiseen. Alueen keskeisenä tutkimushypoteesina on, että monipuoliset korkean tason näkymät ohjelmakoodiin auttavat ohjelmoijaa luomaan ohjelmasta mentaalisen mallin, jota hän voi hyödyntää mm. ylläpidossa ja virheenjäljityksessä. Ohjelmoinnin psykologian tutkimus vaatii monipuolista asiantuntemusta, jota Sajaniemen tutkimusryhmään toi kognitiotieteen professori Pertti Saariluoma. Ryhmän tutkimusympäristönä Joensuun / Itä-Suomen yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksella on ollut ohjelmistojen käytettävyydesteihin sekä ohjelmistojen käytettävyyden ja ohjelmoinnin psykologian tutkimiseen perustettu kognitiolaboratorio CogLab.



S3-visualisointi. Visualisointi perustuu samankaltaisten solujen muodostamiin loogisiin alueisiin. S3 korostaa tällaiset alueet keltaisella värillä ja niitä yhdistävillä nuolilla. Lisäksi epäloogiset kohdat korostetaan oranssilla. Kustakin nuolesta S3 antaa pyydettyä lisätietona sen yhdistämien alueiden solujen yleiset muodot.

Samantapaisia monipuolisia näkymiä ohjelmakoodiin kehittivät 1990-luvulla myös Jyväskylän yliopistossa Airi Salminen, Jukka Paakki ja Jussi Koskinen. Tutkimusryhmä kehitti C-kielisten ohjelmien ymmärtämisen ja ylläpidon tueksi HyperSoft-nimisen työkalun, joka luo automaattisesti hypertextimuotoisia näkymiä ohjelmakoodiin. Niiden avulla ohjelmoija voi tavanomaisia hypertextin ominaisuuksia käyttämällä mm. tarkastella ohjelmassa esiintyvien funktioiden kutsuketjuja ja seurata datan ja kontrollin kulkua ns. staattisina ohjelmaviipaleina (slice). Näkymät tarjoavat ohjelman ylläpi-

täjille apua mm. virheenjäljitykseen ja koodiin tehtävien muutosten aiheuttamien epäsuorien sivuvaikutusten analysoimiseen.

Ohjelmien visualisoinnin kategoriaan voidaan lukea myös algoritmien animointivälineet, joiden avulla voidaan havainnollistaa jonkin tietyn algoritmin toimintalogiikkaa. Ensimmäisenä käyttökelpoisena algoritmien animointijärjestelmänä pidetään yleisesti Brownin yliopistossa kehitettyä BALSAA (Brown University Algorithm Simulator and Animator), joka julkaistiin vuonna 1984. BALSAA oli tarkoitettu lähinnä opetuskäyttöön, ja sillä tuotettiin animaatioita mm. C-kielellä toteutetuille lajittelu- ja verkkoalgoritmeille.

Kuten yleisemminkin ohjelmien visualisoinnin, myös algoritmianimaattorien tutkiminen ja kehittäminen alkoi Suomessa 1980-luvun loppupuolella. Kotimaisen tutkimuksen pioneerityötä tehtiin Åbo Akademiassa (Ulla Solin), Tampereen yliopistossa (Esa Helttula, Aulikki Hyrskykari, Kari-Jouko Rähkä) ja Helsingin yliopistossa (Erkki Sutinen, Jorma Tarhio). Niiden tutkimusprojekteissa kehitettiin mm. algoritmiaanimaattorit ALADDIN (TaY), Eliot (HY) ja Jeliot (HY). 1990-luvun lopulla tutkimustyö käynnistyi myös Teknillisessä korkeakoulussa, jossa Ari Korhonen ja Lauri Malmi kehittivät tietorakenteiden ja algoritmien animointi- ja simulointityökalut TRAKLA ja TRAKLA2.

Käyttöliittymät

Ihmisen ja teknologian vuorovaikutusta on Suomessa tutkittu menestyksellisimmin Tampereen yliopistossa, jonne perustettiin vuonna 1997 aihepiiriin erikoistunut TAUCHI-tutkimusyksikkö (Tampere Unit for Computer-Human Interaction). TAUCHI:ssa tutkitaan monipuolisesti erilaisia vuorovaikutustapoja ja käyttöliittymätekniikoita, käytettävyyttä ja käyttäjäkokemusta. Yksikön tutkimus on monitieteistä; esimerkiksi tunteita ja sosiaalisuutta tutkivan ryhmän johtaja Veikko Surakka on koulutukseltaan psykologi. TAUCHI:ssa on myös kehitetty useita uusiin vuorovaikutustapoihin tarvittavia erikoislaitteita.

Tampereen yliopistossa ryhdyttiin tutkimaan käyttöliittymiä jo kauan ennen TAUCHI-tutkimusyksikön perustamista. Aihepiirin ensimmäinen varsinainen tutkimushanke oli Suomen Akatemian rahoittama ”Algoritmien animointi”, joka käynnistyi vuonna 1986. Tutkimusaiheen valintaan vaikutti paitsi sen kansainvälinen ajankohtaisuus, myös hankkeen johtajan Kari-Jouko Rähkän ohjelmointitekkinen tausta Helsingin yliopistossa. Taustalla oli lisäksi halu siirtyä tutkimaan lähempänä tietojärjestelmien käyttäjiä olevia aiheita. Hankkeen konkreettisena lopputuloksena syntyi edellä mainittu algoritmianimaattori ALADDIN.

Tampereella siirryttiin animoinnin jälkeen tutkimaan multimodaalisuuden hyödyntämistä käyttöliittymissä. Multimodaalisuudella tarkoitetaan yleisesti informaation erilaisia esitysmuotoja, ja käyttöliittymissä sillä tarkoitetaan ihmisen ja teknologian välistä vuorovaikutusta (sekä syötteinä että palautteina) paitsi tekstin myös kuvien, värien, puheen, äänien, katseen, kuulon, eleiden, liikkeiden ja tuntemusten avulla. Multimodaalisissa käyttöliittymissä hyödynnetään siis monipuolisesti ihmisen eri aisteja, jolloin ne vaativat kullekin aistille kehitettyjä tunnistuslaitteita. Multimodaalisuuden historiallinen merkkipaalu on Richard Boltin vuonna 1980 julkaisema ”Put-That-There”,

jossa järjestelmän käyttäjä pystyy siirtämään näytöllä olevaa kappaletta osoittamalla sitä kädellään ja sanomalla ”put that” ja sen jälkeen osoittamalla kohdepaikkaa ja kommentamalla ”there”.

Multimodaalisuuden tutkimuksen aloittivat Tampereen yliopistossa Roope Raisamo ja Kari-Jouko Rähä kaksikäätisyydestä ja piirto-ohjelmien laajentamisesta erityisellä ”tasauspuikolla”, jolla käyttäjä pystyy sijoittamaan näytöllä olevia kohteita samalle tasolle käyttäen yhtä aikaa molempia käsiään. Raisamo yleisti tasauspuikko-metaforaa kehittämällä myös muunlaisia kaksikäätisiä piirrostoimintoja siirtyen sen jälkeen kosketusta hyödyntäviin käyttöliittymiin.

Puhekäyttöliittymiä on TAUCHI:ssa tutkinut erityisesti Markku Turunen, joka keskittyi aluksi käyttöliittymien teknisiin vaatimuksiin ja toteutusperiaatteisiin. Turusen kehittämää puhe-sovellusten suunnittelua ja toteuttamista tukevaa Jaspis-arkkitehtuuria on käytetty mm. puheella ohjattavien sähköpostijärjestelmien (Postimies, AthosMail), joukkoliikenteen aikataulupalveluiden (Bussimies, Interact, Pysäkkimies) ja toimiston kulunvalvonta- ja opastusjärjestelmän (Ovimies) kehittämiseen. Niistä Pysäkkimies oli 2000-luvun alkupuolella Tampereen kaupungin liikennelaitoksen koe-käytössä. Myöhemmin puhe-käyttöliittymiä on TAUCHI:ssa kehitetty erityisesti näkövammaisille käyttäjille.

Raisamon ja Turusen johtamat ryhmät ovat sittemmin tutkineet mm. haptisia ja eleisiin perustuvia käyttöliittymiä. Haptiikka perustuu tuntoaistin hyödyntämiseen käyttöliittymässä, kuten vaikkapa tarinana peliohjaimessa. TAUCHI:ssa tutkitaan värinäpalautteen eri muotoja ja haptisten käyttöliittymien soveltumista mm. autojen näyttöihin (turvallisuus-, navigointi-, kommunikaatio- ja viihdepalvelut), 3D-näyttöihin sekä urheilu- ja liikuntasovelluksiin (harjoitteluohjeet, jalankulkijan opastus kohteeseen). Raisamon johtama multimodaalista vuorovaikutusta tutkiva ryhmä on nykyisin TAUCHIn suurin tutkimusryhmä, jolla on käynnissä useita yhteishankkeita mm. auto- ja energiateollisuuden kanssa.

Ulkoisesti tunnistettavien (tarkoituksellisten) fyysisten liikkeiden lisäksi TAUCHI:ssa on tutkittu (tahattomien) tunnetilojen hyödyntämistä käyttöliittymissä. Veikko Surakan johtaman ryhmän tutkimuskohteena on selvittää, millaisia tunnetiloja tietoteknisten välineiden käyttö herättää ihmisissä, ja hyödyntää tätä tietämystä inhimillisempien käyttöliittymien kehittämisessä. Ryhmä on mm. tutkinut syntetisoidun puheen eri muotojen (ystävällinen vs. aggressiivinen) vaikutusta sydämen sykkeeseen (rauhallinen vs. tiheä) ja kehittänyt kasvonliikkeitä (silmäniskuja, otsanrypistyksiä, suunmuikistuksia) tunnistavia käyttöliittymälaitteita. Tämän alueen tutkimuksen suurena visiona on kehittää sellaisia käyttöliittymiä, jotka eivät ärsytä vaan pikemminkin miellyttävät käyttäjiänsä.

Yksi TAUCHIn tärkeimmistä tutkimusalueista on katseenseuranta käyttöliittymien syöteomalliteettina. Näkö on ihmiselle tärkeä aisti niin keskinäisessä vuorovaikutuksessa kuin informaation keräämisessä, ja katseen suunnasta voi päätellä, mihin katsojan huomio kulloinkin kohdistuu. Katse on myös luonteeltaan ihmisen toimintaa ennakkoivaa: kohdetta (kuten Bridgestone e6 -golfpalloa) katsotaan ennen kuin siihen kohdistetaan toimintaa (kalautetaan Odyssey White Ice D.A.R.T. -putterilla reikään). Katse on siis mitä luontevin osoitusväline, jolla voi korvata tietojärjestelmien käyttöliittymis-

sä usein kovin kömpelöltä tuntuvan hiiren. Erityisen tärkeitä katsekäyttöliittymät ovat motorisesti vammautuneille ihmisille, jotka eivät mahdollisesti kykene liikkumaan eivätkä puhumaan lainkaan.

Katseen hyödyntäminen käyttöliittymissä ei ole kuitenkaan täysin ongelmatonta. Ensinnäkin se on epätarkkaa: pelkän katseen suunnan perusteella ei voi varmuudella päätellä, mihin nimenomaiseen kohteeseen (näytön pikseliin) käyttäjä on huomionsa kiinnittänyt. Lisäksi katsetta käytetään käyttöliittymissä kahteen tarkoitukseen, sekä komentojen antamiseen että informaation havainnointiin, jolloin järjestelmän on vaikea pelkästä katseesta päätellä, onko kyseessä syöte- vai palautetoiminto, ja se saattaa väärän tulkinnan seurauksena valita katseen kohteeksi (toiminnon syötteen) lähes koko näytön. Tämä ns. Midaksen kosketus -ongelma voidaan ratkaista helpoimmin käyttämällä jotakin muuta modaliteettia, esimerkiksi kädellä toimivaa painiketta, syötteen valintakytkimenä (olettaen, että käyttäjä ei ole täysin katsekontaktin varassa). Katsetta hyödyntävien käyttöliittymien ongelma on myös se, että ne vaativat erityisiä teknisiä apuvälineitä silmänliikkeiden seurantaan.

Tampereen yliopistossa katsekäyttöliittymien tutkimus voidaan katsoa aloitetuksi vuonna 1996, jolloin sinne hankittiin ensimmäinen katseenseurantalaite, ASL 425OR+. Se oli kameralla varustettu siirrettävä laite, joka sijoitettiin näytön alapuolelle seuraamaan käyttäjän katsetta. TAUCHIin on myöhemmin hankittu pienempiä pöydälle asetettavia seurantalaitteita samoin kuin päähänpuettavia laitteita ja varsinaiseen käyttöliittymän näyttöön asennettavia välineitä. Katseenseurantajärjestelmä pitää kalibroida jokaiselle käyttäjälle erikseen, ja yleensä myös ennen jokaista käyttöistuntoa.

Tutkimustyön konkreettisenä tuloksena on syntynyt mm. Aulikki Hyrskykarin kehittämä tekstinlukusovellus iDict, joka seuraa vieraskielistä tekstiä lukevan käyttäjän katsetta ja lukemispolkua pyrkien havaitsemaan tilanteita, joissa katse pysähtyy tai rupeaa harhailemaan syrjäpoluille. Tällöin iDict päättelee lukijan tarvitsevan apua ja tuo näytölle ongelmallisen tekstinkohdan käännöksen. Mikäli se ei käyttäjälle riitä tekstin ymmärtämiseen, hänelle tarjotaan lisäavuksi relevantteja otteita sovellukseen upoteuista sanakirjoista. iDict-sovelluksen käyttökokeet ovat paljastaneet, että katseen tehokas käyttäminen syöttövälineenä vaatii käyttäjiltä erityistä harjaantumista ja että he siitä johtuen käyttävät yleensä mieluummin hiirtä kuin katsetta sovelluksen ohjausvälineenä. Toisaalta iDictin kokeneemmat käyttäjät ovat todenneet sen toimivan parhaimmillaan ”kuin ajatus”.

Seuraava edistysaskel lukemisen jälkeen on luonnollisesti kirjoittaminen. Katseella ohjattavaa tekstin tuottamista on TAUCHIissa tutkinut mm. Päivi Majaranta. Katseella ohjattavan kirjoittamisen periaate on yksinkertainen: tekstinkäsittelyohjelma ja siihen yhdistetty katseenseurantalaite seuraavat käyttäjän katsetta ja tulkitsevat katseen suunnan ja pysähtymisen perusteella kirjoitettavaksi halutun merkin näytöllä olevasta näppäimistön kuvasta. Ongelmaksi muodostuu kuitenkin päätellä, milloin käyttäjä todella haluaa kirjoittaa tietyn merkin ja milloin hän vain selailee virtuaalista näppäimistöä. Majarannan tutkimustyössä kuvataan menetelmiä katseella ohjattavan kirjoittamisen tehostamiseen ja osoitetaan, ettei se sopivia menetelmiä ja välineitä käyttämällä ole niin hidasta ja vaivalloista kuin aiemmin on luultu. Tutkimuksessa käytettävät menetelmät on tarkoitettu erityisesti motorisesti vammaisille käyttäjille, joille silmien liike on pääasiallinen tai ainoa kommunikointitapa.



World of Warcraftin katsekäyttöliittymä. TAUCHIn unimodaalinen ratkaisu Midaksen kosketus -ongelmaan: nopea vilkaisu ruudun ulkopuolelle (ylös, alas tai sivuun) vaihtaa pelin ohjausmoodia, minkä seurauksena katse ryhtyy joko liikuttamaan pelihahmoa, heiluttamaan asetta tai ohjaamaan hiiren kursoria.

Paikallisen läheisyyden ansiosta TAUCHI tekee yhteistyötä Tampereen teknillisen yliopiston ihmiskeskeisen teknologian yksikön (IHTE) kanssa. TAUCHIissa tutkittavien teemojen lisäksi IHTE on keskittynyt monimuotoiseen käyttäjäkokemukseen osoittaen mm., että pitkäkestoinen positiivinen käyttäjäkokemus ja tuotteen ”puoleensavettävyys” vaikuttavat suuresti siihen, kuinka uskollisina käyttäjät pysyvät tuotteelle ja kuinka aktiivisesti he suosittelevat sitä ystävilleen. Toisena ajankohtaisena tutkimuskohteena ovat avoimet yhteisöt, mukaan lukien perheet, ja niiden käyttämät modernit kommunikointi- ja yhteistyövälineet. IHTE-tutkimusyksikköä johtaa Kaisa Väänänen-Vainio-Mattila.

Yhteistoiminnallisten laitteiden ja sovellusten käytettävyyttä ja käyttäjäkokemusta on tutkinut myös Antti Oulasvirta, joka on tutkimustyössään keskittynyt erityisesti kannettaviin, käyttäjän mukana kulkeviin sovelluksiin, kuten sosiaalisen median työkaluihin. Helsingin yliopistossa vuonna 2006 kognitiotieteestä väitellyt Oulasvirta on tällä hetkellä näkyvin suomalainen tutkija ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen kansainvälisessä tiedeyhteisössä. Vuosina 2012–2014 hän johti Saarbrückenissä Saksassa sijaitsevan Max-Planck-tutkimuslaitoksen (Max-Planck-Institut für Informatik) Human-Computer Interaction –tutkimusryhmää, minkä jälkeen hän siirtyi Aalto-yliopistoon.

Ennen siirtymistään Max-Planckiin Oulasvirta työskenteli Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston yhteisessä HIIT-tutkimuslaitoksessa. Oulasvirran ohella merkittävää



alueen tutkimusta on HIITissä tehnyt Giulio Jacucci (Helsingin yliopisto), jonka johdama Ubiquitous Interaction -tutkimusryhmä on tutkinut erityisesti mukana kannettavien ja ”kaikkiällä läsnäolevien” laitteiden käyttöliittymiä ja näyttöjä kehittäen niiden innovatiivisia prototyyppejä. Niistä suurinta kiinnostusta on herättänyt vuonna 2008 Helsingin keskustaan Lasipalatsiin asennettu julkinen kosketusnäyttö CityWall, jolla ohikulkijat saattoivat tarkastella ja siirrellä Helsingin luontoa ja ilmiöitä kuvaavia otoksia. Näytölle voi myös kirjoittaa ja piirtää omia luomuksia. Vuorovaikutteisuuden lisäksi ryhmä on viime aikoina tutkinut energian kulutusta seuraavia ja vähentäviä sovelluksia ja järjestelmiä.

Historiallisesti kiinnostava merkkipaalu suomalaisessa ihmisen ja tekniikan saumattomassa vuorovaikutuksessa on Teknillisessä korkeakoulussa Tapio Takalan johdolla 1990-luvun lopulla kehitetty virtuaaliorkesteri. Se koostui neljästä virtuaalimusiikantista (rumpali Igor, huilisti Linda, kitaristi Luigi, basisti Melvin), joita käyttäjä pystyi kapellimestarin tavoin ohjaamaan tahtipuikon avulla virtuaalisessa konserttisalissa. Lisäksi hänen piti pukea päälleen erityiset kapellimestarin työvaatteet, datapuku ja sensoroidut hansikkaat. Virtuaaliorkesteri herätti mielenkiintoa myös akateemisten piirien ulkopuolella; sitä esiteltiin mm. Jean Sibeliuksen -kapellimestarikilpailussa ja tiedekeskus Heurekaassa. Virtuaaliakustiikan ja -soittimien kehittämiseen osallistui myös puhesynteessin suomalainen uranuurtaja Matti Karjalainen.

Tätä 1990-luvulla alkanutta tutkimustyötä on sittemmin jatkettu Aalto-yliopiston virtuaaliakustiikan tutkimusryhmässä, jota johtavat jo virtuaaliorkesteria kehittämässä olleet Tapio Lokki ja Lauri Savioja. Tutkimustyön tuloksena on mm. kehitetty kansainvälistä kiinnostusta herättänyt 34 kaiuttimesta koostuva virtuaalinen sinfoniaorkesteri, jota voidaan käyttää konserttisalien akustiikan analysointiin ja vertailuun.

Aalto-yliopiston mediatekniikan laitoksessa toimii virtuaaliakustiikan tutkimusryhmän lisäksi pelien, grafiikan ja vuorovaikutuksen tutkimusryhmä, jonka erikoisaloihin kuuluvat tiedon visualisointi, animointi ja käyttöliittymäsuunnittelu erityisesti tietokonepeleihin. Ryhmän päättökä Perttu Hämäläinen on erikoistunut fyysisten toimintapelien kehollisiin käyttöliittymiin, joissa pelaaja hallitsee konenäöllä toteutettuna itseään esittävää hahmoa, avatarta, oman ruumiinsa liikkeillä ilman minkäänlaisia ohjaimia. Hämäläisen tutkimusryhmä on kehittänyt innovatiivisia kehollisia käyttöliittymiä mm. varjonyrkkelyyn, kung fuhun, akrobatiaan, trampoliinihyppelyyn ja ampu-mahiihtoon.

Suomeen on 1990-luvulta lähtien perustettu käytettävyyyslaboratorioita paitsi tutkimuksen tueksi, myös käytettävyydestien tekemiseen ja käytettävyysskoulutukseen. Laboratorioita on yliopistojen (mm. Teknillinen korkeakoulu / Aalto-yliopisto, Tampereen yliopisto, Oulun yliopisto) lisäksi useissa ammattikorkeakouluissa (mm. Laurea, Jyväskylän ammattikorkeakoulu) ja Teknologian tutkimuskeskus VTT:ssä. Lisäksi muutama yritys on erikoistunut käytettävyyden arviointiin ja testaamiseen.

Yliopistojen lisäksi korkeatasoista käyttöliittymätutkimusta on tehty myös Nokiasa ja sen tutkimuskeskuksessa, jonka tutkijat ovat julkaisseet tuloksiaan aktiivisesti tie-teellisillä foorumeilla. Kuten yrityksen profiilista voi arvata, on Nokian tutkimustoiminta tälläkin alueella keskittynyt liikkuvien sovellusten, matkapuhelinten ja muiden kannettavien laitteiden käyttöliittymiin.

Ihmisen ja koneen yhteistyö

Suomessa on tutkittu ihmisen ja teknologian vuorovaikutusta myös laaja-alaisemmasta, ei-teknisestä näkökulmasta. Tämän tutkimussuunnan kotimainen pioneeri on Kari Kuutti Oulun yliopistosta. Hän aloitti tutkimustyönsä 1980-luvulla asiantuntijajärjestelmistä siirtyen vuosikymmenen lopulla tutkimaan tietokoneavusteisia työn muotoja edeten niistä oppiviin organisaatioihin, käytettävyyteen ja käyttöliittymäsuunnitteluun. Kuuttiin tutkimustyö on kokonaisvaltaista ja varsin käsitteellistä: hän on tutkinut mm. sellaisten käsitteiden kuin ”työ” (work), ”käyttäjä” (user) ja ”käyttöliittymä” (interface) syvintä olemusta ja niiden roolia yleisessä hyöty- tai hupikäytössä olevien tietojärjestelmien kehittämisessä.



Kari-Jouko Räihä, syntynyt 15.1.1951 Helsingissä.

Ylioppilas 1969 (Alppilan yhteislyseo). FK 1974, FL 1977, FT 1982 (Helsingin yliopisto).

Assistentti 1973–74 ja 1981–82 (Helsingin yliopisto), tutkimusapulainen 1975–78 ja tutkimusassistentti 1979–80 (Suomen Akatemia), yliassistentti 1982–84 ja apulaisprofessori 1984–85 (Helsingin yliopisto), tietojenkäsittelyopin professori 1985– (Tampereen yliopisto). Vieraileva tutkija 1980–81 (University of California at Berkeley), vieraileva professori 1984–85 (Cornell University), vieraileva tutkija 1989–90 (University of Oregon), vieraileva tutkija 2009–10 (University of Canterbury, Christchurch).

Tietojenkäsittelytieteen Seuran varapuheenjohtaja 1987 ja puheenjohtaja 1988–89. Suomen Akatemian luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan jäsen 1999–2003. IFIPin teknisen komitean TC 13 (Human-Computer Interaction) jäsen 2005–. Tampereen yliopiston taloudellis-hallinnollisen tiedekunnan dekaani 1998–99, Tampereen yliopiston vararehtori 1999–2004, Tampereen yliopiston informaatiotieteiden yksikön johtaja 2011–2013.

Distinguished Member, ACM 2011. Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 2003.

Kari-Jouko Räihä teki väitöskirjansa attribuuttikieliopeista ja metakääntäjistä siirtyen sen jälkeen tietokantatutkimukseen. Räihän tieteellisen tutkimustoiminnan pääalueeksi on kuitenkin noussut vuorovaikutteinen teknologia, jossa hänen pääteemanaan on ollut ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutus ja erityisesti katseenseurantaan perustuvat käyttöliittymät. Räihä on yksi tämän tutkimusalueen suomalaisista uranuurtajista.

Kari harrastaa penkkiurheilua, mökkeilyä, kotikokkaamista ja skruuvia, jossa hän onkin lähes lyömätön taituri. Hän tietää lähes kaiken melkein kaikesta ja on aina – pieni pilke silmäkulmassa – valmiina auttamaan kaveria kaikissa tämän kohtaamisissa vaikeuksissa. Karin suurin ylpeydenaihe (ja kollegoiden suurin kateudenaihe) on pääseminen Apulehden numeroon 4/2003: yksi Apuristikon vihjeistä oli nimittäin ”PROF. KARI-JOUKO” ja pystysuoriin ruutuihin muodostuva ratkaisu tietenkin ”RÄIHÄ”. Taisi olla ratkeamaton ristikko mökinmummoille.

19. TIETOKONEARKKITEHTUURIT (COMPUTER SYSTEMS ORGANIZATION)

Varmaankin tunnetuin tietotekniikan lainalaisuus on ns. *Mooren laki* (Moore's law), jonka mukaan transistorien lukumäärä mikropiireissä kaksinkertaistuu noin kahden vuoden välein. Suuri yleisö tulkitsee lakia tapojensa mukaan virheellisesti siten, että se tarkoittaisi samaa kuin tietokoneiden laskentatehon kaksinkertaistuminen joka toinen vuosi. Koko ”laista” on muitakin yleisiä virhetulkintoja, kuten se, että kaksinkertaistumisväli olisikin ainoastaan 18 kuukautta. Itse asiassa ”lain” alkuperäinen esittäjä Gordon E. Moore ennusti vuonna 1965 mikropiireillä olevien transistorien lukumäärän kaksinkertaistuvan noin vuoden välein ainakin vuoteen 1975 saakka, jolloin hän muutti vaaditun ajan kahdeksi vuodeksi. Olipa Mooren laki nyt tarkkaan ottaen mikä tahansa, se on kestänyt ajan hammasta yllättävän hyvin: ennuste on pitänyt suurin piirtein paikkansa näihin päiviin saakka, joskin uusimman trendikäyrän mukaan vuoden 2013 jälkeen transistorien kaksinkertaistumisjakso näyttää jälleen pitenevän, nyt kolmeen vuoteen.

Mooren lain ohella toinen tietokoneiden ja niissä suoritettavien ohjelmien tehostamista eteenpäin vievä voima on *rinnakkaislaskenta* (parallel computing), jossa tietojenkäsittelyä suoritetaan yhtäaikaaisesti useammassa prosessorissa. Rinnakkaislaskentaan tarvitaan siis erityinen rinnakaistietokone, jota ohjelmoidaan jollakin rinnakkaisuutta tukevalla ohjelmointikielellä. Tunnetuimpia rinnakaistietokoneita ovat ns. supertietokoneet, joiden välillä käydään kiivasta kilpailua laskentatehon maailmanmestaruudesta. Ensimmäinen historiallisesti merkittävä rinnakaistietokone oli Burroughsin vuonna 1971 rakentama ILLIAC IV, jonka laskentateho 250 megaFLOPS (250 miljoonaa liukulukulaskentaoperaatiota sekunnissa) säilyi ennätyksenä vuoteen 1981 saakka, jolloin kehään astui dopattu Cray-1. Vuonna 2014 supertietokoneiden maailmanmestari on kiinalainen Tianhe-2, jonka laskentateho on mukavat 33,86 petaFLOPS ($33,86 \times 10^{15}$ liukulukuoperaatiota sekunnissa).

Tietokoneiden arkkitehtuureille on kehitetty lukuisia luokitteluja ja malleja. Tunnetuimmat peräkkäislaskennan arkkitehtuurit ovat von Neumann -tietokonetta vastaavat RAM (random-access machine) ja SISD (single instruction, single data stream) ja tunnetuimmat rinnakkaiset arkkitehtuurit puolestaan PRAM (parallel random-access machine), SIMD (single instruction, multiple data streams), MISD (multiple instructions, single data stream), MIMD (multiple instructions, multiple data streams), SPMD (single program, multiple data) ja MPMD (multiple programs, multiple data). Esimerkiksi tavanomaiset PC:t perustuvat SISD-arkkitehtuuriin ja kaikki nopeimmat supertietokoneet puolestaan MIMD-arkkitehtuuriin.

Rinnakkaislaskenta

Suomessa tutkijat eivät ole juurikaan innostuneet tietokonearkkitehtuureista. Tutkimusalue on otettu tosissaan ainoastaan Turussa, jossa sekä Turun yliopistossa että Åbo Akademiassa on tutkittu ja kehitetty tietokoneiden ja niillä suoritettavan laskennan rinnakkaisia malleja ja arkkitehtuureja.

Åbo Akademiassa on myös rakennettu kaksi rinnakaistietokonetta, Hathi-1 ja Hathi-2. Niistä 16 prosessorista koostunut Hathi-1 toimi lähinnä harjoittelualustana ja

prototyypinä vuosina 1987-1991 Tekesin rahoittamissa ja Ralph Backin ja Mats Asp­näsin johtamissa projekteissa kehitetylle Hathi-2:lle, joka perustui Inmosin erityisesti rinnakkaislaskentaa varten kehittämään transputer-mikroprosessoriin. VTT:n Oulun yksikkö vastasi Hathi-2:n laitteiston suunnittelusta ja toteuttamisesta ja Åbo Akademi puolestaan sen ohjelmistoratkaisuista. Hathi-2 oli käytössä Åbo Akademiassa vuodesta 1988 vuoteen 1994, ja sen suurin ulkopuolinen käyttäjäryhmä olivat venäläiset avaruus- ja ydinvoimatutkijat.

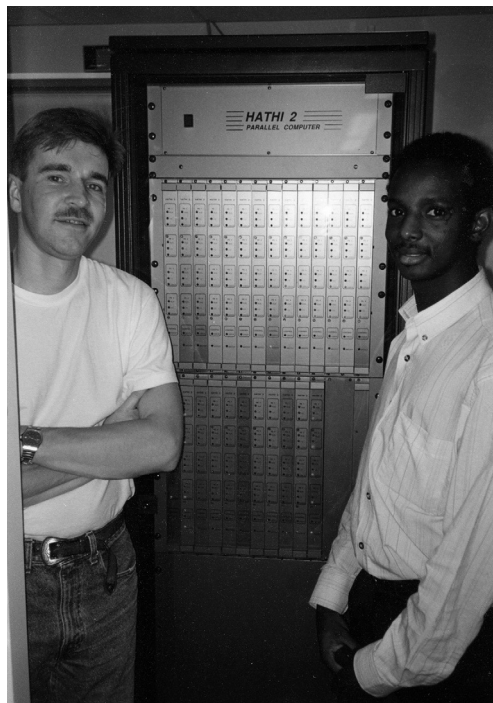
Hathi-2 koostui sadasta 32-bittisestä IMS T800 -transpuutterista, 25:stä 16-bittisestä IMS T212 -transpuutterista ja 25:stä IMS C004 -kytkimestä, jotka oli koottu 25 identtiselle piirilevylle. Järjestelmässä oli lisäksi Inmosin B007-grafiikkapiiri ja 20-megabittinen B005-kovalevy. Hathi-2 oli arkkitehtuuriltaan löyhästi kytketty MIMD, joka mahdollisti järjestelmän jakamisen usealle yhtäaikaiselle käyttäjälle alijärjestelmiksi. Käyttäjille Hathi-2 oli taustakone, jota käytettiin jonkin järjestelmään kytketyn isäntäkoneen kautta (Sun-3, IBM PC, Apple Macintosh). Hathi-2:n laskentateho oli 150 megaFLOPS, joten se paini supertietokoneiden sarjassa.

Hathi-2:ta voitiin ohjelmoida erityisesti transpuuttereille kehitetyllä Occamilla, C:llä ja FORTRANilla. Siihen kehitettiin myös graafinen ohjelmointiympäristö Millipe­de, jolla Hathi-2:lla suoritettavat rinnakkaisohjelmat voitiin suunnitella prosesseja ja niiden välistä kommunikointia kuvaavina hierarkkisinä verkkoina.

Turun yliopistossa on Ville Leppänen yhdessä mm. Martti Forsellin (VTT) ja Martti Penttosen (Kuopion yliopisto) kanssa kehittänyt 1990-luvulta lähtien erilaisia hajautetun laskennan ja PRAM-arkkitehtuuriin perustuvan rinnakkaislaskennan malleja ja algoritmeja. Ne on toteutettu kuitenkin simuloimalla eikä rakentamalla todellisia tietokoneita.

Åbo Akademin Hathi-2.

Rinnakkaistietokoneen äärellä Mats Asp­nä (vasemmalla) ja ulkomainen tutkijavieras (oikealla).



Kvanttilaskenta

Turun yliopistossa tehdään myös modernimpaa tietokonearkkitehtuurien tutkimusta Mika Hirvensalon (matematiikan ja tilastotieteen laitos) tutkiessa kvanttietokoneiden (quantum computer) ohjelmoinnissa käytettävää *kvanttilaskentaa* (quantum computing, quantum computation). Hirvensalo on tutkimuksessaan kehittänyt erityisesti erilaisia kvanttialgoritmeja, perinteisten laskennallisten mallien kvanttiversioita (kuten kvanttiautomaatteja) ja kvanttifysiikkaan perustuvan tietojenkäsittelyn matemaattisia malleja. Yksittäisten artikkelien lisäksi hän on julkaissut vuonna 2001 kansainvälisen kvanttilaskentaa käsittelevän monografian *Quantum Computing*.

Kvanttilaskennan katsotaan syntyneen vuonna 1982, jolloin amerikkalainen fyysikko Richard Feynman julkaisi kvanttifysiikkaan perustuvaa laskentaa tarkastelleen artikkelinsa. Muita kvanttilaskennan pioneereja ovat brittiläinen fyysikko David Deutsch, joka määritteli vuonna 1985 ohjelmoitavan kvanttietokoneen abstraktin mallin, ns. universaalin Turingin kvanttietokoneen, ja amerikkalainen matemaatikko Peter Shor, joka julkaisi vuonna 1994 kvanttietokoneelle suunnitellun algoritmin, joka pystyy jakamaan sille syötteenä annetun kokonaisluvun tekijöihin polynomiajassa. Shorin algoritmi innosti tutkijoita (erityisesti NSA-laisia tietomurtajia) ryhtymään kvanttietokoneiden rakennustyöhön, voisihan niillä vaikkapa murtaa RSA-salakirjoituksen ja ratkoa tehokkaasti muitakin laskennallisesti vaativia ongelmia, joihin edes rinnakkaisten supertietokoneiden potku ei kerta kaikkiaan riitä.

Kvanttietokoneen suorittaman kvanttifysikaalisen laskennan perusalkioita ovat kvanttibitit eli kubitit (qubit); so. tuttuja kaksiarvoisia bittejä vastaavat datayksiköt, jotka voivat saada arvokseen paitsi 0:n ja 1:n, myös niiden molempien yhtäaikaisen ”superposition”. Superposition ansiosta kvanttilaskenta on luonteeltaan epädeterminististä ja arvojen todennäköisyysjakaumaan perustuvaa. Ikävä kyllä kvanttietokoneiden rakentaminen on osoittautunut varsin vaikeaksi: vuonna 2014 ei rakennustöissä ole päästy lähellekään toimivaa kvanttietokonetta ja ainoastaan muutaman kubitin järjestelmistä on ylipäänsä raportoitu.

20. TIETOTURVA (SECURITY AND PRIVACY)

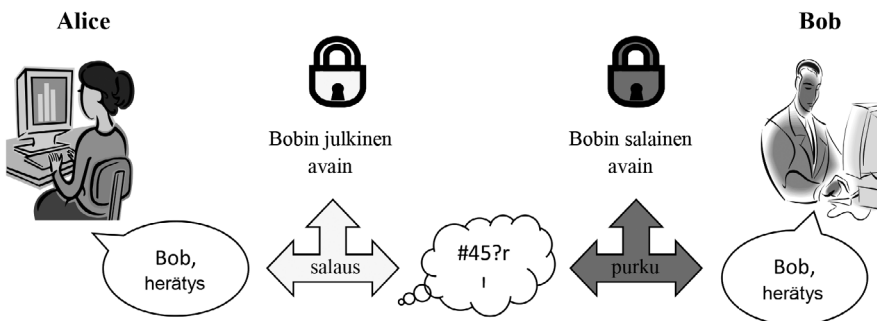
Tietoturvalla (computer security) tarkoitetaan tietojärjestelmien tarjoamien tietojen ja palveluiden sekä tietoliikenteen suojaamista hyökkäyksiä ja valtuuttamatonta käyttöä vastaan. Yleisiä tietoturvauhkia ovat esimerkiksi järjestelmien tai tietojen luvaton käyttö, tietomurrot, tietojen luvaton muuttaminen, tietokonevirukset ja salaisen tiedon paljastaminen, nousevia uhkia esimerkiksi verkkoterrorismi ja elektroninen sodankäynti. Tietoturvaan liittyy läheisesti *tietosuoj*a (privacy), jolla tarkoitetaan henkilötietojen luottamuksellisuutta ja yksityisyyden suojaa.

Keskeisin tietoturvan alue on tiedon salaaminen, jota tutkivaa tieteenalaa kutsutaan *kryptografiaksi* (cryptography). Sen vastapuolta, salausten murtamista, tutkivaa tieteenalaa kutsutaan puolestaan *kryptoanalyysiksi* (cryptanalysis). Sekä kryptografian että kryptoanalyysin kattavasta alasta käytetään taas nimitystä *kryptologia* (cryptography). Kaikkien näiden etuliitteenä oleva ”krypto” juontuu kreikankielisestä sanas-

ta ”kryptós”, joka tarkoittaa mm. piilottamista ja salaamista. Tieteenalana kryptologia on yhdistelmä tietojenkäsittelytiedettä ja sovellettua matematiikkaa: siinä tutkitaan ja kehitetään tiedon salaamisessa käytettäviä algoritmeja ja menetelmiä, joiden turvallisuus- ja tehokkuusominaisuuksia arvioidaan matemaattisesti.

Tiedon salauksella on pitkä historia, sillä jo satoja vuosia eaa. piilotettiin Egyptissä ja Kreikassa salaisia viestejä orjien päänahkaan tukan alle ja Spartassa samaa asiaa ajettiin erityisillä samanpaksuista vastinparia vaativilla pergamenttisauvoilla. Näitä salausten menetelmiä käytettiin etupäässä sotapäälliköiden väliseen viestintään, ja historia toisti itseään, kun ensimmäistä laajalti tunnetuksi tullutta salauslaitetta, Enigmää, käytettiin toisessa maailmansodassa saksalaisten sotajoukkojen väliseen viestintään. Yhtä kuuluisaksi kuin itse salauslaite Enigma on tullut sen toteuttaman salausten menetelmän ja menetelmässä käytettyjen koodiavainten purkaminen itsensä Alan Turingin johdolla, mikä lyhensi sodan kestoa arviolta reilulla vuodella.

Salaamistekniikoiden ammattimainen tutkimus ja kehittäminen olivat kansallisten sotilas- ja tiedusteluorganisaatioiden reviiriä aina 1970-luvulle saakka, jolloin ala alkoi kehittyä julkiseksi tieteeksi. Alueen tieteellinen klassikko on amerikkalaisten tutkijoiden Whitfield Diffien ja Martin Hellmanin vuonna 1976 julkaisema artikkeli julkisen avaimen salaamistekniikasta (public-key cryptography), jossa kahden osapuolen, vaikiintuneilta nimiltään Alice ja Bob, välinen kommunikointi toteutetaan seuraavanlaisella protokollalla käyttäen apuna kahta avainta, julkista ja salaista:



Menetelmässä on perusideana, että julkisen ja salaisen avaimen välillä on vaikeasti ratkaistava matemaattinen yhteys, jolloin toista (salaista avainta) ei voi käytännössä selvittää, vaikka toinen (julkisen avain) tunnettaisiinkin. Tällöin vastaanottajan julkista avainta voidaan käyttää viestin salaamiseen ja sen vastinparia, salaista avainta, viestin purkamiseen pelkäämättä, että jokin vihamielinen kolmas osapuoli pystyisi sen selvittämään, vaikka tuntisi sekä julkisen avaimen että sillä koodatun viestin. Diffie ja Hellman olettivat, että julkisen ja salaisen avaimen välillä vallitsee vaikeasti ratkaistavissa oleva yksisuuntainen funktio, diskreetti logaritmi. Sen sijaan ensimmäinen käytännöllinen salausalgoritmi, sen kehittäjien Ron Rivestin, Adi Shamirin ja Len Adlemanin mukaan nimetty RSA, perustuu alkulukujen ominaisuuksiin ja suurten

kokonaislukujen tekijöihin jakamisen vaikeuteen. RSA:ssa avaimet valitaan seuraavien periaatteiden mukaisesti:

1. Valitse kaksi suurta alkulukua p ja q , $p \neq q$.
2. Laske $N = pq$.
3. Valitse kokonaisluku e , $1 < e < (p-1)(q-1)$ siten, että lukujen e ja $(p-1)(q-1)$ suurin yhteinen tekijä on 1. (Jos e on alkuluku, riittää tarkistaa, ettei $(p-1)(q-1)$ ole jaollinen e :llä).
4. Valitse kokonaisluku d siten, että luku $de-1$ on jaollinen luvulla $(p-1)(q-1)$; merkitään $de \equiv 1 \pmod{(p-1)(q-1)}$.
5. Valitse julkiseksi avaimeksi pari (N, e) ja salaiseksi avaimeksi pari (N, d) .

Algoritmia valaiseva esimerkki:

1. Valitaan alkuluvut $p = 61$ ja $q = 53$.
2. $N = 61 \times 53 = 3233$, $(p-1)(q-1) = 60 \times 52 = 3120$.
3. Valitaan $e = 17$ (3120 ei ole jaollinen 17:llä).
4. Valitaan modulaarimetriikan laskutoimituksilla $d = 2753$ ($de-1 = 2753 \times 17 - 1 = 46800$, joka on jaollinen 3120:llä).
5. Julkinen avain on $(3233, 17)$ ja salainen avain $(3233, 2753)$.

Salatakseen viestin ”Bob, herätys” Alice muuntaa sen kokonaisluvuksi m , jonka hän lähettää Bobille lukuna c , jolle pätee $c \equiv m^e \pmod{N}$. Vastaanottaja Bob puolestaan purkaa saamansa viestin laskutoimituksella $m \equiv c^d \pmod{N}$. Menetelmä toimii, koska voidaan osoittaa, että $x^e \pmod{N}$ ja $x^d \pmod{N}$ ovat toistensa käänteisfunktioita. (Kehittyneemmissä RSA-versioissa viesti muunnetaan ensin pitkäksi desimaali- tai binääriluvuksi, joka sen jälkeen jaetaan erillisinä kokonaislukuina salattaviin lohkoihin.)

RSA-algoritmin turvallisuus perustuu näppärään ja yksinkertaiseen matemaattiseen lainalaisuuteen, jonka mukaan kahden suuren alkuluvun tuloa on erittäin vaikea jakaa tekijöihin, vaikka itse tulon laskeminen on triviaalia. Näin ollen lukua N on vaikea jakaa tekijöihin ja siten löytää avainten laskennassa käytettyjä alkulukuja p ja q ja samalla myös salaisen avaimen eksponenttia d (vaikka N :n lisäksi myös julkisen avaimen eksponentti e tunnettaisiinkin): ongelmalle ei ole löydetty aikavaativuudeltaan polynomista ratkaisua.

Kryptografia

Suomessa akateemisen tietoturvan oppi-isä on Turun yliopiston matematiikan professori Arto Salomaa, joka kunnostautui jo 1940-luvulla Turun poikasakeissa taitavana salakirjoitusten murtajana. Kryptografiasta Salomaa innostui 1970-luvun lopulla tutustuessaan Diffien ja Hellmanin matemaattisesti eleganttiin julkisen avaimen salakirjoituksen periaatteeseen. Hän luennoi ensimmäisen kurssinsa aihepiiristä vuonna 1982 ja kehitti 1980-luvulla tutkimustyössään – varsinaisen päätutkimusalansa hengen mukaisesti – formaaleihin kieliin, kielioppeihin ja automaatteihin perustuvia julkisen avaimen salakirjoitusmenetelmiä. Salomaa julkaisi lisäksi vuonna 1990 julkisen avaimen menetelmiä yleistajuisesti esittelevän oppikirjan *Public-Key Cryptography*.

Turun yliopiston kryptografian tutkimusryhmän päätulos on julkisen avaimen salaukseen perustuva protokolla sähköiseen äänestämiseen ja verkkovaaleihin (Salomaa, Hannu Nurmi, Lila Santean). Protokolla täyttää seuraavat yleiset vaaleille asetetut tietoturva-vaatimukset:

- Vain äänioikeutetut kansalaiset saavat äänestää.
- Jokaisella äänioikeutetulla on vain yksi ääni.
- Vaalisalaisuus on turvattava, ts. ainoastaan äänestäjä itse saa tietää, kuinka hän on äänestänyt.
- Äänestäjä voi varmistua siitä, että hänen äänensä on laskettu.
- Äänestäjä voi muuttaa mielensä ja äänestää uudelleen tietyn ajan kuluessa.
- Jos äänestäjä havaitsee virheen äänten laskennassa, hän voi vaatia virheen korjaamista paljastamatta vaalisalaisuuttaan.

Seuraava, nämä vaatimukset täyttävä Nurmen, Salomaan ja Santeanin äänestysprotokolla perustuu julkisen avaimen menetelmään ja erityisesti RSA-algoritmiin. Protokollassa tehdään normaali oletus siitä, että vaalia koordinoi luotettava taho A , jonka vilpillisen toiminnan mahdollisuutta pyritään kuitenkin varmuuden vuoksi minimoimaan.

1. A julkistaa vaaliluettelon eli listan äänioikeutetuista.
2. Jokainen äänestävä äänioikeutettu ilmoittautuu tiettyyn määräaikaan mennessä A :lle.
3. A julkistaa vaalissa äänestävien listan, joka sisältää n äänioikeutettua.
4. A tuottaa n kappaletta tunnistimia ja jakaa ne äänestäjille siten, ettei A voi tietää, kuka äänestäjä on valinnut minkäkin tunnistimen. Jakamisessa käytetään erityistä ANDOS-protokollaa (all-or-nothing disclosure of secrets). Tunnistimet ovat suuria satunnaisesti valittuja alkulukuja, ja ne numeroidaan juoksevasti $1, \dots, n$.
5. Tunnistimen p_i omistava äänestäjä B valitsee kokonaislukuarvoisen kryptografisen hajautusfunktion $h_B(x, y)$ ja lähettää A :lle parin $(p_i, h_B(p_i, v_B))$, missä v_B on hänen antamansa ääni. (Kryptografisen hajautusfunktion (cryptographic hash function) tuottaa lähellä toisiaan olevilla argumenteillaakin varsin erilaiset arvot ja sitä on vaikea murtaa, eli se on käytännössä yksisuuntainen.)
6. A kuittaa äänen vastaanottamisen julkistamalla luvun $h_B(p_i, v_B)$, jolloin B voi tarkistaa, että hänen antamansa ääni on noteerattu. Toisaalta kukaan muu ei voi saada tietoonsa B :n antamaa ääntä v_B , koska hajautusfunktion h_B on yksisuuntainen.
7. B lähettää A :lle parin (p_i, h_B^{-1}) . Olettaen, että y voidaan aina laskea, kun tunnetaan $h_B(x, y)$, x ja h_B^{-1} , saa A nyt tietoonsa tunnistimen p_i ja äänen v_B välisen yhteyden (mutta ei äänen v_B ja äänestäjän B välistä yhteyttä).
8. Kun äänestysaika on umpeutunut, A ilmoittaa vaalin tuloksen julkaisemalla jokaista ehdokasta v kohti luettelon kaikista luvuista $h_B(p_i, v_B)$, joille $v_B = v$.
9. Mikäli äänestäjä B havaitsee, että hänen antamansa ääntä vastaava luku puuttuu tulosluettelosta, hän tekee valituksen lähettämällä A :lle kolmikön $(p_i, h_B(p_i, v_B), h_B^{-1})$. Koska A saa tietoonsa

- (kuten askeleessa 7) vaalin tuloksesta puuttuvan äänen ja sen antanutta äänestäjää vastaavan tunnistimen, A :n on korjattava tulosluettelo lisäämällä sinne $h_B(p_i, v_B)$.
10. Mikäli B tulee katumapäälle ja haluaa vaihtaa antamansa äänen, hän lähettää A :lle kolmikon $(p_i, h_B(p_i, v_B), v'_B)$, missä v'_B on uusi ääni. Kun uudelleenäänestämisen takaraja on umpeutunut, A julkistaa päivitetyn tulosluettelon siirtämällä luvun $h_B(p_i, v_B)$ ehdokkaalta v_B uutta ääntä vastaavalle ehdokkaalle v'_B . Äänestäjät voivat tarkistaa päivitetyn tulosluettelon, kuten askeleessa 9. (Tässä äänestäjillä on mahdollisuus muuttaa mieltään ainoastaan kerran, mutta protokollassa on askeleelle 10 myös hajautusfunktion vaihtamiseen perustuva mutkikkaampi vaihtoehto, joka sallii useamman uudelleenäänestämisen.)

Valtteri Niemi ja Ari Renvall ovat kehittäneet edellä esitettyä äänestysprotokollaa lisäämällä siihen yleisten vaalien normaalin vaatimuksen siitä, ettei kukaan yksittäinen äänestäjä voi äänestystapahtuman jälkeen osoittaa, kuinka hän on äänestänyt. Tällä voidaan estää äänen ostaminen samoin kuin äänestäjien pakottaminen äänestämään jotain tiettyä valtaeliitin ehdokasta (ja todistamaan, että hän on näin tehnyt). Niemen ja Renvallin protokolla edellyttää paitsi huomattavasti mutkikkaampaa äänestäjän tunnistinta p_i myös sitä, että äänioikeutetut käyvät noutamassa sen määrätystä toimipisteestä, jossa heidän henkilöllisyytensä voidaan tarkistaa. Kyseessä eivät siten olisi enää puhtaat verkkovaalit kuten Salomaan ja kumppanien protokollassa.

Nämä äänestysprotokollat ovat sikäli turvallisia, että ne täyttävät todistetusti kaikki yleiset vaaleille asetetut tietoturva vaatimukset. Vaikka tietokonevaaleille on näin saatu kehitetyksi vankka matemaattinen perusta, ei niitä ole toistaiseksi kuitenkaan tässä muodossa toteutettu, johtuen paitsi poliittisista esteistä myös siitä, että protokollat ovat laskennallisesti varsin raskaita. Ehkäpä myöskään kansalaisten matemaattiset ja kryptologiset taidot – loistavista PISA-tuloksista huolimatta – eivät vielä ole aivan protokollien vaatimalla tasolla.

2000-luvulla Nokia Research Centerissä ja Turun yliopistossa työskennellyt Valtteri Niemi on äänestysprotokollien jälkeen tutkinut aktiivisesti mm. virtuaalisten huutokauppojen tietoturvaa, matkapuhelinstandardien (kuten GSM) kryptografiaa, luottamusta liikkuvissa sovelluksissa ja yksityisyyden suojaa sosiaalisissa verkostoissa. Arto Salomaa sen sijaan ei 1990-luvun alun jälkeen enää jatkanut kryptografiatutkimustaan alan suuntautuessa perusteoriasta enemmän käytännön sovelluksiin.

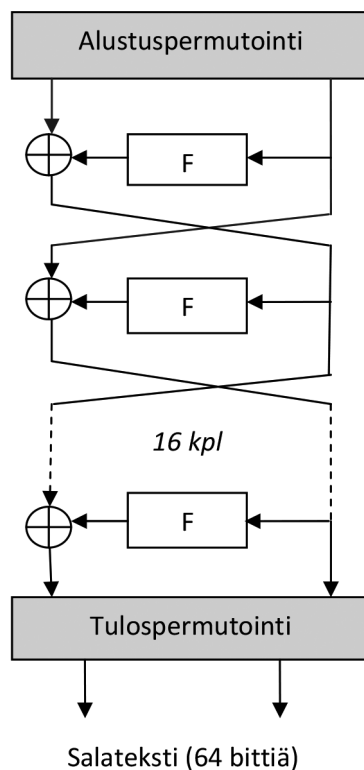
Kryptoanalyysi

Näkyvin suomalainen tutkija kansainvälisessä kryptologian tiedeyhteisössä on Kaisa Nyberg. Kuten Arto Salomaa ja muut Turun yliopiston tutkijat, myös Nyberg on taustaltaan matemaatikko perehtyen kryptologiaan vasta siirtyessään vuonna 1987 erikoistutkijaksi Pääesikunnan viestiosastolle. Käytännön töiden ja kryptologiaopetuksen lisäksi Nyberg teki tieteellistä tutkimusta ja tuotti ensimmäiset alan julkaisunsa 1990-luvun alussa, jolloin erityisesti hänen DES-algoritmia koskevat tutkimuksensa herättivät kansainvälistä mielenkiintoa.

DES (Data Encryption Standard) on RSA:n ohella tunnetuin salausalgoritmi, jonka USA:n kansallinen standardointijärjestö National Bureau of Standards julkaisi vuonna 1977. Standardin julkistaminen käynnisti paitsi DESin laajamittaisen käy-

tön myös aktiivisen tutkimustoiminnan, jonka yhtenä muotona oli sekä analyyttisten että käytännössä toimivien menetelmien kehittäminen sen murtamiseksi. Kilpajuoksu tuottikin tulosta, sillä vuonna 1998 onnistuttiin lopulta DES-algoritmilla salattu viesti purkamaan niinkin nopeasti kuin 56 tunnissa; pahansuovalla tietomurrolla oli kuitenkin hintansa, sillä sitä varten oli suunniteltava ja rakennettava noin 250 000 dollaria maksanut erityistietokone ”Deep Crack”. Onnistunut murto oli kuolinisku DESille, erityisesti kun jo heti seuraavana vuonna murtonopeusennätys parani 22 tuntiin 15 minuuttiin. DES korvattiinkin muutamassa vuodessa turvallisemmalla, vuonna 2001 julkaistulla AES-standardilla (Advanced Encryption Standard) ja poistettiin lopulta standardirekisteristäkin vuonna 2005.

Toisin kuin esimerkiksi RSA, DES on symmetrinen salakirjoitusmenetelmä, jolloin sekä viestin salaamiseen että salauksen purkamiseen käytetään samaa (salaista) avainta. DES on tyypillinen lohkosalausalgoritmi (block cipher), jossa salattava viesti jaetaan lyhyiksi viestilohkoiksi, jotka muunnetaan bittiesitykseltään vaihe vaiheelta toiseen muotoon. DESissä näitä muunnosvaiheita on 16 ja viestilohkon koko on 64 bittiä. Muunnoksissa käytettävän avainlohkon pituus on myös 64 bittiä, mutta kahdeksaa bittiä käytetään ainoastaan pariteetin (ykkösbittien parittomuuden) tarkistamiseen, joten varsinaisen pääavaimen pituus on 56 bittiä. DES-algoritmin perusrakenne on seuraavanlainen.



Alustuspermutoinnissa salattava 64-bittinen lohko selvätekstiä (plaintext) jaetaan kahteen 32 bitin puolikkaaseen, joita kuljetetaan 16-vaiheisen salausprosessin läpi. Jokaisella kierroksella sovelletaan ns. Feistel-funktiota (Feistel function, kuvassa F), joka sekoittaa syötteenä saamansa alilohkon bitit kierroskohtaisesti avaimen tiettyjen bittien kanssa ja yhdistää näin saadun bittijonon toisen 32-bittisen alilohkon kanssa XOR-operaatiolla (exclusive-or). Joka toisella kierroksella prosessoidaan alkuperäisen lohkon alkupäätä ja joka toisella kierroksella sen loppupäätä. Koko prosessin päätteeksi tulospermutointi tuottaa selvätekstiä vastaavan 64-bittisen salatekstin (ciphertext).

Feistel-funktio sotkee syötteenä samaansa 32 bitin jonoa laajentamalla sen 48-bitteiseksi (monistaen puolet biteistä), yhdistämällä sen xor-operaatiolla 48 bittiä pitkän osa-avaimen kanssa sekä jakamalla näin saadun bittijonon kahdeksaan 6-bittiseen palaseen, joista kukin prosessoidaan vielä erikseen ns. S-taulukon (S-box, substitution box) avulla. Lopuksi S-taulukoista saatujen bittijonojen bitit asetetaan järjestykseen kierroskohtaisella permutoinnilla.

Epälineaarisia muunnoksia kuvaavat S-taulukot ovat DES-algoritmin ydin, sillä niiden ansiosta DES-salauksia on vaikea murtaa. DESin S-taulukot muuntavat kuuden bitin pituisia jonoja neljän bitin pituisiksi siten, että muunnoksen sisältävä taulukon rivi valitaan kahden uloimman (jonon ensimmäisen ja viimeisen) syötebitin ja sarake neljän keskimmäisen bitin perusteella. Esimerkiksi DESin 5. kierroksella käytettävästä S-taulukosta löytyy syötebittijonoa "011011" vastaava tulosjono "1001" riviltä "01" ja sarakkeesta "1101":

| | | <i>Keskibitit</i> | | | | | |
|-----------------------|----|-------------------|------|-----|------|-----|------|
| | | 0000 | 0001 | ... | 1101 | ... | 1111 |
| <i>Uloimmat bitit</i> | 00 | 0010 | 1100 | | 0000 | | 1001 |
| | 01 | 1110 | 1011 | | 1001 | | 0110 |
| | 10 | 0100 | 0010 | | 0011 | | 1110 |
| | 11 | 1011 | 1000 | | 0100 | | 0011 |

DES-algoritmissa käytettävät S-taulukot suunniteltiin huolellisesti kestäämään salaukseen kohdistuvia tietomurtoja. Kryptoanalyysin tutkijat ovat arvioineet DESin tietoturvaa kehittämällä algoritmiin purevia murtomenetelmiä ja analysoimalla niiden las kennallista vaativuutta. Yksi tunnetuimmista DES-tutkijoista on japanilainen Mitsuru Matsui, joka julkaisi vuonna 1993 lineaarisena kryptoanalyysinä (linear cryptanalysis) tunnetun menetelmän. Lineaarinen kryptoanalyysi perustuu selvätekstien, niitä vastaavien salatekstien ja salausavaimen väliseen lineaariseen riippuvuuteen; so. siihen havaintoon, että jonkin selvätekstibittien osajoukon pariteetti määrää suurella todennäköisyydellä jonkin salatekstibittien osajoukon pariteetin. Matsuin esittelemä DES-murtomenetelmä vaati onnistuakseen peräti 2^{47} tunnettua selväteksti-salatekstiparia, joten se ollut kovinkaan käyttökelpoinen – ei edes seuraavana vuonna, jolloin Matsui osoitti 50 päivää kestäneellä tietokoneajolla, että hänen menetelmänsä pystyi murtaamaan täyden 16-vaiheisen DESin "suurella" (85 %) todennäköisyydellä, kun sillä oli tiedossaan 2^{43} (satunnaisesti generoitua) selväteksti-salatekstiparia.



Kaisa Nyberg aloitti tieteellisen kryptoanalyttisen tutkimuksensa kehittämällä epälineaarisia muunnosmenetelmiä kestävämpään aiempaa paremmin DES-algoritmia ja vastaavia salakirjoitusmenetelmiä vastaan tehtyjä hyökkäyksiä. Nyberg osoitti erityisesti, että lineaarisen kryptoanalyysin ohella toista johtavaa DES-analysointi/murto-menetelmää, ns. differentiaalista kryptoanalyysiä (differential cryptanalysis), vastaan voi taistella optimaalisesti Feistel-funktioilla, jotka tuottavat kaikilla kiinteillä syötelohkojen erotuksilla mahdollisimman tasaisesti jakautuneita tuloslohkoja. Tällöin nimittäin ei DES-algoritmin tietyllä kierroksella käsiteltävistä alilohkoista voi varmasti päätellä seuraavalla kierroksella käsiteltäviä lohkoja eikä algoritmin käyttämää avainta.

Nybergin eniten viitattu yksittäinen tieteellinen tulos on hänen vuonna 1994 julkaisemansa tarkennus Matsuin lineaarisen kryptoanalyysin menetelmään. Nyberg osoitti työssään, että Matsuin alkuperäinen analyysi aliarvioi pahasti tämän kehittämän DES-avaimeen kohdistuvan murtoalgoritmin onnistumistodennäköisyyden. Samassa yhteydessä Nyberg osoitti, että hänen yllä mainittu Feistel-funktioityypinsä on puolustuskykyinen Matsuin lineaarista (samoin kuin differentiaalista) kryptoanalyysimenetelmää vastaan. Nyberg on jatkanut näihin päiviin saakka lineaarisen kryptoanalyysin tutkimusta vieden sen teoriaa pisimmälle. Lisäksi hän on selvittänyt monipuolisesti lineaarisen ja differentiaalisen kryptoanalyysin teoreettista suhdetta ja vertaillut niiden käytännön tehokkuutta.

Siirryttyään Nokia Research Centeriin vuonna 1998 Nyberg keskittyi tutkimaan tietoliikenneprotokollien tietoturvaan. Tällä saralla hänen merkittävin tutkimustuloksensa on yhdessä Sven Laurin ja N. Asokanin kanssa kehitetty yhteydenmuodostusprotokolla kahden lähellä toisiaan sijaitsevan laitteen, esimerkiksi matkapuhelimen, välille. Protokolla luo jaetun ad hoc -avaimen turvattomaan kommunikointikanavaan, jolloin langattomaan verkkoon on mahdollista lisätä joustavasti uusia laitteita ja jatkossa tapahtuva kommunikaatio niiden välillä on mahdollista salata. Tähän protokolla tarvitsee kommunikaation eri osapuolten todentamista (authentication) eli sen varmistamista, että kumpikin osapuoli on varma toistensa identiteetistä.

Seuraava protokolla (MANA IV) todentaa kommunikaatioon osallistuvat laitteet *Alice* ja *Bob* ja luo niille osa-avaimista K_1 ja K_2 koostuvan yhteisen salausavaimen. Protokollassa käytetään osapuolten välisen sidonnan (commitment) luomiseen funktiota *Commit* ja sen käänteisfunktiota *Open* sekä todentamisessa käytettävien tarkistimien tuottamiseen kryptografista hajautusfunktiota h , jonka argumentteina ovat testidata ja osa-avaimet.

1. *Alice* tuottaa satunnaisen avaimen K_1 , laskee sidontaparin $(C, D) = \text{Commit}(K_1)$ ja lähettää *Bobille* parin (M, C) , missä M on *Alicen* ja *Bobin* satunnaisesti valitsema testiviesti.
2. *Bob* valitsee satunnaisen avaimen K_2 ja lähettää parin (M, K_2) *Alicelle*, joka laskee todentamista varten arvon $V_1 = h(M, K_1, K_2)$.
3. *Alice* vastaa lähettämällä arvon D *Bobille*, joka varmentaa sidonnan tuottamalla avaimen $K_1 = \text{Open}(C, D)$ ja pysähtyy, mikäli näin saatu K_1 on epäkelpo. Mikäli K_1 on validi, myös *Bob* tuottaa todentamistarkistimen $V_2 = h(M, K_1, K_2)$.
4. Molemmissa laitteissa, *Alice* ja *Bob*, todennetaan, että $V_1 = V_2$. Tämän voi toteuttaa usealla tavalla, esimerkiksi pyytämällä laitteiden käyttäjiä ilmoittamaan, ovatko heille näytöllä esitetyt merkkijonot V_1 ja V_2 identtiset.

MANA IV on todistettu turvalliseksi kaikkia ”man-in-the-middle”-hyökkäyksiä vastaan. Protokolla on otettu osaksi laajassa käytössä olevaa Bluetooth-standardia ja sen Diffie-Hellmanin julkisen avaimen menetelmään perustuvaa muunnelmaa on käytetty Wireless Universal Serial Bus (WUSB) -protokollana.

Valtteri Niemen ja Kaisa Nybergin ryhmien lisäksi kansainvälisillä tieteellisillä tietoturvan foorumeilla on suomalaisista kunnostautunut pääasiassa itsenäisenä tutkijana ja konsulttina työskennellyt Markku-Juhani Saarinen, joka on paitsi kehittänyt symmetrisen kryptoanalyysin menetelmiä myös onnistunut murtamaan useita salausalgoritmeja. Kotimaan tietoturva-asiantuntijoista voi mainita monenlaista mainetta niittäneet Teknillisen korkeakoulun kasvatit ja Arto Karilan ja Hannu H. Karin. Sittenmin pääasiassa yksityisenä konsulttina työskennellyt Karila teki vuonna 1991 todennäköisesti ensimmäisen suomalaisen tietoturva-aiheisen väitöskirjan avointen järjestelmien tietoturvasta. Vuonna 1997 väitellyt ja vuonna 2007 tutkimusjohtajaksi Maanpuolustuskorkeakouluun siirtynyt Kari on puolestaan tullut tunnetuksi Internetin ja langattomien järjestelmien tietoturvan kritisoijana.

Suomessa tietoturvan tieteellinen tutkimus on ollut varsin vähäistä, joskin siihen on viime vuosina panostettu erityisesti Aalto-yliopistossa. Tieteellisen pätevyyden niukuutta kuvaa hyvin se, että vuonna 1997 Teknillisessä korkeakoulussa alueelle perustettuun apulaisprofessorin virkaan, jonka alaksi täsmennettiin myöhemmin ”tietojenkäsittelytekniikka, erityisesti kryptologia”, saatiin tieteellisesti pätevien hakijoiden puuttuessa ensimmäinen nimitetty (professori), Kaisa Nyberg, vasta vuonna 2005.



Kaisa Tellervo Nyberg, syntynyt 13.5.1948 Oulussa.

Ylioppilas 1966 (Tapiolan yhteiskoulu). FK 1971, FL 1974, FT 1982 (Helsingin yliopisto, matematiikka).

Tilastosuunnittelija 1971 (Kansaneläkelaitos), assistentti 1971–82 ja 1986, lehtori 1987 (Helsingin yliopisto), erikoistutkija 1987–91 ja 1995–98 (Puolustusvoimat), principal scientist 1998–2000 ja research fellow 2000– (Nokia Research Center), tietojenkäsittelytekniikan professori 2005– (Teknillinen korkeakoulu / Aalto-yliopisto). Opetus- ja tutkimusassistentti 1982–83 (Cornell

University), vieraileva luennoija 1992 (Universität Karlsruhe), vieraileva professori 1993 (Technische Universität Wien).

Ernst Lindelöfin pro gradu -palkinto 1971, Sammon turvallisuuspalkinto 1996, Suomen Marsalkka Mannerheimin Sotatieteellisen rahaston palkinto 2007. Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 2006. Kauppalehti Option 100 suomalaisen tietotekniikan edelläkävijän listalla 2000.

Kaisa Nyberg aloitti tutkimustyönsä 1970-luvulla funktioanalyysistä siirtyen 1980-luvulla salakirjoitukseen ja tietoturvaan. Hän on Arto Salomaan ohella Suomen akateemisen kryptologian opetuksen ja tutkimuksen uranuurtaja.

Kaisa harrastaa äitinsä innostamana ompelua sekä kaikkea kesämökillä Suomenlahden saaristossa vastaan tulevaa, kuten veneilyä, kasvimaan hoitoa ja maalaushommia.

Palkattomassa "sivutoimessaan" hän on diplomaatin puoliso. Kaisa on luotettava ja sääntillisesti tehtävänsä hoitava asiantuntija, joka ei vaivaa muita turhilla pikkuasioilla. Hänen ammatillinen periaatteensa on: "Parhaiten oppii, kun itse tekee".

21. SOVELLETUT TIETOJENKÄSITTELYTIETEET (APPLIED COMPUTING)

Samaan tapaan kuin matematiikka ja tilastotiede, tietojenkäsittelytiede on ns. menetelmätiede siinä mielessä, että siinä kehitettyjä menetelmiä ja työkaluja voidaan käyttää paitsi niiden varsinaisilla tietoteknisillä sovellusalueilla myös muiden tieteenalojen apuna. Joissain tapauksissa tietojenkäsittelytieteen symbioosi muiden tieteiden kanssa on johtanut jopa uuden tieteenalan syntymiseen, hyvänä esimerkkinä bioinformatiikka eli laskennallinen biologia.

Termillä ”sovelletut tietojenkäsittelytieteet” tarkoitetaan tässä yhteydessä tutkimusta, jossa tietojenkäsittelytieteitä käytetään luomaan jotain merkittävää jollakin toisella tieteenalalla. Tämän tyyppistä tutkimusta on Suomessakin tehty jo 1960-luvulta lähtien, mutta tieteenalarajat ylittävä tutkimus on vilkastunut erityisesti tällä vuosituhanella. Hyviä syitä sovelletun tutkimuksen nousulle löytyy sekä tietojenkäsittelytieteistä itsestään (riittävän tehokkaiden tietokoneiden ja yleispätevien menetelmien kehittäminen) että niitä soveltavista tieteistä (mm. suurista tietomassoista johtuva laskennallisten ratkaisujen tarve).

Tietokonemusiikki

Tietokonemusiikin suomalainen uranuurtaja on Erkki Kurenniemi, joka aloitti vuonna 1961 Helsingin yliopiston musiikkitieteen laitoksessa elektronisten soitinten suunnittelun ja rakentamisen. Hän rakensi 1960- ja 1970-luvulla lukuisia digitaalisia soittimia, erityisesti syntetisaattoreita, ja sävelsi niiden kokeilemista ja esittelemistä varten myös useita elektroakustisia musiikkikappaleita.

Toinen 1960-luvulla tietokonemusiikin saralla mainetta niittänyt tutkija oli myöhemmin Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelyopin professorina ja Turun yliopiston tietojärjestelmätieteen professorina toiminut Markku Nurminen, joka kehitti Turun yliopiston sovelletun matematiikan laitoksella tangoja automaattisesti säveltävän Fortran-ohjelman. Nurminen toteutti sävellystyön stokastisena prosessina, joka yhdisteli tavanomaisten kansantangojen yleisiä rakenteita ja sävelkulkuja. Tietokoneohjelma pullautti vuonna 1967 piirturin avulla nuottiviivastolle tangon ”Kesän muistatko sen”, joka soikin radiossa Esko Rahkosen levyttämänä kohtalaisen paljon suuren yleisön tietämättä, että levytykseen oli tangon säveltäjäksi merkitty uusi nouseva kyky, tietokone IBM 1130. Jopa levytyksen sovittajana toiminut Toivo Kärki oli positiivisen yllättynyt IBM:n tangotuotannon laadusta todeten, että nyt ”huonommat säveltäjät voivat lopettaa säveltämisen ja paremmat siirtyä eläkkeelle”.

Tuoreemmasta tietokonemusiikkiin löyhästi kytköksissä olevasta tutkimustyöstä voi esiin nostaa Kjell Lemströmin 2000-luvulla Helsingin yliopistossa tekemän musiikkitiedonhaun tutkimuksen. Lemströmin kehittämällä algoritmeilla ja työkaluilla voidaan mm. etsiä musiikkitietokannoista muistinvaraisesti hyräilemällä, viheltämällä tai pianoa pimputtelemalla tapailtuja kappaleita taikka tarkistaa, missä Tšaikovskin kuudesta sinfoniasta jokin tutun tuntuinen teema esiintyy.

Bioinformatiikka

Bioinformatiikkaksi (bioinformatics) nimetyllä tutkimusalalla kehitetään tietojenkäsittelytieteeseen, matematiikkaan ja tilastotieteeseen perustuvia menetelmiä biologisten ja lääketieteellisten ongelmien ratkaisemiseksi. Bioinformatiikka alkoi kehittyä omaksi tieteenalaksi 1970-luvulla, jolloin ryhdyttiin kehittämään tehokkaita laskennallisia menetelmiä biologisten sekvenssien analysointiin. Tieteenalasta käytetään myös nimitystä ”laskennallinen biologia” (computational biology), joskin näillä kahdella voidaan katsoa olevan sellainen ero, että bioinformatiikassa pääpaino on laskennallisissa menetelmissä ja laskennallisessa biologiassa puolestaan niillä tuotettujen tulosten tulkinnassa.

Suomessa bioinformatiikan tutkimuksen uranuurtaja on Esko Ukkonen (Helsingin yliopisto), joka huomasi 1970-luvun lopulla tietojenkäsittelytieteessä kehitettyjen merkkijonomenetelmien purevan varsin hyvin myös yhteen keskeiseen systeemibiologian ongelmaan, DNA:n rakenteen analysointiin. DNA on sikäli sopiva merkkijonomenetelmien tutkimuskohde, että DNA-molekyylin oleellinen sisältö voidaan kuvata yksinkertaisesti neljästä eri merkistä *A* (adeniini), *C* (sytosiini), *G* (guaniini) ja *T* (tyymiini) koostuvana sekvenssinä eli merkkijonona. DNA-sekvensoinnista onkin muodostunut yksi suosituimmista bioinformatiikan tutkimuksen osa-alueista. DNA-sekvensointi oli keskeinen tutkimusaihe myös vuonna 1990 käynnistetyssä ja laajaa julkisuutta saaneessa ihmisen geeniperimää kartoittaneessa Human Genome -projektissa, joka sai myös tosi biologit kiinnostumaan yhteistyöstä bioinformatiikan tutkijoiden kanssa.

Yksi ensimmäisistä ja tunnetuimmista suomalaisista bioinformatiikan tutkimustuloksista on Ukkosen, Hannu Peltolan, Hans Söderlundin ja Jorma Tarhion vuonna 1983 julkaisema menetelmä DNA-jonon kokoamiseksi pienemmistä sekvensseistä. Ongelma tulee vastaan kaikissa genomiprojekteissa, sillä DNA:n rakennetta pystytään lukemaan laboratorioissa vain lyhyissä (esimerkiksi 400 merkin) palasissa, joista sitten pitäisi pystyä kasaamaan koko genomi eli organismin perintöaines, jonka pituus esimerkiksi ihmisellä on noin kolme miljardia merkkiä. Palapeliä hankaloittaa se, että palasten oikeaa sijaintia genomissa ei yleensä tiedetä tarkalleen ja niissä voi olla erilaisia pieniä virheitä kuten mutaatioita.

Kuten muutkin vastaavat menetelmät, Ukkosen ja kumppanien menetelmä perustuu siihen, että alkuperäisestä DNA:sta otetaan suuri joukko palasia, jotka menevät osittain päällekkäin. Silloin palasten keskinäistä järjestystä voidaan päätellä tutkivalta niiden yhteisiä osia; so. kun DNA-palaset koodataan merkkijonoiksi, on tehtävänä etsiä merkkijonopareja, joilla on samankaltainen alku- ja loppuosa. Näitä pareja yhdistellään suuremmiksi kokonaisuusiksi, kunnes saadaan riittävän pitkä yhteen sovitetuista merkkijonopareista muodostuva rakennelma koko DNA-jonon päättelemiseksi. Menetelmässä käytetään tähän nimenomaiseen ongelmaan räätälöityjä tunnettuja verkkoiteoreettisia algoritmeja sekä merkkijonojen likimääräisiä hahmontunnistus- ja sovitusalgoritmeja. Likimääräisessä sovituksessa käytetään hyväksi tavanomaista kahden merkkijonon välistä editointietäisyyttä ja muunnosta, jonka perusoperaatiota ovat yhden merkin (erityisesti tyhjän) lisääminen ja poisto, merkin muuttaminen toiseksi ja kahden peräkkäisen merkin paikan vaihtaminen.

Tarkastellaan esimerkkinä kolmea DNA-molekyylin palasta, joista editointietäisyydeltään lähimpänä toisiaan ovat merkkijonot $S_1 = \text{AACAACTGGGATA}$ ja $S_2 =$

CACTTGGATAA. Sekvensointi aloitetaan liimaamalla yhteen S_1 :n loppuosa ja S_2 :n alkuosa sallittujen muunnosoperaatioiden avulla:

$$\begin{aligned} S_1 &= \quad \text{AACAACT GGGATA} \\ S_2 &= \quad \quad \text{CA CTTG GATAA} \end{aligned}$$

Seuraavaksi läheisimmän parin muodostavat S_2 ja $S_3 = \text{ACTGTGAATAACG}$. Nyt sekvensointia jatketaan liimaamalla edellä saadun rakenteen jatkoksi merkkijono S_3 . Huomattakoon, että globaalin yhteneväisyyden vuoksi S_3 :n lisääminen aiheuttaa tyhjiä merkkien lisäämisen myös parin (S_2 , S_3) ulkopuolella olevaan merkkijonon S_1 esiintymään:

$$\begin{aligned} S_1 &= \quad \text{AACAACT GGGA TA} \\ S_2 &= \quad \quad \text{CA CTTG GA TAA} \\ S_3 &= \quad \quad \quad \text{A C TGTGAATAACG} \end{aligned}$$

Lopuksi tulkitaan näin saatu päällekkäisten osamerkkijonojen linjaus alkuperäisen DNA-jonon approksimaatioksi valitsemalla kuhunkin sen positioon se ei-tyhjä merkki, joka esiintyy useimmin päällekkäisten osamerkkijonojen vastaavissa positioissa. Mikäli kyseinen merkki ei esiinny jokaisessa osamerkkijonossa, se katsotaan ”epävarmaksi”, ja mikäli useimmin esiintyviä merkkejä on useampia, jätetään ko. positio approksimaatiossa ”avoimeksi”. Yllä olevista merkkijonoista S_1 , S_2 ja S_3 saadaan näin DNA-jonolle seuraava approksimaatio, missä ”epävarma” merkki on alleviivattu ja ”avoin” merkki kuvattu kysymysmerkillä.

AACAACTTG?GAATAACG

1990-luvulla alkaneen bioinformatiikkabuumin ansiosta Esko Ukkonen on viimeaikaisessa tutkimustyössään ryhtynyt läheiseen yhteistyöhön biologien ja geneetikkojen kanssa päästen näin analysoimaan todellista biologista ja lääketieteellistä dataa. Tämä soveltava tutkimus on keskittynyt geenisäätelijöiden ennustamiseen, ja tutkimusryhmä on mm. onnistunut löytämään geenivirheen, joka on kytköksissä paksusuolen syöpään. Ryhmän johtava geneetikko on Jussi Taipale (Helsingin yliopisto ja Karolinska Institutet), ja sen tutkimustyössä on käytetty mm. Kimmo Palinin kehittämää geenianalysointityökalua EEL (Enhancer Element Locator).

Helsingin yliopistossa on Ukkosen lisäksi Veli Mäkisen tutkimusryhmä tehnyt ansiokasta bioinformatiikan tutkimusta. Ryhmä on keskittynyt kehittämään tehokkaita algoritmeja, tietorakenteita ja automaatteja genomitasoisen datan analysointiin. Ryhmä on lisäksi kehittänyt useita analysointia tukevia työkaluja. Toinen Ukkosen tutkimusryhmistä 2000-luvulla esiin noussut tutkija on Helsingin yliopiston lisäksi VTT:ssä ja Aalto-yliopistossa työskennellyt Juho Rousu, joka on kehittänyt koneoppimismenetelmiä mm. lääkeaineiden luokitteluun ja metaboliittien tunnistamiseen.

1980-luvulla käynnistyi myös Turun yliopistossa tietojenkäsittelytieteen lääketieteellisten sovellusten tutkiminen ja kehittäminen. Alueen pioneeri oli myöhemmin Kuo-

pion yliopistoon ja Tampereen yliopistoon professoriksi siirtynyt Martti Juhola, jonka tutkimusaiheita ovat olleet mm. silmänliikkeiden, sydänsähkökäyrän (EKG, ECG), auditorisen aivorunkovasteen (ABR) ja naisten virtsankarkailun analysointi. Turun yliopistossa on bioinformatiikan tutkimusta jatkanut Tapio Salakoski, jonka tutkimusaiheita ovat olleet mm. proteiinien rakenne, luokittelu ja vuorovaikutus sekä potilaskertomusten ja muun hoitodokumentaation hallinta. Hän on ryhmänsä kanssa kehittänyt lisäksi useita työkaluja, joilla helpotetaan pääsyä erilaisiin bio- ja lääketieteellisiin tietokantoihin.

Tampereen teknilliseen yliopistoon on syntynyt 2000-luvulla suuri Computational Systems Biology -tutkimusryhmä, jota johtaa Olli Yli-Harja. Monitieteinen ryhmä on keskittynyt biologisten prosessien ja biologisen datan mallintamiseen, analysointiin ja hallintaan, ja sen tutkimuskohteita ovat mm. solujen dynamiikka ja RNA-molekyylien analysointi. Ryhmä tekee läheistä yhteistyötä Tampereen yliopistossa toimivan ja Matti Nykterin johtaman laskennallisen biologian tutkimusryhmän kanssa, joka on erikoistunut syöpien (erityisesti eturauhassyövän) ja immuunijärjestelmien tutkimukseen.

Bioinformatiikan alueella toimii lisäksi vuosina 2012–17 kansallinen Molekylaarisen systeemi-immunologian ja fysiologian huippuyksikkö (Finnish Centre of Excellence in Molecular Systems Immunology and Physiology Research, SyMMyS), jota johtaa VTT ja jossa ovat mukana mm. Aalto-yliopiston laskennallisen systeemibiologian tutkimusryhmä (johtajana Harri Lähdesmäki) sekä Turun yliopiston ja Åbo Akademin yhteisen Turun biotekniikan keskuksen molekyyli-immunologian tutkimusryhmä (Riitta Lahesmaa). Aallon ryhmä on keskittynyt tutkimuksessaan molekyylien ja geenien säätelymekanismeihin ja Turun ryhmä puolestaan immuunijärjestelmiin, kantasoluihin ja mm. sokeritautiin.



Esko Juhani Ukkonen, syntynyt 26.1.1950 Savonlinnassa.

Ylioppilas 1968 (Kouvolan lyseo). FM 1973, FL 1976, FT 1978 (Helsingin yliopisto).

Assistentti, amanuessi, tutkimusapulainen 1973–77 ja yliassistentti 1978–81 (Helsingin yliopisto), nuorempi tutkija (Suomen Akatemia) 1980–81, apulaisprofessori 1981–85 ja tietojenkäsittelyopin professori 1985– (Helsingin yliopisto). Vieraileva tutkija 1981–82 (University of California at Berkeley), vieraileva tutkija 1990–91

(Universität Freiburg), vieraileva tutkija 1994 (Universität Bielefeld). Suomen Akatemian akatemiaprofessori 1999–2004. Tutkimusjohtaja 2004–08 (Helsinki Institute for Information Technology, HIIT).

Tietojenkäsittelytieteen Seuran johtokunnan jäsen 1982–83, varapuheenjohtaja 1996–98 ja puheenjohtaja 1999–2000. Suomen Akatemian luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan jäsen 2013–2015. Suomen Akatemian huippuyksikön johtaja 2002–2007 ja 2008–2013.

Helsingin yliopiston Kymenlaakson osakunnan inspehtori 1995–2009. Rolf Nevanlinna -instituutin johtokunnan puheenjohtaja 1998–2003, Helsingin yliopiston Biotekniikan instituutin johtokunnan puheenjohtaja 2009–, Julkaisufoorumi-hankkeen tietojenkäsittelytieteen paneelin puheenjohtaja 2010–. Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 2000, Bioinformatiikan seuran kunniajäsen 2009. Alko-yhtiöt Oy:n biotekniikkapalkinto 1996, Helsingin kaupungin tiedepalkinto 2007.

Esko Ukkonen aloitti monipuolisen tieteellisen tutkimustyönsä kieliopista ja jäsenysteoriasta siirtyen sittemmin algoritmeihin, logiikkaohjelmointiin ja bioinformatiikkaan. Ukkonen on tunnetuin suomalainen algoritmitutkija erityisesti merkkijonomenetelmiä käsittelevän tutkimustyönsä ansiosta ja hänen merkkijonoalgoritminsa ovat monen kansainvälisen oppikirjan perusasioita.

Eskon harrastuksia ovat kaupunkiretkeily ja klassinen musiikki. Hän on mitä suurimmassa määrin pitkän ja puhtaan linjan yliopistomies, jolla on vahva työmoraali ja korkea laadun tavoitetaso. Esko tuntee kaikki, jotka ovat jollain lailla tuntemisen arvoisia, joten häneltä voi aina kysyä luotettavaa mielipidettä kenestä tahansa. Eskon monimielinen ja syvälinen elämänohje on: "Projekteja pitää olla".

Kieliteknologia

Kieliteknologialla ((human) language technology, natural language processing) tarkoitetaan ihmisten käyttämiin ”luonnollisiin” kieliin kohdistuvaa tai niitä tietojenkäsittelyssä hyödyntävää tekniikkaa. Kieliteknologian osa-alueesta, jossa tutkitaan kielten automaattista tunnistamista, jäsentämistä ja tuottamista, käytetään puolestaan nimitystä tietokoneлингvistiikka. Tieteenalana kieliteknologia yhdistää tietojenkäsittelytiedettä ja (yleistä) kielitiedettä, ja sen tärkeimpiä sovellusalueita ovat mm. tekstimuotoisen tiedon hallinta, tiedonhaku, automaattinen kieliopin ja oikeinkirjoituksen tarkistus, automaattinen kielenkääntäminen, automaattinen puheentunnistus ja tietokoneavusteinen kielen oppiminen.

Historiallisesti merkittävin suomalainen tutkimustulos kieliteknologian saralla on Helsingin yliopiston tietokoneлингvistiikan professorin Kimmo Koskenniemen vuonna 1983 julkaisema morfologinen kaksitasomalli (two-level morphology) luonnollisissa kielissä esiintyvien sanojen rakenteen ja niiden erilaisten muotojen määrittelyyn. Koskenniemen yleinen, kielestä riippumaton malli perustuu leksikaalisten merkkijonojen (sanojen ja niiden erilaisten taivutusmuotojen) välisiin merkkikohtaisiin rajoitteisiin, joita sovelletaan sanojen taivutuksessa rinnakkain. Kaksitasomallille kehitettiin jo 1980-luvulla useita toteutuksia, joilla pystyttiin analysoimaan mm. englannin, ranskan, espanjan ja italian morfologiaa. Malli tuoteistettiin 1990-luvulla Lingsoft Oy:n morfologisena jäsentimenä, joka tunnistaa suomenkielisiä sananmuotoja ja päättelee niille mahdolliset sanaluokat sekä perus- ja taivutusmuodot.

Luonnollisen kielen analysointimenetelmien kehittyttyä ja yleistyttyä 1990-luvulla mm. dokumenttien hallintaan alueelle perustettiin vuosina 2001–2007 toiminut laaja kieliteknologian opetuksen ja tutkimuksen verkosto (KIT). Verkostoa koordinoitiin Helsingin yliopiston yleisen kielitieteen laitoksella ja siinä oli mukana yhdeksän yliopistoa. Samat toimijat pyörittivät vuosina 2002–2009 myös monitieteistä kieliteknologian valtakunnallista tutkijakoulua.

Laskennallinen luovuus

1960-luvulla alkaneen tietokonemusiikin tutkimuksen jälkeen automatisoitu taide on levinnyt myöhemmin muillekin luovan työn alueille. Esimerkiksi erilaisten tekoälymenetelmien avulla ryhdyttiin generoimaan abstrakteja maalauksia 1970-luvulla, kertomuksia 1980-luvulla ja vitsejä 1990-luvulla. Alueen tutkimus on 2000-luvulla laajentunut siinä määrin, että siitä on ryhdytty käyttämään omaa yleisnimitystä *laskennallinen luovuus* (computational creativity, artificial creativity, creative computation). Tutkimusala kattaa kaikki sellaiset inhimillisen toiminnan muodot, joissa tarvitaan jonkinlaista ”luovuutta”, parhaimpina esimerkkeinä taiteen eri lajit. Suosituin laskennallisen luovuuden muoto ovat taidetta automaattisesti tuottavat menetelmät ja työkalut, mutta tutkimuskenttään sisältyvät myös mm. luovuuden käsitteellinen mallintaminen ja luovan työn tietokoneavustettu tukeminen.

Suomessa suurin laskennallisen luovuuden tutkimusryhmä on Helsingin yliopistossa Hannu Toivosen johtama Discovery (Data Mining and Computational Creativity). Ryhmä kehittää ja soveltaa tiedonlouhintaan perustuvia algoritmisia menetelmiä luovien järjestelmien kehittämiseen, tärkeimpinä sovellusalueina runojen ja huumorin tuot-

taminen (Toivonen, Oskar Gross, Jukka Toivanen, Alessandro Valitutti) sekä nukkumisen muuntaminen musiikiksi (Toivonen, Joonas Paalasmaa).

(Suomenkielisten) runojen generointi perustuu kahteen korpukseen, ”taustatietoon” ja ”muotoon”. Taustatiedosta, jona käytetään suomenkielistä Wikipediaa, etsitään aluksi käyttäjän antamaan runon aiheeseen (yhteen tiettyyn sanaan) semanttisesti liittyviä sanoja. Sen jälkeen muutokorpuksesta, so. kokoelmasta vanhoja suomalaisia runoja, valitaan satunnaisesti halutun mittainen runopohja, jossa esiintyviä sanoja korvataan taustatiedosta poimituilla sanoilla muuntaen ne morfologisesti alkuperäisessä runossa esiintyvien sanojen kanssa yhtenevään muotoon. Täten ikään kuin tuotetaan Wikipedian hengessä semanttisesti moderni runo käyttämällä sen perustana jonkin klassisen runon rakennetta ja rytmiä. Menetelmällä on tuotettu mm. seuraava laskennallisesti luova runo:

Ihme

*Oli raskas ihme se erakon.
Ei kuollut ihmeen ilo.
Oli kevyt se uni hongikon
ja raskaana uneksi tunnelma.
Ei tuonut uni tuvassaan.*

Meri

*Sorvasi rannat korkeat
kipposiksi, rakkauksiksi
suostutti sumuisen meren,
kanteli pieniksi ihmisiksi,
meren rantojen luoda.*

Runoilijoiden ja tietokoneen tuottamat runot ovat useimmiten varsin lähellä toisiaan: Discovery-tutkimusryhmän tekemässä kyselyssä runoilijoiden tekeleistä noin 90 % katsottiin ”oikeiksi runoiksi”, kun vastaava luku automaattisesti tuotetuilla teksteillä oli noin 82 %. Runoilijoiden runoista pidettiin keskimäärin enemmän kuin generoituista runoista, mutta arvioissa esiintyi runsaasti päällekkäisyyttä, mistä voidaan vetää se johtopäätös, että suuri osa parhaasta automaattisesta tuotannosta on laadultaan parempaa kuin oikeiden runoilijoiden varsinaiset pohjanoteeraukset. Suurimmat erot ilmenivät ymmärrettävyydessä, joka automaattisesti generoiduissa runoissa oli selvästi alempi kuin runoilijoiden kirjoittamissa runoissa. Toisaalta tämä voidaan katsoa myös laskennallisen luovuuden valtiaksi: näin saadaan aikaan radikaalisti erilaisia runoja, ainakin klassisten runoilijoiden tasapaksuun tuotantoon verrattuna. Samaan on päätynyt generoituja runoja radiossa ähkien ruotinut runoraativalho Jukka Virtanenkin.

Huumorin tuottaminen perustuu varsin yksinkertaiseen ideaan korvata tavanomaisessa (lyhyessä englanninkielisessä) lauseessa yksi sana joko kirjoitus- tai ääntämisasultaan samankaltaisella sanalla. Jotta uusi lause ymmärrettäisiin ”huumoriksi”, on

korvaavan sanan oltava joko yllättävä ja alkuperäiseen asiayhteyteen kuulumaton taikka puolituhma ”tabu”. Esimerkki edellisestä on seuraava lausahdus, joka on tuotettu korvaamalla alkuperäisessä kansanviisaudessa sana ”cat” sanalla ”fat”:

curiosity kills the fat

Menetelmällä on tuotettu suuri joukko huumoripläjäyksiä muokkaamalla julkisessa arkistossa olevia tekstiviestejä. Discovery-ryhmän tekemässä laajassa kyselyssä muunnettuja viestejä pidettiin kaiken kaikkiaan melko vitsikkäinä (keskimäärin arvosanalla 3 / 5) ja – kuten odottaa saattaa – mehevimpänä olivat pieru- ja muut tabuviestit, joista esimerkkinä seuraava (sana ”part” korvattu sanalla ”fart”):

I've sent you my fart

Luovuuden tietokoneavustettuja muotoja tutkitaan puolestaan Aalto-yliopiston mediatekniikan laitoksessa toimivassa Art & Magic -tutkimusryhmässä, jota johtaa Tapio Takala. Ryhmä on kehittänyt useita virtuaaliympäristöjä, joissa on mahdollista mm. piirrellä ilmaan, soittaa ilmakitaraa ja luoda animaatioita. Ryhmä on lisäksi kehittänyt yhteistyössä Sibelius-Akatemian kanssa virtuaalioopperan, jossa luova koneisto säätelee lavan akustiikkaa ja tuottaa taustalle animaatiota rikastuttamaan laulajien liikkeiden ja sähköisten soitinten luomaa tunnelmaa.

Tietojenkäsittelytieteen opetus

Tietojenkäsittelytieteen pedagogisen tutkimustyön voi katsoa käynnistyneen 1990-luvulla opetusteknologiasta. Alueen suomalaiset uranuurtajat ovat Ari Korhonen ja Lauri Malmi, joiden kehittämää animointi- ja simulointityökalua TRAKLA (samoin kuin sen seuraajaa TRAKLA2:ta) käytettiin Teknillisessä korkeakoulussa tietorakenteiden ja algoritmien opetus- ja opiskeluympäristönä. Korhosen ja Malmin Aalto-yliopistoon perustamassa LeTech-tutkimusryhmässä (Learning + Technology Group) on kehitetty useita muitakin työkaluja mm. ohjelmoinnin, testauksen ja virheenjäljityksen opetukseen sekä opiskelijoiden tekemien harjoitustöiden automaattiseen tarkastamiseen.

1990-luvulla aloitti tietojenkäsittelytieteen pedagogiikan tutkimuksensa myös Erkki Sutinen (alun perin Helsingin yliopisto, sittemmin Joensuun yliopisto / Itä-Suomen yliopisto), joka on tietojenkäsittelytieteen yliopisto-opetuksen lisäksi kehittänyt opetustyökaluja ja -menetelmiä kouluopetukseen samoin kuin erityistukea tarvitseville kehityksensä (erityisesti Tansanian) opiskelijoille ja vammaisille opiskelijoille. Sutisen ansioihin kuuluu myös tietojenkäsittelytieteen opetuksen ja opetusteknologian vakiintuneen kansainvälisen konferenssisarjan *Kolin Kolistelut – Koli Calling* käynnistäminen vuonna 2001.

Tietojenkäsittelytieteen didaktiikkaa ja pedagogiikkaa on 2000-luvulla tutkittu aktiivisesti myös Turun yliopistossa ja Helsingin yliopistossa. Turussa Mikko-Jussi Laakso, Erkki Kaila ja Teemu Rajala ovat tutkineet erityisesti ohjelmoinnin perusopetusta yliopistoissa, lukioissa ja peruskouluissa kehittäen sen avuksi ViLLE-nimisen opetus- ja opiskelutyökalun. Helsingin RAGE-tutkimusryhmässä (Agile Education Research)

puolestaan Jaakko Kurhila, Matti Luukkainen ja Arto Vihavainen ovat kehittäneet ohjattuun, vuorovaikutteiseen ja kovaan tekemiseen perustuvan ”tehostetun kisällioppimisen” (extreme apprenticeship) opetus- ja opiskelumenetelmän, jossa käytetään apuna mm. heidän toteuttamiaan avoimia ohjelmoinnin MOOC-verkkokursseja (Massive Open Online Course).

Ohjelmistoliiketoiminta

Ohjelmistoliiketoiminnan alueella tutkitaan ohjelmistoja ja ohjelmistotuotteita liiketaloudellisesta näkökulmasta. Erityisiä tutkimuskohteita ovat esimerkiksi erilaiset ohjelmistoihin ja ohjelmistoperustaisiin palveluihin soveltuvat liiketoimintamallit, globaalit ohjelmistomarkkinat ja ohjelmistoyritykset. Suomessa ohjelmistoliiketoiminnan tutkimus käynnistyi vasta 2000-luvun alkupuolella ja sitä on toistaiseksi tehty suhteellisen vähän.

Suomessa näkyvintä ohjelmistoliiketoiminnan tutkimusta on tehnyt Pasi Tyrväinen Jyväskylän yliopistossa (Agora-tutkimusyksikkö). Hänen tutkimuskohteitaan ovat olleet erityisesti ohjelmistoyritysten sisällönhallinta sekä ohjelmistopalveluiden (Software-as-a-Service, SaaS), pilvipalveluiden ja pilvilaskennan liiketoimintamallit. Muista ohjelmistoliiketoiminnan tutkijoista voi mainita Veikko Seppäsen ja Juhani Warstan (Oulun yliopisto: ohjelmistokehityksen sopimukset ja ulkoistaminen) sekä Jukka Heikkilän (Jyväskylän yliopisto ja Turun yliopisto: verkottuneiden ohjelmistoyritysten yhteiset liiketoimintamallit).

III

SUOMEN TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAATU

Suomalaisen tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksen ja opetuksen laatua on arvioitu 1990-luvun alusta lähtien. Opetusministeriö ja Suomen Akatemia ovat korostaneet laadun merkitystä ja palkinneet laadukkaasta toiminnasta nimeämällä mm. huippu- ja laatuysiköitä ja tutkijakouluja sekä nimittämällä akatemiaprofesso-reita. Niitä kaikkia on tietojenkäsittelytieteisiin saatukin kiitettävä määrä, mutta viime vuosina laatutrendi on alalla kääntynyt huolestuttavasti laskuun. Kansainvälisessä kärjessä on useita suomalaisia tutkijoita ja tutkimusryhmiä, mutta varsinaiset tieteen supertähdet puuttuvat.

22. ARVIOINNIT

Tieteenala-arviointi 1989–1990

Suomen Akatemia ryhtyi 1970-luvulla teettämään kotimaisen tutkimuksen laajoja tieteenala-arviointeja. 1980-luvulle tultaessa arviointeihin pääsivät mukaan myös luonnontieteen ja tekniikan alat, ensimmäisenä epäorgaaninen kemia vuonna 1983. Tietojenkäsittelytieteiden vuoro tuli vuonna 1988, jolloin Akatemia päätti käynnistää alan tutkimuksen ja koulutuksen kansainvälisen arvioinnin. Perusaineisto koottiin ja toimitettiin vuonna 1989 arviointikomitealle, joka vieraili arvioitavissa yksiköissä 25.5.–1.6.1990 ja julkisti arviointiraporttinsa 30.6.1990.

Kovatasoisen arviointikomitean puheenjohtajaksi valittiin Alfred V. Aho (AT&T Bell Laboratories, USA) ja muiksi jäseniksi Niels Bjørn-Andersen (Copenhagen Busi-



ness School, Tanska), A. Nico Habermann (Carnegie-Mellon University, USA), Erich J. Neuhold (GMD, Saksan Liittotasavalta), Jorma Rissanen (IBM Almaden Research Center, USA), Jean-Claude Simon (Université Pierre et Marie Curie, Ranska) ja E. Burton Swanson (University of California at Los Angeles, USA). Komitealle annettiin tehtäväksi arvioida suomalaisen tietojenkäsittelytieteen perustutkimuksen tasoa sekä henkilö- ja laiteresurssien riittävyttä ja asianmukaisuutta, löytää jatkokehityksen kohteita ja antaa suosituksia alan perustutkimuksen ja opetuksen kehittämiseksi. Komitea jakoi arvioitavan tieteenalan jo vakiintuneeseen tapaan kolmikannaksi *tietojenkäsittelytiede* (Computer Science), *tietotekniikka* (Computer Engineering) ja *tietojärjestelmätiede* (Information Systems).

Komitea arvioi kaiken kaikkiaan 24 yksikköä tai ryhmää antaen seuraavat niitä kaikkia (ja samalla koko suomalaista tietojenkäsittelytieteiden yhteisöä) koskevat kehittämissuosituksiset:

- kansainvälistyminen: parhaissa kansainvälisissä lehdissä ja konferensseissa julkaiseminen, opiskelija- ja tutkijavaihto
- opetuksen tasapainottaminen: opetuskuorman vähentäminen, opettajien määrän lisääminen, opetuksen arvostuksen nostaminen
- koulutusohjelmien virtaviivaistaminen: jatko-opintoaikojen lyhentäminen, alemman perustutkinnon (BSc) käyttöönotto
- kurssiarviointien käyttöönotto ja parhaiden opettajien palkitseminen
- käynnissä olleiden kansallisten tohtoriohjelmien jatkaminen
- tutkimuksen strateginen pitkän tähtäimen suunnittelu: lyhyiden teknologia-hankkeiden korvaaminen perustutkimuksella, tohtorien määrän lisääminen
- alueellisten yliopistojen perustaminen: pienten laitosten yhdistäminen laajalla alueella toimivien ”keskusiopistojen” ”satelliittikampuksiksi”
- naisten aseman parantaminen: naispuolisten tohtoriopiskelijoiden ja tutkijoiden määrän lisääminen, tietojenkäsittelyn maskuliinisen imagon muuttaminen
- ohjelmistotekniikan tutkimuksen lisääminen
- ohjelmointikielten (epätieteellisen) opetuksen poistaminen opetusohjelmista

Jälkiviisain silmin katsottuna komitean yleiset suositukset olivat melko linjattomia: seassa on vähän sitä sun tätä suurista visioista (alueelliset yliopistot) aina pikku detaljeihin asti (ohjelmointikielten opetus). Juuri nämä ääripäät ovat jääneet täysin toteutumatta, ellei sitten yliopistouudistuksen myötä vuonna 2010 tehtyjä yliopistofuusioita tulkita ”alueellisten yliopistojen perustamiseksi” – komitea oli tässä asiassa itse asiassa varsin kaukonäköinen, sillä se suositti Itä-Suomen kolmen yliopiston eli Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun, Kuopion yliopiston ja Joensuun yliopiston koulutusohjelmien yhdistämistä.

Jotakin on vuoden 1990 jälkeen saatu aikaankin: ainakin opettajien määrää on lisätty, kurssiarviointeja on tehty, opettajia on palkittu, alemmat perustutkinnot on otettu käyttöön, tohtoriohjelmaa on jatkettu ja tohtorien määrää on lisätty. Listalla oli myös tietojenkäsittelytieteiden ikuisia murheenkrynejä, joihin on (tuloksetta) palattu lähes

kaikissa myöhemmissä arvioinneissa: kansainvälistyminen, perustutkimuksen lisääminen, (jatko-) opintoaikojen lyhentäminen ja naisten aseman parantaminen.

Laitoksia ruotiessaan komitea oli hyvien akateemisten tapojen mukaisesti varsin kohtelias jakaen kaikille pääasiassa kehuja. Esimerkiksi Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin laitosta keuhuttiin raportissa sen maailmanluokan maineesta samoin kuin kaukonäköisestä ja teknisesti taitavasta johtoportaaasta ja todettiin olevan Suomen etujen mukaista, mikäli laitos saisi kasvaa entisestään ja laajentaisi ohjelmistotekniikan, tietoliikenteen ja hajautettujen järjestelmien tutkimustaan. Tampereen yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksella puolestaan todettiin olevan potentiaalia tulla yhdeksi maailman johtavista alan laitoksista ja ehdotettiin aseman saavuttamiseksi professorien määrän lisäämistä. Mielenkiintoinen yleisestä linjasta poikkeava suositus koski Oulun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitosta, jota kannustettiin siirtymään teoreettisesta tutkimuksesta soveltavammille alueille. Laitokselle annettiin myös varovainen suositus (”might be suggested”) korottaa opettajien ja tutkijoiden palkkoja, jotta ne olisivat kilpailukykyiset alueen atk-yritysten maksamien kanssa.

Ainoa kunnolla pyyhkeitä saanut yksikkö oli Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), jota moitittiin tutkimuksen huonosta laadusta, lyhytjänteisestä bulkki-tutkimuksesta ja kansainvälisyyden puutteesta. Ratkaisuksi suositeltiin osittaista siirtymistä perustutkimukseen, kunnianhimoisempien tutkimushankkeiden käynnistämistä, yhteistyön lisäämistä kotimaisten yliopistojen ja ulkomaisten yritysten kanssa sekä eurooppalaisiin tutkimusohjelmiin mukaan menemistä. VTT:n Oulun yksikölle annettiin konkreettinen suositus luopua teollisuudessa jo muutenkin käytössä olevan SA/RT-menetelmän (Structured Analysis with Real-Time Extensions) kehittämisestä ja siirtymään esimerkiksi VDM:n (Vienna Development Method) tai Z:n käyttöön, jolloin saataisiin teollisuus ottamaan kunnan kukonaskel (”technology jump”) tuotekehityksessään.

Toisin kuin yleensä, arviointiraportissa nostettiin hahmottomien laitosten lisäksi esiin myös suomalaisen tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksen huippunimiä. Teuvo Kohonen (Teknillinen korkeakoulu) mainittiin neuroverkkotutkimuksen uranuurtajana, samalla ihmetellen TKK:n nuivaa suhtautumista hänen ryhmänsä laajentamiseen. Ratkaisuksi komitea ehdotti riippumattoman tutkimuslaitoksen perustamista Kohosen menestyksen pohjalle. Arto Salomaan (Turun yliopisto) teoreettisen tietojenkäsittelytieteen tutkimus mainittiin yhdeksi maailman parhaista, joten komitea suositteli myös hänen ryhmänsä kasvattamista. Ralph-Johan Back (Åbo Akademi) oli komitean mukaan paitsi lahjakas tutkija, myös hyvä johtaja, organisoiija ja visionääri, jota viranomaisten pitäisi kannustaa käyttämään kykyjään Suomen yliopistojen ja yritysten parhaaksi myös jatkossa. Jo verrattain nuorella iällä saavuttamansa kansainvälisen aseman ansiosta Kalle Lyytinen (Jyväskylän yliopisto) olisi komitean mielestä ansainnut lisää tutkijoita ryhmäänsä, samoin kuin Erkki Oja (Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu), jonka ryhmä olisi lisäksi pitänyt vapauttaa tutkimusta vaarantavasta opetuskuormasta.

Koska vuosien 1989–1990 tieteenala-arvioinnille ei tehty seurantaa, ei suoraa dokumentoitua näyttöä ole siitä, saivatko Kohonen, Salomaa, Back, Lyytinen ja Oja sellaisen kansallisen erityiskohtelun, jota komitea heille suositti, vai hukkuivatko suositukset sy-

välle suomalaisen tiedepolitiikan syövereihin. Viisikon myöhemmistä vaiheista voi kuitenkin päätellä, ettei tuolloisille huipuillemme ainakaan kovin huonosti ole käynyt.

Suomen tieteen tila ja taso

Suomessa käynnistyi 1980-luvulla laaja tutkimuspoliittinen keskustelu siitä, pitäisikö julkinen tutkimusrahoitus kohdistaa entistä valikoidummin ”huipputason” tutkimukseen. Valikoivan rahoituksen periaatteita kirjattiin valtion tiede- ja teknologianeuvoston strategioihin ja Suomen Akatemian toimintalinjauksiin, ja kun Akatemian toimintaa arvioinut kansainvälinen työryhmä asettui vuonna 1992 samalle kannalle, oli aika kypsä suomalaisen innovaatiojärjestelmän ja huippuyksikköstrategian luomiselle. Opetusministeriö käynnisti strategian toteuttamisen vuonna 1994 ottamalla yliopistoille myönnettävän tuloksellisuusrahan yhdeksi kriteeriksi tutkimuksen ja opetuksen korkean laadun. Samalla opetusministeriö pyysi korkeakouluneuvostoa nimeämään kymmenen tutkimuksen ja opetuksen korkean laadun yksikköä ja Suomen Akatemiaa tekemään esityksiä tutkimuksen huippuyksiköiksi. Ensimmäiset laatu- ja huippuyksiköt, yhteensä 22 kappaletta, nimettiin vuosiksi 1995–96.

Varmistaakseen, ettei huippuyksiköille kohdistettu rahoitus mene harakoille, velvoitti opetusministeriö Akatemiaa tekemään säännöllisiä arvioita Suomen tieteen yleisestä tilasta ja tasosta. Ensimmäinen arviointi tehtiin vuonna 1997, minkä jälkeen niitä on toistettu kerran jokaisen kolmivuotisen Akatemian toimikuntakauden aikana siten, että kukin toimikunta on vastannut edustamiensa tieteenalojen arvioinnista. Arviointeihin on liittynyt myös ehdotusten tekeminen sekä tutkimuksen tason että sen arviointimenetelmien kehittämiseksi.

Vuonna 1997 tehdyssä arvioinnissa todettiin yleisesti suomalaisen tutkimuksen kehittyneen selvästi 1980-luvun alkuun verrattuna: työn määrä oli kohonnut, laatu parantunut ja kansainvälinen näkyvyys lisääntynyt. Kehittämiskohteina nostettiin esiin tutkijankoulutuksen ja tutkijanuran kehittäminen (erityisesti tutkijakoulut), tutkimuksen laadun kohottaminen (kansainvälinen julkaisutoiminta ja huippuyksiköt), strategiset avainalueet (Akatemian tutkimusohjelmat) ja yliopistojen rahoitusrakenne (budjettirahoituksen lisääminen).

Vuoden 1997 arviointiprojektissa luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunta hajautti arvioinnin edelleen kahdeksalle työryhmälle, jotka edustivat toimikunnan eri tieteenaloja, matematiikkaa, informaatiotekniikkaa, elektroniikkaa ja sähkötekniikkaa, geo- ja avaruustieteitä, fysiikkaa, kemiaa, prosessitekniikkaa sekä ”muuta tekniikkaa” (konetekniikkaa, rakennus- ja yhdyskuntatekniikkaa, tuotantotaloutta, arkkitehtuuria ja teollista muotoilua). Työryhmät hoitivat tehtävänsä keräämällä tarvittavaa tietoa yliopistoille ja tutkimuslaitoksille tehdyistä kyselyistä, asiantuntijoiden kuulemistilaisuuksista, julkaisuanalyseista, Tilastokeskuksen aineistoista sekä opetusministeriön ja Akatemian raporteista. Informaatiotekniikan työryhmän puheenjohtajana ja sitä koskevan raportin vastuuhenkilönä toimi Jyväskylän yliopiston tietotekniikan professori Pekka Neittaanmäki.

”Informaatiotekniikka” sisälsi arvioinnissa tietojenkäsittelytieteet, niihin liittyvän laitetekniikan ja tietoliikenneohjelmistot. Tietojenkäsittelytieteet puolestaan sisälsivät tietojenkäsittelytieteen (computer science), ohjelmistotekniikan (software engineering)

ja tietojärjestelmätieteen (information systems) sekä tietyiltä algoritmisilta ja sovelta-
vilta alueilta myös matemaattisen tietojenkäsittelyn ja tieteellisen laskennan. Arviointia
varten kerättiin tietoja yhteensä 24:stä kyseisten alojen osastosta, laitoksesta, labo-
ratoriosta ja tutkimusyksiköstä.

Näiden yksiköiden antamista mielipiteistä johdettiin Suomen informaatiotekniikan
tutkimusta koskeva SWOT-analyysi, joka sisälsi mm. seuraavia kohtia:

Vahvuudet (Strengths)

- edelläkävijä monessa asiassa
- voimavarojen suuntaaminen alalle
- monipuolisuus ja laaja-alaisuus
- laatu kansainvälisesti kovaa luokkaa
- tutkimuksen aihepiirit usein enemmän sovelluslähtöisiä kuin monissa muissa maissa

Heikkoudet (Weaknesses)

- liian paljon pieniä yksiköitä, pirstoutuminen
- rahoitusongelmat
- liikeyrityksillä sangen rajoitetut mahdollisuudet panostaa tutkimukseen (poikkeuksena mm. Nokia, ABB)
- teoriaosaaminen monesti puutteellista
- todellista huippututkimusta melko vähän

Mahdollisuudet (Opportunities)

- eurooppalaistuminen
- alan merkityksen kasvu (sovellusten mukana)
- profiloituminen
- yhteistyö
- teollisuuden voimakkaat odotukset tutkimustuloksista ja osaavista ihmisistä

Uhat (Threats)

- liikaa aivovuotoa teollisuuteen ja ulkomaille
- kilpailu pätevistä henkilöistä
- laitokset teoretisoituvat liikaa, kun teoretikot jäävät yliopistoihin mutta kokeellisen tutkimuksen edustajat siirtyvät teollisuuteen
- tutkimuksen lyhytjänteistyminen
- jatkuvasti niukkenevat perusresurssit

Kuten aina, mielipiteet menivät siis melkoisesti ristiin: yhdet pitivät tutkimuksen laa-
tua kansainvälisesti ”kovana”, kun taas toiset totesivat ”todellista huippututkimusta”
olevan vähän; kolmannet pitivät sovelluslähtöisyyttä ja teollisuusyhteistyötä hyvänä
asiana, kun taas neljänsien mielestä ne olivat päinvastoin heikkouksia; rahaa (eli ”voi-
mavaroja”) oli viidensien mielestä paljon ja kuudensien mielestä liian vähän; jne. Sir-
paleisesta perusdatasta työryhmä onnistui kuitenkin jalostamaan seuraavat tavoitteet
informaatiotekniikan tutkimustoiminnan kehittämiseksi:



1. Suhteellista rahoitusta koko Suomen Akatemian rahoituksesta on kasvatettava alan suhteellisen merkityksen mukaiseksi.
2. Suomen Akatemian on huolehdittava siitä, että kaikki strategisesti tärkeät informaatiotekniikan alueet saavat tutkimusrahoitusta.
3. Informaatiotekniikan tutkimuksen yhteistyötä muiden oppiaineiden kanssa on lisättävä siten, että käynnissä oleva suuntautuminen sovelluksiin voidaan saavuttaa.
4. Informaatiotekniikkaa soveltavien tieteenalojen kuten fysiikan, tekniikan, biotekniikan, viestintätieteen ja taloustieteen tulisi nostaa osaamisensa tasoa informaatiotekniikassa.
5. Yhtenäinen virtuaalisten ympäristöjen tietokonesimuloinnin kehittämisohjelma tulisi käynnistää Suomen Akatemian ja Tekesin yhteistyönä.
6. Informaatiotekniikkaosaamista tulisi lisätä paitsi luonnontieteiden ja tekniikan myös yhteiskuntatieteiden ja humanististen tieteiden osa-alueilla.
7. Uusien teknologisten ratkaisujen, kuten hajautetun ja liikkuvan tietojenkäsittelyn, multimedian, ryhmätyöteknologioiden, internetin ja verkostoitumisen sekä ohjelmistoratkaisujen tutkimusta varten tulisi käynnistää mitattava organisaatioiden uusia tietojärjestelmäratkaisuja koskeva tutkimus- ja kehittämisohjelma.
8. Suomen Akatemian, Tekesin, tiettyjen ministeriöiden, korkeakoulujen, tutkimuslaitosten ja alan yritysten tulisi perustaa kansallinen informaatiotekniikan kehittämisohjelma, joka täydentäisi ja jatkaisi Suomi tietoyhteiskunnaksi -hanketta tietyillä avainalueilla.

Arviointiraporttiin koottiin lisäksi korkeakoulukohtaisia tietoja arviointiin osallistuneiden yksiköiden henkilöstöstä, rahoituksesta, tutkinnoista ja julkaisuista vuosilta 1992–1996. Kyseisten viiden vuoden aikana tuotettiin referoituja lehti- ja proceedings-artikkeleita ylivoimaisesti eniten Tampereen teknillisessä korkeakoulussa (TTKK: ohjelmistotekniikan laitos, signaalinkäsittelyn laitos, tietoliikennetekniikan laitos, tietotekniikan laitos Porissa), yhteensä 559 kappaletta (142+417). Seuraavan sijan jakoivat 266 artikkelilla Oulun yliopisto (OY: tietojenkäsittelyopin laitos, informaationkäsittelyn laboratorio, tietokonetekniikan laboratorio, tietoliikennelaboratorio) (54+212) ja Teknillinen korkeakoulu (TKK: digitaalitekniikan laboratorio, informaatiotekniikan laboratorio, tietojenkäsittelyopin laboratorio, neuroverkkojen tutkimusyksikkö) (61+205). Viimeisiksi jäivät Svenska handelshögskolan (SHH: institutionen för statistik och ADB) 24 artikkelilla (11+13), Vaasan yliopisto (tietotekniikan ja tuotantotalouden laitos) 43 artikkelilla (2+41) ja Helsingin kauppakorkeakoulu (johtamisen laitos) 46 artikkelilla (24+22).

Analyysi ei välttämättä erottanut tutkimuksen jyvää akanoista vaan pikemminkin rikkaat köyhistä, sillä tuotokset olivat linjassa panosten kanssa: eniten referoituja julkaisuja aikaan saaneilla yksiköillä oli myös eniten rahaa ja työvoimaa. TTKK:n yksiköiden kokonaisrahoitus kyseisellä kaudella oli yhteensä noin 153 miljoonaa markkaa (mmk) (20 % informaatiotekniikan yksiköiden koko potista) ja niissä tehtiin vuonna 1995 noin 94 henkilötyövuotta (htv). OY:lla vastaavat luvut olivat 106 mmk, 14 % ja 91

htv ja TKK:lla 111 mmk, 15 % ja 98 htv. Arviointikauden köyhin yksikkö löytyi puolestaan SHH:sta: noin 7 mmk, 1 % ja 7 htv.

Koska opetusministeriön ja Suomen Akatemian arviointiprojektin yhtenä keskeisenä tavoitteena oli saada näkemys Suomen tieteen globaalista tasosta, tehtiin arvioinnissa tieteenalojen julkaisutoiminnasta myös kansainvälisiä vertailuja. Informaatiotekniikassa verrattiin Suomen julkaisumääriä joihinkin valittuihin OECD-maihin, erityisesti Isoon-Britanniaan, Japaniin, Norjaan, Ruotsiin, Saksaan, Tanskaan ja USA:han. Analyysi paljasti, että asukaslukuun suhteutettuna Suomi oli noussut vuonna 1996 koko joukon kärkeen noin 35 julkaisulla miljoonaa asukasta kohti, kun esimerkiksi USA:lla vastaava luku oli noin 30, Ruotsilla 22 ja Japanilla 10. Vertailuajanjakson alussa, vuonna 1986, Suomi oli ollut kolmantena noin 9 julkaisulla miljoonaa asukasta kohti, joten nousu oli lähes yhtä huimaa kuin jääkiekossa, jossa Suomi oli vuonna 1986 MM-kisojen nelonen ja vuonna 1995 jo maailmanmestari. Julkaisumäärät kerättiin ISI:n (Institute for Scientific Information) SCISEARCH-tietokannasta.

Vaikka ulkomaalaisiakin on mukava rökittää, nostatti ensimmäisessä Suomen tieteen tilan ja tason arvioinnissa rintaa rottingille erityisesti se, että informaatioteknologia osoittautui ainoaksi luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen tieteenalaksi, joka oli oman alansa ykkönen kansainvälisessä vertailussa (julkaisumäärät suhteutettuna asukaslukuun): prosessitekniikka oli kakkonen, matematiikka, fysiikka sekä elektroniikka ja sähkötekniikka olivat neljänsiä, kemia sekä geo- ja avaruustieteet vasta kuudensia. Toisaalta puhtailla julkaisumäärillä mitattuna Suomi oli pikkutekijä myös informaatiotekniikassa, jonka kaikista julkaisuista se tuotti vuonna 1996 vaatimattomat 0,72 prosenttia.

Seuraavissa Akatemian toteuttamissa arvioinneissa tarkasteltiin paitsi Suomen tieteen tilaa ja tasoa myös tutkimuksen vaikuttavuutta. Erityiseen tarkkailuun joutui informaatiotekniikka, johon suunnattiin poikkeuksellisen runsaasti tutkimusrahoitusta 1990-luvun lopussa ja 2000-luvun alussa. Suurin ansio suotuisasta kehityksestä kuuluu Nokialle ja sen edustamalle sähkö- ja elektroniikka-alalle, jonka nousu suomalaisen teollisuuden veturiksi poiki sekä julkisen että yksityisen sektorin voimakasta panostusta ns. tietoteollisuuden tutkimukseen ja koulutukseen. Akatemian (luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan) tieteenaloista tietoteollisuuteen kuuluviksi katsottiin informaatiotekniikka (eli tietotekniikka, tietoliikenne ja tietojenkäsittelytieteet), elektroniikka ja sähkötekniikka.

Vuonna 2000 julkaistussa katsauksessa vaadittiinkin Akatemialta erityisen voimakasta panostusta informaatiotekniikan, elektroniikan ja sähkötekniikan tutkimukseen, koska niiden julkinen rahoitus laahasi pahasti yrityssektoria perässä. Vaatimukselle antoi perustaa, paitsi kansallinen etu, myös se, että kyseiset tietoteollisuuden tieteenalat olivat kansainvälistä huippuluokkaa arvioitaessa tieteellisiä julkaisuja ja niihin kohdistuvia viittauksia: informaatiotekniikka oli vuosina 1997–1999 säilyttänyt vuonna 1996 hankkimansa johtoaseman laskettaessa julkaisujen määriä miljoonaa asukasta kohti ja elektroniikka ja sähkötekniikka olivat nousseet nelossijalta toiseksi. Suomalaisen informaatiotekniikan julkaisujen osuudeksi alan kaikista julkaisuista vuonna 1999 arvioitiin 0,88 % (viittauksista 0,90 %), kun vastaava luku vuonna 1996 oli siis



ollut 0,72 %. Luvut eivät ole täysin vertailukelpoisia, sillä lähteenä käytetty julkaisutietokanta oli vaihtunut ISI:stä National Science Indicatorsiksi (NSI).

Katsauksen mukaan informaatiotekniikassa oli vuosituhannen vaihteessa nähtävissä selvä, kansainvälisiä trendejä noudattava sisällöllinen muutos perinteisestä sisäisestä tieteenalan teoriasta kohti sovelluslähtöisiä kysymyksiä, joista esiin nostettiin kvanttilaskenta, mobiili laskenta, laskennallinen biologia, tietämyksen muodostus, tilastotiede ja kieliteknologia. Vaikka suuntausta pidettiin yleisesti ottaen myönteisenä, nähtiin toisaalta uhkana ”sellainen muiden alojen dominoima hedelmätön monitieteisyys, joka ei johda informaatiotekniikan kannalta kiinnostaviin tuloksiin”. Katsauksessa suositeltiin informaatiotekniikan tilan ja tason parantamista tutkimuksen voimakkaalla tukemisella, perinteisen informaatiotekniikan keskeisten alueiden (etenkin ohjelmistojen) tutkimuksella, tutkijankoulutuksella ja kansainvälisellä yhteistyöllä.

Vuonna 2003 julkaistussa katsauksessa ei noteerattu IT-kuplan puhkeamista vaan todettiin, että tietoteollisuutta tukevien tieteenalojen kansantaloudellinen merkitys on edelleen suuri ja että näille aloille myönnetty Suomen Akatemian tutkimusrahoitus ei vielääkään vastaa rahoituksen kokonaistarvetta. Tutkimuksen kansainvälistä vaikuttavuutta ja näkyvyyttä arvioitiin tällä kerralla laskemalla NSI-tietokannasta kunkin tieteenalan viittauskertoimet (viittausten määrä / julkaisujen määrä). Analyysi osoitti mm., että Suomen tietojenkäsittelytiede oli vuodesta 1982 lähtien ollut melkein jatkuvasti keskimääräisen kansainvälisen tason yläpuolella. Mielenkiintoinen yksityiskohta on, että ainoa viivan alapuolelle pudonnut kausi oli 1985–89, joka seuraa (liukuvana viisivuotisperiodina) heti välittömästi käyrän huippukautta 1984–88. Käyrästä voi siis päätellä, että joko vuoden 1984 julkaisut olivat poikkeuksellisen vaikuttavia tai vuoden 1989 julkaisut poikkeuksellisen näkyvät.

Katsauksessa kerrattiin jo edellisissä katsauksissa Akatemialle annettuja suosituksia tietoteollisuuteen liittyvien tieteenalojen tutkimusrahoituksen yleisestä lisäämisestä ja niiden pitkäjänteisen perustutkimuksen rahoittamisesta – ilmeisesti sana ei ollut kuulunut tai sitten se ei ollut tehonnut. Lisäksi tutkijankoulutuksen ja kansainvälisen yhteistyön tilalle nostettiin tällä kerralla tarve post doc -tasoisille nuorille tutkijoille sekä bioinformatiikan ja neuroinformatiikan erityispanostukselle.

Vuoden 2006 katsauksessa teemana oli Akatemian rahoittamien tutkimushankkeiden vaikuttavuus. Sitä arvioitiin kuudesta eri näkökulmasta, joita olivat tieteelliset vaikutukset, tutkijoiden sijoittuminen, tutkimushankkeiden yhteistyö ja monitieteellisyys, tutkimuksen jatkuminen, teolliset vaikutukset ja tulosten soveltaminen sekä yhteiskunnallinen muu vaikuttavuus. Hyvin oli taas mennyt, sillä arviointiraportissa todettiin, että ”Akatemian luonnontieteiden ja tekniikan aloilla rahoittamat hankkeet ovat olleet erittäin tuottoisia ja vaikuttavia sekä tieteellisen julkaisutuotannon että opinnäytteiden määrän ja laadun suhteen... Suomen Akatemian perustutkimusrahoitus tarkastelluilla aloilla on myös yhteiskunnallisen vaikuttavuuden osalta kilpailukykyinen soveltavan tutkimuksen rahoitusmuotojen kanssa.” Nämä simakieliset ylistyslaulut koskivat luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen toimikunnan yleisen tutkimusmäärärahaan rahoituspäätöksiä vuosilta 1995–2000. Loistavien arviointitulosten uskottavuudelle ja objektiivisuudelle asettaa tosin pienen kysymysmerkin se, että niistä suurin osa perustui hankkeiden vastuullisille johtajille suunnattuun kyselyyn.

Koska katsauksen teemana oli vaikuttavuus, arvioitiin tieteenaloja kovin eri tavalla kuin aiemmissa katsauksissa, ja esimerkiksi tieteellistä julkaisuutoimintaa ei verrattu kansainväliseen tasoon. Sen sijaan luonnontieteiden ja tekniikan aloilla laskettiin Akatemian rahoituksella tuotettujen vertaisarvioitujen kansainvälisten lehtiartikkeleiden määrä rahoitusvolyymiin ja henkilötyövuosiin suhteutettuna ja päädyttiin siihen, että tietojenkäsittelytieteissä oli saatu aikaiseksi 12 artikkelia miljoonaa euroa ja 4 artikkelia kymmentä henkilötyövuotta kohti. Tuotokset olivat toimikunnan sisäisessä kisassa häntäpäässä, sillä esimerkiksi fysiikassa vastaavat luvut olivat peräti 56 ja 19 ja sähkötekniikassa ja elektroniikassakin 22 ja 7. Raportissa eriskummalliselle tulokselle tarjottiin vakioselityksenä sitä, että teknisten tieteiden ja tietojenkäsittelytieteiden julkaisufoorumina ovat lehtien sijasta pääsääntöisesti konferenssit.

Muun vaikuttavuuden osalta raportissa todettiin mm., että tietojenkäsittelytieteissä (vain) noin kolmasosa hankkeissa työskennelleistä tutkijoista oli sijoittunut elinkeinoelämän palvelukseen ja että tällaisella teollisuusvetoisella alalla liikkuvuuden voisi olettaa olevan suurempaa – ilmeisesti tutkijoilla oli yliopistoissa ja tutkimuslaitoksissa liian lokoisat oltavat. Raportissa ei tällä kerralla annettu ilmeisen turhiksi havaittuja suosituksia vaan tyydyttiin toteamaan kauniisti, että ”tekniikan ja luonnontieteen tutkimus yleisesti ja elektroniikan ja tietotekniikan tutkimus erityisesti ovat viimeisen sadan vuoden aikana mullistaneet lähes kaikki yhteiskuntamme toiminnot ja tämä murrosaika jatkuu edelleen yhä kiihtyvällä vauhdilla”.

Vuoden 1997 arvioinnista alkanut Suomen tieteen tilan ja tason voittokulku katkesi tylysti vuonna 2009, jolloin julkaistussa Akatemian raportissa todettiin maamme kansainvälisen kilpailukyvyn ja aseman tietoyhteiskuntana heikentyneen. Tutkimuksen taso oli kansainvälisissä vertailuissa jäänyt jälkeen jopa kaikista muista Pohjoismaista, ja esimerkiksi tietotekniikkasektori oli menettämässä kansainvälisiä asemiaan. Tulos oli masentava myös sikäli, että Suomi oli kuitenkin panostanut kansainvälisellä asteikolla erittäin paljon tutkimus- ja kehittämistoimintaan, esimerkiksi 3,37 prosenttia bruttokansantuotteesta vuonna 2008.

Mikä oli sitten mennyt pieleen? Raportissa ei sorruttu ruotimaan teollisten suhdanteiden ja pörssikurssien muutoksia vaan keskityttiin kansalliseen tutkimus- ja koulutuspolitiikkaan, josta löytyikin kaksi pääsyllistä luonnontieteiden ja tekniikan tutkimuksen alamäkeen: liiallinen panostaminen soveltavaan tutkimukseen ja tutkijankoulutukseen. Raportin mukaan strateginen kansallinen painotus soveltavaan eli yrityslähtöiseen tutkimukseen oli noussut yhdeksi tieteen keskeisimmistä uhista, koska yritysten intresseissä ei ole tutkimustulosten julkaiseminen tieteellisissä lehdissä. Pitkään jatkunut (tietotekniikan) teollinen nousukausi oli siis ikävä kyllä ollut turmioksi tieteelle, koska ”erityisesti taloudellisen noususuhdanteen aikana teollisuus teetättää tutkimusta yliopistoilla”. Raportissa esitettiin ratkaisuksi samaa kuin aina ennenkin, eli pitkäjänteiseen, ”tiedeyhteisön sisältä syntyvien kysymysten” perustutkimukseen osoitettujen resurssien lisäämistä.

1990-luvulla käynnistetty mittava tutkijankoulutus oli puolestaan johtanut raportin mukaan siihen, että tutkimusryhmiin oli kertynyt liikaa tohtorikoulutettavia suhteessa senioritasosiin tutkijoihin, eli Suomen tutkimus oli ajautunut liiksi oppipoikien varaan. Korjausliikkeeksi ehdotettiin Akatemian rahoituksen painopisteen muuttamista

väitöksen jälkeisen tutkijanuran tukemiseen, post doc -paikkojen lisäämistä ja kotimaisen tenure track -järjestelmän kehittämistä. Ihme kyllä, kurssinmuutos ei aiheuttanut tiedeyhteisössä tavanomaista yksituumaista vastarintaa, vaan tutkijaprofiilia on sekä Akatemian että yliopistojen toimesta 2010-luvulla pyritty siirtämään varttuneempaan ja pätevämpään suuntaan.

Raportissa analysoitiin yhden välikauden jälkeen myös luonnontieteiden ja tekniikan alojen julkaisu- ja viittausmäärien kehitystä vuosina 1988–2007 käyttämällä Ruotsin Vetenskapsrådetin kehittämää fraktionalisointimenetelmää, jonka perustiedot pohjautuivat Thomson Reuters Science Citation Index Expanded -tietokantaan. Pääpaino oli suomalaisten julkaisujen suhteellisissa viittausmäärissä, jotka osoittivat trendin olevan laskeva kemiassa, materiaalitieteessä, energia- ja ympäristötekniikassa, kone- ja valmistustekniikassa, prosessitekniikassa, sähkötekniikassa ja elektroniikassa, tietojenkäsittelytieteissä, tuotantotaloudessa sekä (jyrkästi) rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa ja nouseva puolestaan avaruus- ja tähtitieteessä, fysiikassa, geotieteissä, puunjalostustekniikassa sekä (jyrkästi) matematiikassa ja tilastotieteessä. Suomalaisiin julkaisuihin viitattiin vuosina 2005–2007 useammin kuin alan julkaisuihin keskimäärin fysiikassa, puunjalostustekniikassa sekä matematiikassa ja tilastotieteessä.

Tietojenkäsittelytieteet olivat siis useimpien muiden tieteenalojen tavoin laskusuunnassa. Suhteellisen viittauskäyrän korkeimmat huiput osuivat kausille 1988–1990 ja 2000–2002 pohjanoteerauksen löytyessä puolestaan kaudelta 1990–1992. Suomalaisen alan julkaisujen saamat viittausmäärät putosivat alle kansainvälisen keskitason kaudella 2003–2005, mistä lähtien trendi oli loivassa mutta jatkuvassa laskussa. Analysoitaessa todellisia huippujulkaisuja havaittiin, että ainoastaan noin 2 % suomalaisista tietojenkäsittelytieteiden julkaisuista kuului kansainvälisesti siteeratuimpien viiden prosentin joukkoon eikä ko. osuus ollut vuosikymmenten aikana juurikaan muuttunut. Huippu, noin 4 %:n osuus, sijoittui vuoteen 1996. Kun käyrän taustalla kuvattiin voimakas, noin viisinkertainen julkaisumäärien lisääntyminen vuoden 1990 jälkeen, voidaan todeta, että määrällä ei ainakaan tässä tapauksessa ollut saatu lisää laatua. Toisaalta samassa veneessä oltiin vuonna 2007 muidenkin luonnontieteiden ja tekniikan alojen kanssa, sillä niistä yhdenkään suhteellinen osuus ei yltänyt yli 5 %:n kynnystason alan siteeratuimmista julkaisuista.

Raportin tietojenkäsittelytieteiden yleistä tilaa koskeva osuus pohjautui Akatemian vuonna 2007 julkaisemaan tieteenala-arviointiin, jonka mukaan Suomen tietojenkäsittelytieteiden erityisiä vahvuusalueita olivat tiedon louhinta, koneoppiminen ja jokapaikan tietotekniikka (ubicomp) ja nousevia monitieteisiä aloja puolestaan bioinformaatiikka, laskennallinen biologia ja bioinformaatioteknologia. Raportissa surtiin jälleen kerran tietojenkäsittelytieteiden roolia muiden tieteiden ”aputieteenä” samoin kuin ohjelmointikielten ja teoreettisen tietojenkäsittelytieteen (core computer science) suhteellisen pientä osuutta alan tutkimustoiminnasta. Tietojenkäsittelytieteiden kehittämiseksi suositeltiin liikkuvuuden lisäämistä sekä kansallisesti että kansainvälisesti, julkaisustrategian laatimista alalle ja ”terveen tasapainon” luomista sen osa-alueiden välille ennakoivasti.

Suomen tieteen yleisen tilan alamäki jatkui vuonna 2012 julkaistussa Akatemian raportissa. Asukaslukuun suhteutettuna Suomessa panostettiin vuonna 2010 tutkimus-

ja kehitystoimintaan enemmän rahaa kuin missään muussa vertailumaassa (Alankomaat, Irlanti, Itävalta, Norja, Ruotsi, Sveitsi, Tanska), mutta tulokset eivät vastanneet panosta: julkaisumäärät olivat kääntyneet laskuun, suomalaisiin julkaisuihin viitattiin vertailumaista toiseksi vähiten ja Suomessa tuotettiin vertailumaista vähiten ns. huippujulkaisuja (so. sellaisia, jotka kuuluvat maailman eniten viittauksia saaneeseen kymmeneen prosenttiin kaikista julkaisuista).

Surkeaa tulosta yritettiin raportissa selittää paremmaksi sillä, että vuosina 2008–2010 suomalaisiin julkaisuihin kuitenkin viitattiin 6 % enemmän kuin koko maailman julkaisuihin keskimäärin ja että huippujulkaisuja syntyi ”suunnilleen yhtä paljon” (9 %) kuin maailmassa keskimäärin. Ilmeisesti Suomi oli siis vertailussa pantu liian kovaan sarjaan ja ensi kerralla olisi syytä valita sopivamman tasoiset vastustajat. Niitä taitaa löytyä enää Afrikasta, sillä mm. Aasian maat ovat olleet viime aikoina myös tiederintamalla vahvassa nousussa.

Yleisiksi kehittämisehdotuksiksi raportissa annettiin seuraavat:

- tutkijoiden ja opiskelijoiden rekrytointiin panostaminen
- kansainväliseen ja kansalliseen liikkuvuuteen kannustaminen ja panostaminen
- perustutkimuksen aseman turvaaminen siten, että se mahdollistaa laadukkaat uudet avaukset ja riskitutkimuksen
- korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten rakenteellisen kehittämisen jatkaminen
- tutkijankoulutuksen kehittäminen palvelemaan aiempaa monipuolisempia uravaihtoehtoja
- tutkimusinfrastruktuurin jatkuva kehittäminen ja sen tehokkaan käytön varmistaminen
- monitieteisyyden ja tieteidenvälisyyden vahvistaminen tutkimuksessa
- julkisin varoin kerätyn tiedon mahdollisimman vapaan käytön edistäminen
- laadukkaan tutkimus- ja innovaatio toiminnan yhteistyön vahvistaminen
- tieteellisen tutkimustiedon hyödyntämisen lisääminen poliittisen päätöksenteon ja julkisen hallinnon tukena

Hieno toivelista, johon ei näköjään uskallettu kuitenkaan kirjata tavanomaista ehdotusta julkisen tutkimusrahoituksen reiluksi lisäämiseksi...

Tietojenkäsittely- ja informaatiotieteitä arvioitiin osana luonnontieteitä. Tässä joukossa oli rahaa tieteenalamme tutkimus- ja kehitystoimintaan kaadettu tarkastelukaudella 2007–2010 ylivoimaisesti eniten, esimerkiksi vuonna 2010 noin 90 miljoonaa euroa, kakkosen eli fysiikan jäädessä kauas taakse, noin 65 miljoonaan. Tilastotiede oli luonnontieteiden keppikerjäläinen vajaan 10 miljoonan euron köyhäinavulla. Hajurako oli murskaavin Tekesin yliopistorahoituksessa: tietojenkäsittely- ja informaatiotieteille jaettiin vuonna 2010 noin 20 miljoonaa euroa, kun kakkoseksi yltänyt fysiikka sai tyytyä mitättömään 6 miljoonaan.

Valitettavasti Thomson Reutersin Web of Science -tietokantojen bibliometrisistä aineistoista laskettu laatu ei sitten ollutkaan yhtä korkealla kuin määrä. Pahimmalta



näyttää julkaisumäärien indeksoitu kehitys vuosina 2003–2010: tietojenkäsittely- ja informaatiotieteiden käyrä on kääntynyt jyrkkään laskuun kaudella 2006–2008 päättyen vuonna 2010 suunnilleen suhteelliselle tasolle 83, kun lähtötaso vuonna 2003 oli 100. Julkaisumääriään olivat selvästi lisänneet avaruustieteet ja tähtitiede (noin tasolle 122) ja fysiikka (119), muiden verrokkitieteenalojen (geotieteet, kemia, matematiikka ja tilastotiede) tallatessa lähes paikallaan.

Muut trendit näyttivät onneksi paremmilta. Kun maailman kaikkien tieteellisten julkaisujen suhteelliseksi viittausindeksiksi normeerataan 1, keikkuu tietojenkäsittely- ja informaatiotieteet hieman sen yläpuolella; ts. suomalaisiin alan julkaisuihin viitattiin vuosina 2006–2010 hieman enemmän kuin alan julkaisuihin koko maailmassa keskimäärin. Myös parhaan 10 %:n eniten viitatuista ”huippujulkaisuista” Suomella on ollut vuosina 2008–2010 tietojenkäsittely- ja informaatiotieteissä hieman suurempi osuus (normeerattu indeksi 1,09) kuin kaikilla maailman mailla keskimäärin (1). Tässä sarjassa lohkesi myös luonnontieteiden ykkössija. Kaikista arvioituista tieteenaloista parhaaksi suomalaiseksi vuosien 2008–2010 ”huippujulkaisujen” sarjassa osoittautui liikuntatiede (normeerattu indeksi 2,1).

Akatemian raportin liitteinä julkaistiin tarkemmat bibliometriset tulokset sekä joukko tieteenalakohtaisia analyysejä. Tietojenkäsittely- ja informaatiotieteiden tilaa pohtineen arvovaltaisen raadin mielestä ”on mahdollista, että suomalainen tietojenkäsittely- ja informaatiotieteiden tutkimus ei ole enää maailman kärkeä”. Mahdollisiksi alamäen syiksi raati nosti esiin mm. sukupolvenvaihdoksen, päteviä senioritutkijoita työllistävän hallinnon, liian raskaan tohtorintutkinnon, tutkijoiden heikon kansainvälisen liikkuvuuden sekä EU:n, Tekesin ja SHOKien (strategisen huippuosaamisen keskittymät) kautta tulevan soveltavan tutkimusrahoituksen liian suuren osuuden koko potista.

Raadin mielestä tietojenkäsittely- ja informaatiotieteiden tutkimus saataisiin paremmalle tolalle lisäämällä tutkijoiden liikkuvuutta Suomesta maailmalle, nostamalla perustutkimuksen osuutta, muuttamalla julkaisukäytäntöjä konferensseista enemmän aikakauslehtien suuntaan ja lisäämällä rahoitusta keskisuurten infrastruktuurien ja ohjelmointilaboratorioiden ylläpitoon. Näiden melko latteiden ehdotusten vastapainoksi on ilo löytää ylivoimaisesti paras ehdotus Akatemian pääraportista: Suomessa voitaisiin ryhtyä apinoimaan tieteellisissä arvioinneissa jatkuvasti hyvin menestyvää Sveitsiä, jonka yliopistoilla on paljon rahaa mutta vain vähän opiskelijoita.

Tieteenala-arviointi 2007

Tietojenkäsittelytieteiden toinen kansallinen tieteenala-arviointi tehtiin siis vuonna 2007. Kansainväliseen arviointipaneeliin nimettiin puheenjohtajaksi Hans Gellersen (Lancaster University, Iso-Britannia) ja sen muiksi jäseniksi Lars Birkedal (IT University of Copenhagen, Tanska), Letizia Jaccheri (Norwegian University of Science and Technology, Norja), Fionn Murtagh (University of London, Iso-Britannia), Tatsuo Nakajima (Waseda University, Japani), Enrico Nardelli (University of Roma ”Tor Vergata”, Italia), Naftali Tishby (Hebrew University – Givat-Ram, Israel) ja Herb Yang (University of Alberta, Kanada). Paneeli oli siis tieteellisesti huomattavasti vuosien

1989–1990 komiteaa vaatimattomampi vaikuttaen lähinnä Akatemian virkamiesten arpomalta.

Paneeli arvioi 35 yksikön tutkimustoimintaa vuosilta 2000–2006 sille toimitetun aineiston perusteella, myös haastatellen 28 yksikköä 25.–29.6.2007 välisenä aikana. Paneeli totesi loppuraportissaan suomalaisen tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksen olevan yleisesti ottaen sekä laajaa, laadukasta että tervettä (”healthy”), mitä se sillä siten tarkoittikin. Tiedeyhteisö oli innostunut ja sen moraali korkea. Kansakuntana Suomi oli paneelin mukaan noussut 1990-luvun alusta lähtien kansainväliseen kärkeen erityisesti tietoliikenteessä ja IT-alalla.

Arvioinnin perusteella paneeli antoi seuraavat yleiset suositukset Suomen tietojenkäsittelytieteiden tutkimustoiminnan kehittämiseksi:

- yksiköiden on laadittava julkaisustrategia ja keskityttävä arvostettuihin ja valikoiviin foorumeihin
- jatko-opiskelijoille on luotava selkeitä ja houkuttelevia akateemisia urapolkuja, kansainvälistä rekrytointia on lisättävä erityisesti post doc -tasolla ja sukupuolten välisen tasapainon parantamiseksi on tehtävä jotain
- tutkijakoulutusta on seurattava tarkemmin ja siinä on keskityttävä motivoituneisiin jatko-opiskelijoihin
- EU:n puiteohjelmiin on mentävä aktiivisemmin mukaan
- tutkijoiden liikkuvuutta on lisättävä
- tutkimustuloksia on hyödynnettävä paremmin luomalla yliopistoille aineettomien oikeuksien (IPR) strategiat ja perustamalla start-up-yrityksiä
- tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksen arviointiin on luotava sopivat bibliometriset aineistot ja menetelmät

Suosituksista parhaisiin julkaisuforumeihin keskittyminen, sukupuolten välinen tasapaino ja tutkijoiden (kansainvälinen) liikkuvuus olivat mukana jo vuonna 1990 tehdyssä tieteenala-arvioinnissa, joten niissä oli vieläkin parantamisen varaa. Sen sijaan ainakin opetuskuorma, perustutkimus, ohjelmistotekniikan tutkimus ja laitosten koko oli ilmeisesti saatu asianmukaiseen kuntoon, koska tämä paneeli ei kantanut niistä enää erityistä huolta. Uusina murheina olivat puolestaan esiin nousseet urapolut, EU:n puiteohjelmat, IPR ja bibliometria. Silmiin pistävä ero arviointien välillä on lisäksi se, että vuonna 2007 ei yleisissä suosituksissa otettu mitään kantaa tieteenalan sisäisiin kysymyksiin toisin kuin vuonna 1990 (perustutkimus, ohjelmistotekniikka, ohjelmointikielien).

Paneelin mukaan Suomen tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksen erityisiä vahvuusaloja vuosina 2000–2006 olivat koneoppiminen (machine learning), hahmontunnistus (pattern recognition) sekä data-analyysi ja tiedonlouhinta (data analysis and mining) ja seuraavaan kategoriaan kuuluivat tietoliikenne (communications) ja sen langaton versio (wireless networking). Ohjelmointikielten (programming languages), rinnakkaisten ja hajautettujen järjestelmien (concurrent, parallel and distributed systems) ja tietokonearkkitehtuurien (computer architecture) tutkimuksella ei sen sijaan ollut näkyvää asemaa kansainvälisessä tiedeyhteisössä, joten niihin pitäisi paneelin mielestä panna enemmän paukkuja.



Tietojenkäsittelytieteiden eri osa-alueiden tila ja taso olivat melko hyvin suhteessa niiden tutkimukseen käytettyihin resursseihin, sillä raportin mukaan henkilötyövuosina mitattuna suosituimpia alueita olivat tekoäly ja sen kumppanit (artificial intelligence, machine learning, computer vision) 16 %:n osuudella, tietoliikenne 15 %:n osuudella ja ohjelmistotekniikka (software engineering) 13 %:n osuudella ja pahimmin epäsuosioon ajautuneita puolestaan ohjelmointikieliet 1 %:n osuudella, tietokonearkkitehtuurit 2 %:n osuudella ja laskennan teoria (theory of computation) 3 %:n osuudella. Rahoituksella mitattaessa suhteet säilyivät samoina, mutta ohjelmointikieliet putosivat pyöreään nollaan.

Tutkimuksensa tasosta suurinta kiitosta saivat Lappeenrannan teknillisen yliopiston tietotekniikan laitos, Teknillisen korkeakoulun informaatiotekniikan laboratorio, laskennallisen tekniikan laboratorio ja tietojenkäsittelyteorian laboratorio, Tampereen teknillisen yliopiston signaalinkäsittelyn laitos ja Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos. Joensuun yliopiston tietojenkäsittelytieteen ja tilastotieteen laitosta kiiteltiin erinomaisesta strategiasta keskittyä muutamaaan tutkimusalueeseen (puheen-tunnistus, ohjelmoinnin psykologia, opetusteknologia), jotka olivat tärkeitä ja nousevia mutta eivät tietojenkäsittelytieteen valtavirtaa.

Kuten vuonna 1990, myös vuonna 2007 VTT:n tutkimustoimintaa moitittiin liian hajanaiseksi ja kansainvälisessä tiedeyhteisössä näkymättömäksi. Vaasan yliopiston tietotekniikan laitos puolestaan todettiin pieneksi yksiköksi, joka yritti tutkia ja opettaa liian monta asiaa, joten sitä suositeltiin luonnollisesti keskittymään muutamaaan harvaan ja valittuun aiheeseen. Teknillistä korkeakoulua moitittiin siitä, että koko tietojenkäsittelytieteen perusopetus oli säilytetty ohjelmistotekniikan laboratoriolle, jolloin sen tieteellistä kompetenssia ei hyödynnetty parhaalla mahdollisella tavalla. Vaikka työnjako TKK:lla olikin törkeästi epäreilua, toisaalta yhden laboratorion uhrautuminen muiden hyväksi oli näköjään mahdollistanut huippututkimukseen keskittymisen muissa laboratorioissa.

Seitsenvuotisella arviointikaudella 2000–2006 eniten referoituja lehti- ja konferenssiartikkeleita tuottivat Tampereen teknillisen yliopiston signaalinkäsittelyn laitos (311+853=1164), VTT:n tietoliikenneyksikkö (112+652=764) ja Teknillisen korkeakoulun informaatiotekniikan laboratorio (181+549=730). Huomionarvoista on VTT:n keskittyminen konferenssijulkaisuihin samoin kuin se, että ahkerin lehtijulkaisija, Teknillisen korkeakoulun laskennallisen tekniikan laboratorio (320 lehtiartikkelia) oli puolestaan tuottanut ainoastaan 60 konferenssiartikkelia. Senioritutkijaa (ml. professorit) kohti eniten referoituja julkaisuja tuottivat Teknillisen korkeakoulun tietoliikennetekniikan laboratorio (13,33+2,22=15,55 julkaisua per henkilötyövuosi), Teknillisen korkeakoulun laskennallisen tekniikan laboratorio (8,3+1,56=9,86) ja Tampereen teknillisen yliopiston tietoliikennetekniikan laitos (0,86+8,71=9,57), joten ne voidaan julistaa Suomen tehokkaimmiksi tietojenkäsittelytieteiden tutkimusyksiköiksi arviointikaudella.

Yleensä rahalla saa ja hevosella pääsee, mutta tuo vanhan kansan viisaus ei näytä pätevän tietojenkäsittelytieteiden tutkimuksessa, sillä siinä heikoiksi arvioidut kaksi VTT:n yksikköä olivat ylivoimaisesti varakkaimpia. Niiden kokonaisrahoitus viisivuotiskaudella 2002–2006 oli noin 106 miljoonaa ja noin 89 miljoonaa euroa, kun rikkain

yliopistolaitos, Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos, sai seitsemässä vuodessa 2000–2006 kasaan ainoastaan 54 miljoonaa euroa. Seuraavaksi rikkaimpia olivat Tampereen teknillisen yliopiston signaalinkäsittelyn laitos (48 miljoonaa) ja Oulun yliopiston tietojenkäsittelytieteiden laitos (32 miljoonaa). Senioritutkijaa kohti selvästi eniten rahaa oli onnistunut haalimaan Teknillisen korkeakoulun ohjelmistoliiketoiminnan ja -tuotannon laboratorio SoberIT (noin 1,3 miljoonaa euroa per henkilötyövuosi), joten siellä olivat niin missiot kuin palkatkin kohdallaan. Raha ei kuitenkaan ollut SoberIT:ssä varsinaisessa hyötykäytössä, sillä sen julkaisutehokkuus oli yliopistojen yksiköistä huonoin, $1,05+0,69=1,74$ referoitua julkaisua per seniori-henkilötyövuosi.

Vuoden 2007 paneeli ei katsonut olevan aihetta samanlaiseen henkilöpalvontaan kuin vuoden 1990 komitea. Kun hakemalla hakee, löytää arviointiraportista T. Kohosen, E. Ojan ja H. Mannilan nimet, mutta heitäkään ei nosteta kovin korkealle jalustalle eikä heidän resurssijaan suositella sen kummemmin lisääväksi. Vuoden 1990 huiPUUSTA Teuvo Kohonen ja Erkki Oja olivat säilyttäneet asemansa, kun taas Ralph Back, Kalle Lyytinen ja Arto Salomaa olivat saaneet tehdä tilaa Heikki Mannilalle, joka on täten ollut vuosien 1990–2006 nouseva kyky.

Koulutusala-arviointi 1999–2000

Kun 1990-luvun lopulla ryhdyttiin Nokian imussa kaatamaan tietojenkäsittelytieteiden koulutukseen ns. tietoteollisuusrahoitusta oikein sammiokaupalla, halusi alan teollisuus selvittää, oliko rahalla saatu lisääntyneiden opiskelijamäärien ohella myös koulutukseen laatua. Selvitystehtävä annettiin Korkeakoulujen arviointineuvostolle, joka käynnisti arvioinnin marraskuussa 1998. Arviointiin valitut yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen laitokset laativat itsearviointiraporttinsa kesällä 1999, minkä jälkeen arviointiryhmä vieraili laitoksissa 19.10.–17.11.1999 välisenä aikana ja julkisti lopullisen raporttinsa 13.4.2000. Kansainvälisen arviointiryhmän puheenjohtajana toimi tutkimusjohtaja Veikko Hara (Sonera), ja sen muina jäseninä olivat apulaisprofessori Fleming K. Fink (Aalborg universitet, Tanska), professori Ulf Henriksson (Linköpings universitet, Ruotsi), johtaja Ari Hirvonen (TietoEnator Oyj), johtaja Raimo Hyvönen (Turun ammattikorkeakoulu), varatoimitusjohtaja Jouko Häyrynen (Nokia Mobile Phones), varatoimitusjohtaja Aimo Maanavilja (Elisa), johtaja David Myers (BT Advanced Communications Technology Centre, Iso-Britannia), opiskelija Jaakko Pääkkönen (Oulun yliopisto), professori Birger Rapp (Linköpings universitet, Ruotsi), koulutusjohtaja Pasi Sahlberg (Opetushallitus), tutkimusjohtaja Jaakko Talvitie (Elektrobit) ja opiskelija Antti Yrjölä (Helsingin teknillinen oppilaitos).

Arviointiin valittiin 15 alan oppilaitosta: Espoon-Vantaan teknillisen ammattikorkeakoulun tietotekniikan koulutusohjelma, Helsingin ammattikorkeakoulun sähkö- ja tietoliikennetekniikan koulutusohjelma, Kajaanin ammattikorkeakoulun tietotekniikan koulutusohjelma, Oulun seudun ammattikorkeakoulun tietotekniikan koulutusohjelma, Pohjois-Savon ammattikorkeakoulun elektroniikan ja tietotekniikan koulutusohjelma, Satakunnan ammattikorkeakoulun tietotekniikan koulutusohjelma, Tampereen ammattikorkeakoulun sähkötekniikan koulutusohjelma, Vaasan ammattikorkeakoulun elektroniikan ja tietotekniikan koulutusohjelma, Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos, Teknillisen korkeakoulun sähkö- ja tietoliikennetekniikka-

kan osasto, Teknillisen korkeakoulun tietotekniikan osasto, Lappeenrannan teknillisen yliopiston tietotekniikan osasto, Oulun yliopiston sähkö- ja tietotekniikan osasto, Tampereen teknillisen yliopiston tietotekniikan osasto ja Åbo Akademin tietojenkäsittelytieteen laitos (institutionen för informationsbehandling). Täten syyniin pääsi kahdeksan ammattikorkeakoulujen ja seitsemän yliopistojen opinahjoja.

Arviointiryhmä totesi, että opiskelijoiden määrän lisääminen tietoteollisuusalalla johtaa väistämättä opiskelija-opettajasuhteen kasvuun, opetuskuormien lisääntymiseen ja infrastruktuurin (luentosalit, laboratoriot, kirjastot, tietokoneet) lisätarpeeseen. Näillä kaikilla on puolestaan negatiivinen vaikutus oppimiseen. Määrällisestä kasvusta johtuviin ongelmiin arviointiryhmä esitti ratkaisuksi mm. seuraavia toimenpiteitä:

- koulutusyksiköiden on laadittava strategiat ja pitkän tähtäimen suunnitelmat, jotka toteuttamalla tuotetaan suurempi määrä ajantasaisen ja suomalaisen yhteiskunnan vaatimukset täyttäviä tutkinnon suorittaneita
- yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen on lisättävä paikallista, kansallista ja kansainvälistä yhteistyötä
- opiskelijakeskeistä ("student centred") ja yhteistoiminnallista ("collaborative") opetusta on lisättävä
- opetuksen palautejärjestelmiä sekä opiskelijoiden tuutorointia ja ohjausta on kehitettävä
- koulutusyksiköiden ja yritysten välille on solmittava kumppanuuksia, joiden avulla alan koulutus voidaan pitää teollisuuden nykyisten ja tulevien tarpeiden mukaisena
- ulkomaisten ja naispuolisten opiskelijoiden rekrytointia alalle on lisättävä
- pitäisi sallia palkankorotukset, joilla saadaan paitsi uusia opettajia alalle myös nykyiset opettajat pysymään tehtävissään
- erityisesti yliopistoissa pitää tutkinnonsuoritusajat saada lyhenemään
- yliopistoihin pitäisi saada 100–120 opintoviikon suuruinen keskiasteen tutkinto ("intermediate level degree") tietotekniikkaan, erityisesti osa-aikaisesti opiskelevia varten [on syytä muistuttaa mieliin, että vuonna 2000 alemman LuK-perustutkinnon koko oli vähintään 120 opintoviikkoa]

Yksittäisiä laitoksia arvioitaessa Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos sai moitteita liian hajallaan olevista ja itsenäisistä erikoistumislinjoista, vähäisestä tohtorien määrästä, liian teoreettisesta opetuksesta, liian vähäisestä yritysyhteistyöstä ja akateemisessa vapaudessa hengailevista osa-aikaopiskelijoista. Hajanaisuus oli arviointiryhmän mielestä myös Teknillisen korkeakoulun tietotekniikan osaston ongelma, mutta siellä oli sentään hyviä ja säntillisesti tutkintonsa suorittavia opiskelijoita. Åbo Akademin tietojenkäsittelytieteen laitosta puolestaan moitittiin heikoista yhteyksistä teollisuuteen ja vajavaisesta käytännön ohjelmistokehitystaitojen opettamisesta.

Kiitoksia annettiin Teknillisen korkeakoulun sähkö- ja tietoliikennetekniikan osastosta valmistuneiden opiskelijoiden hyvälle tasolle ja työelämävalmiuksille, Lappeenrannan teknillisen yliopiston tietotekniikan osaston suunnitelmille liittämällä koulutukseensa liiketoimintaa, Oulun yliopiston sähkö- ja tietotekniikan osaston lukioyhteis-

työlle, Tampereen teknillisen yliopiston tietotekniikan osaston laadukkaille kursseille, professoreille ja opiskelijoille samoin kuin osaston yritys yhteistyölle sekä Åbo Akademin tietojenkäsittelytieteen laitoksen avoimelle opettajien ja opiskelijoiden väliselle vuorovaikutukselle ja laitoksen erityistoimenpiteille houkutella alalle naisia. Lisäksi raportissa noteerattiin Lappeenrannan, Oulun ja Tampereen laitosten tärkeä alueellinen merkitys.

Arviointiraportista saa sen käsityksen, että yliopistoissa koulutus oli tasalaatuisempaa kuin ammattikorkeakouluissa, joissa laatutaso vaihteli huomattavasti yliopistoja enemmän. Toisaalta parhaimmiksi arvioiduissa ammattikorkeakouluissa opetusmenetelmät, opettajien ja opiskelijoiden välinen vuorovaikutus, yritys yhteistyö ja opetuksen käytännölläisyys olivat paremmalla tolalla kuin parhaissa yliopistoissa. Näissä kunnostautui erityisesti Helsingin ammattikorkeakoulun sähkö- ja tietoliikennetekniikan koulutusohjelma.

Tietoteollisuusalan koulutuksen arvioinnille tehtiin vuonna 2003 seurantalutkimus, jolla haluttiin selvittää, minkälaisia vaikutuksia arvioinnilla oli ollut siihen osallistuneille yksiköille. Seurantaraportti on melkoisen mitänsanomaton, johtuen varmaankin siitä, että erityisesti yliopistoissa pidettiin koko arviointia ”suhteellisen vähämerkityksisenä”, kaikissa laitoksissa ei oltu samaa mieltä arviointiryhmän kanssa, arviointiryhmän antamissa suosituksissa oli lähinnä vain toistettu arvioitavien omia näkemyksiä, arviointi koettiin työläänä, resursseja oli liian vähän suositusten toteuttamiseen ja jotkut suosituksista (kuten opiskeluaikojen lyhentäminen) olivat niin laaja-alaisia, että niiden toteuttaminen vaatisi koko korkeakoulujärjestelmän taseisia muutoksia. Positiivista kehitystäkin oli toki vuosina 2000–2003 tapahtunut: opiskelijakeskeisiä opetusmenetelmiä sekä tuutor- ja opinto-ohjaustoimintaa oli lisätty, opintosuoritusten kertymiä oli ryhdytty seuraamaan, opiskelijoille oli järjestetty osallistumista t&k-hankkeisiin ja opinnäytetöiden ohjausta oli tehostettu.

23. HUIPPU- JA LAATUYKSIKÖT

Suomessa käynnistyi jo 1960-luvulla keskustelu ”valikoivasta tutkimusrahoituspolitiikasta” eli siitä, millä kriteereillä Suomen Akatemian määrärahoja tulisi myöntää. Keskustelussa oli esillä kaksi täysin vastakkaista näkökulmaa: rahoitusta pitäisi ensisijaisesti myöntää joko parhaille tutkimusryhmille (jotta hyviä tutkimustuloksia syntyisi taatusti) tai huonoimmille tutkimusryhmille (jotta niiden laatu ja sitä kautta myös kokonaistulos paranisivat). Rahoituspäätöksissä ei kuitenkaan noudatettu suoranaisesti kumpaakaan näistä laatu- tai määrärahojen näkökulmista, vaan niitä tehtiin lähinnä aluepoliittisin perustein myöntämällä määrärahoja tasapuolisesti eri yliopistoille ja tieteenaloille.

Suomen Akatemia ryhtyi 1970-luvulla myöntämään toimikunnilleen erityismäärärahoja teemaltaan jo ennalta määriteltyjen tutkimuskohteiden rahoittamiseen. Yhdeksi erityisteemaksi nousi elektroniikkatutkimus, jota pidettiin yhtenä tulevaisuuden kannalta tärkeimmistä aloista. Niinpä elektroniikan ja siihen läheisesti liittyvien tietojenkäsittelyopin ja tietotekniikan tutkimukseen kohdistettiin 1970-luvulla merkittävästi Akatemian teknistieteellisen toimikunnan ja luonnontieteellisen toimikunnan eri-



tyismäärärahaeriä. Erityispanostukseksi on laskettava myös kyseisille tieteenaloille nimetyt Suomen Akatemian tutkijaprofessorit (Matti Tiuri, Teknillinen korkeakoulu, 1970–75; Teuvo Kohonen, Teknillinen korkeakoulu, 1975–78; Arto Salomaa, Turun yliopisto, 1975–80).

Laatukeskustelu alkoi kääntyä parhaiden ryhmien eduksi 1980-luvulla, jolloin mm. opetusministeriön asettamat ns. perustutkimusryhmät päätyivät suosittelemaan hyvin menestyksellisten tai tieteellisesti lupaavien perustutkimushankkeiden tukemista ”poikkeuksellisin järjestelyin”. Näiden periaatteiden mukaisesti Akatemia perustikin 1980-luvun lopussa ja 1990-luvun alussa neljä määräämäänsä tutkimusyksikköä, joille annettiin epävirallinen ”perustutkimuksen huippuyksikön” (Centre of excellence) leima. Ensimmäiset varsinaiset Akatemian opetusministeriölle esittämät tutkimuksen huippuyksiköt, 12 kappaletta, nimettiin vuosiksi 1995–96. Jo sitä ennen, vuonna 1994, oli korkeakouluneuvosto nimennyt kymmenen yksikköä, joiden ”tutkimus ja opetus edustavat korkeaa tasoa”.

Lounasmaan raportti

Laatukeskusteluun toi ennen näkemätöntä särmää Olli Lounasmaan vuonna 1996 julkaissut raportti ”Huippuyksikköä ei perusteta vaan se syntyy”, jossa hän käsittelee huippuyksiköiden löytämistä ja teki ehdotuksia yliopistojen luonnontieteellisten ja teknistieteellisten yksiköiden työnjaosta, mitoittamisesta ja rakenteellisesta uudistamisesta. Keskeinen ja suurinta polemiikkaa synnyttänyt osa raportissa oli objektiivisiin opetuksen ja tutkimuksen laatua mittaaviin indikaattoreihin perustuva hyvyysluokitus, jota Lounasmaa käytti yhteensä 96 laitoksen ja laboratorion arvioimiseen ja niiden keskinäisen paremmuusjärjestyksen määrittämiseen. Samaa luokitusta Lounasmaa käytti myös yksittäisten tutkijoiden ja kokonaisten yliopistojen arviointiin.

Teknillisen korkeakoulun Kylmälaboratorion pitkäaikainen johtaja Olli V. Lounasmaa (20.8.1930–27.12.2002) tunnettiin suorasanaisena ja hankalana tyyppinä, joten hän oli mitä sopivin selvitysmies ottamaan selvää kantaa vaikeisiin tutkimus- ja koulutuspoliittisiin kysymyksiin. Hänen päivää ennen 31.1.1996 tapahtunutta eläkkeelle joutumistaan julkaisemansa raportti sisältääkin harvinaisen reippaita kannanottoja suomalaisen tieteen tilasta ja sen parantamisesta. Raporttinsa pohjaksi Lounasmaa tutustui aikaisempiin vastaaviin selvityksiin ja arvioitujen yksiköiden hänelle toimittamaan aineistoon. Lisäksi hän vieraili yliopistoissa ja haastatteli useita muita intressiryhmiä vuoden 1995 aikana. Hyvyysluokituksessa on käytetty erilaisia rahoituksen, opetuksen ja tutkimuksen määrää ja laatua kuvaavia indikaattoreita, jotka olivat helposti saatavissa Lounasmaan käytössä olleista tietolähteistä.

Lounasmaa otti arvioinnissa käyttöön viisi hyvyysluokkaa, *A* (kiitettävä), *B* (hyvä), *C* (tydyttävä), *D* (välttävä) ja *E* (heikko), jotka hän laski erikseen perusopetukselle (**P**), jatkokoulutukselle (**J**) ja tutkimukselle (**T**). Luokituskaavat ovat muotoa *output/input*, jossa *output* mittaa kyseisen osa-alueen tulosta ja *input* tuloksen tuottamiseen käytettävissä olleita resursseja. Kullekin osa-alueelle on määritelty oma *output*, mutta *input*-arvona käytetään sen sijaan kaikissa kaavoissa yliopiston, laitoksen tai muun yksikön

toimintamenorahaa eli ns. ”perusrahoitusta” (P) ilman ulkopuolisista lähteistä saatua rahoitusta. Tulokset ja resurssit on laskettu vuosilta 1992–1994.

Perusopetuksen *output* lasketaan perustutkintojen määrästä (K), oppikirjojen ja luentomonisteiden määrästä ja laadusta (O) sekä perustutkintoihin sisällyttämättömien opintoviikkojen kokonaismäärästä (V). Eri oppiaineiden perusopetuksen vertailemiseksi kaavassa on lisäksi mukana opetuksen kalleutta arvioiva kerroin (β), koska Lounasmaan mukaan ”opetus matematiikassa ja tietojenkäsittelytieteessä ei vaadi laboratoriotyöskentelyä”. Fysiikka, tähtitiede, kemia, biokemia ja elektroniikka saivatkin Lounasmaalta β -kertoimen 1, kun taas matematiikka sai kertoimen $2/3$ ja tietojenkäsittelytiede pienimmän kertoimen $1/2$. Lounasmaa ei perustellut, miksi hän katsoi matematiikan opetuksen kalliimmaksi kuin tietojenkäsittelytieteen opetuksen, mutta varmaankin syynä olivat hinnoiltaan pilviin nousseet liidut ja liitutaulut. Perusopetuksen vertailuluvun Lounasmaa määritteli seuraavalla kaavalla:

$$P = \beta (K + V + O) / P$$

Jatkokoulutuksen *output* koostuu lisensiaattien ja tohtorien lukumääristä L ja T siten, että yksi tohtori vastaa kolmea lisensiaattia. Toisin kuin perusopetuksessa, jatkokoulutuksen kaavassa ei käytetä oppiaineen kalleuskerrointa, koska Lounasmaan mukaan ”suurin jatkokoulutuksen suora kustannuserä (noin 70 %) aiheutuu ohjaajan ja jatko-opiskelijan palkoista” ja ”laitteet taas on hankittu pääasiassa yksikön tutkimusprojekteja varten”; ts. jatkokoulutuksessa ei käytetä laitoksen perusrahalta hankittuja laboratorioita. Näin saadaan jatkokoulutuksen vertailuluku:

$$J = (L + 3T) / P$$

Tutkimuksen *output* perustuu julkaisufoorumina käytettyjen tieteellisten lehtien painavuuskertoimiin eli impaktilukuihin (I), jotka kertovat, ”kuinka paljon kyseisessä sarjassa ilmestyneisiin julkaisuihin keskimäärin referoidaan myöhemmissä tieteellisissä tutkimuksissa”. Impaktilukujen laskemiseen Lounasmaa käytti amerikkalaisen Institute for Scientific Information -tutkimuslaitoksen tietokantaa. Impaktilukujen suuren vaihteluvälin tasoittamiseksi Lounasmaa käytti kaavassaan niiden neliöjuurta. Eri tieteenalojen vertailemiseksi Lounasmaa käytti lisäksi tieteenalakohtaista normeerauskerrointa (δ), joka on sitä suurempi, mitä vähemmän kyseisellä tieteenalalla on tapana tuottaa tieteellisiä julkaisuja. Jos perusopetuksen kaavassa tuli tietojenkäsittelytieteelle takkiin, saatiin nyt pientä hyvitystä, sillä alan δ -normeerauskerroin on peräti 10, kun se matematiikassa on 4,5, elektroniikassa 1,5 ja fysiikassa, tähtitieteessä, kemiassa ja biokemiassa ainoastaan 1. Tietojenkäsittelytieteen korkeaa kerrointa Lounasmaa perusteli sillä, että ”alan julkaisukulttuuri on muista ryhmistä poikkeava”; ts. tapana on julkaista tieteellisiä artikkeleita pikemminkin konferensseissa kuin lehdistä. Näin saadaan tutkimuksen vertailuluvuksi seuraava:

$$T = \delta (\Sigma I) / P$$



Alla on Lounasmaan raportista koottu tietojenkäsittelytieteen kunnia-aulukko, johon laitokset on asetettu niiden perusopetuksesta, jatkokoulutuksesta ja tutkimuksesta saamien vertailulukujen summan mukaiseen järjestykseen (*A*: 5 pistettä, *B*: 4, *C*: 3, *D*: 2, *E*: 1). Huomattakoon, että koska arviointi koski vain luonnontieteellisiin ja teknistieteellisiin tiedekuntiin kuuluvia laitoksia, listalta puuttuu esimerkiksi Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelytieteiden laitos.

| | | | |
|-----|---|------------|-------|
| 1. | Tampereen teknillinen korkeakoulu, signaalinkäsittelytekniikan laitos | <i>AAB</i> | 14 p. |
| 2. | Turun yliopisto, tietojenkäsittelyopin laboratorio | <i>ACA</i> | 13 p. |
| 3. | Jyväskylän yliopisto, matematiikan laitos (ml. tietotekniikka) | <i>CBC</i> | 10 p. |
| 4. | Kuopion yliopisto, tietojenkäsittelytieteen ja sovelletun matematiikan laitos | <i>CCC</i> | 9 p. |
| | Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, tietojenkäsittelytekniikan laitos | <i>DCB</i> | 9 p. |
| | Oulun yliopisto, tietojenkäsittelyopin laitos | <i>CCC</i> | 9 p. |
| | Tampereen yliopisto, tietojenkäsittelyopin laitos | <i>CDB</i> | 9 p. |
| | Teknillinen korkeakoulu, tietojenkäsittelytieteen laitos | <i>CCC</i> | 9 p. |
| 9. | Tampereen teknillinen korkeakoulu, ohjelmistotekniikan laitos | <i>BDD</i> | 8 p. |
| 10. | Helsingin yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos | <i>DDC</i> | 7 p. |
| | Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, tietoliikennetekniikan laitos | <i>AEE</i> | 7 p. |
| | Tampereen teknillinen korkeakoulu, tietoliikennetekniikan laitos | <i>AEE</i> | 7 p. |
| | Åbo Akademi, tietojenkäsittelytieteen laitos | <i>EDB</i> | 7 p. |
| 14. | Joensuun yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos | <i>DDD</i> | 6 p. |

Lounasmaan rankingissa Tampereen teknillisen korkeakoulun signaalinkäsittelytekniikan laitos ja Turun yliopiston tietojenkäsittelyopin laboratorio erottuvat selvästi massasta. Silmään pistää myös se, että muissa arvioinneissa hyvin menestynyt Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos on tällä kerralla pohjasakkaa; Lounasmaan selitys on, että ”laitoksen hyvyysluokitusta rasittaa henkilökunnan suuri määrä”.

Perusopetuksessa parasta *A*-ryhmää ovat (tässä järjestyksessä) Tampereen teknillisen korkeakoulun signaalinkäsittelytekniikan laitos, Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun tietoliikennetekniikan laitos, Tampereen teknillisen korkeakoulun tietoliikennetekniikan laitos ja Turun yliopiston tietojenkäsittelyopin laboratorio. Jatkokoulutuksessa ainoastaan Tampereen teknillisen korkeakoulun signaalinkäsittelytekniikan laitos saa korkeimman arvosanan, tutkimuksessa puolestaan Turun yliopiston tietojenkäsittelyopin laboratorio. Pelkästään tutkimuksen vertailuluvussa olevaa impaktilukua, eli tutkimuksen tieteellistä vaikuttavuutta tarkasteltaessa lista muuttuu mielenkiintoisesti: kärjessä ovat nyt Oulun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitos ja Joensuun yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos, hännillä puolestaan Tampereen teknillisen korkeakoulun laitokset, Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos ja Åbo Akademien tietojenkäsittelytieteen laitos.

Lounasmaan raportti sisälsi yliopisto- ja laitoskohtaisen tarkastelun lisäksi myös tutkimuksen impaktilukujen perusteella muodostetut henkilökohtaiset ranking-listat. Tietojenkäsittelytieteen top teniin kuuluivat Heikki Mannila (*HY*), Kari-Jouko Räihä (*TaY*), Pekka Kuvaja (*OY*), Erkki Oja (*LTKK*), Risto Saukkonen (*OY*), Antti Niemi (*TaY*), Ralph-Johan Back (*ÅA*), Jorma Boberg (*TuY*), Matti Mäkinen (*TaY*) ja Martti Mäntylä (*TKK*). Lisäksi matematiikan kärkikaartiin oli rankattu tutuilta kuulostavat nimet

Arto Salomaa (TuY), Jarkko Kari (TuY), Juhani Karhumäki (TuY) ja Kari Astala (HY) ja elektroniikan kärkeen Yrjö Neuvo (TTKK).

Raporttinsa lopuksi Lounasmaa teki joukon parannusehdotuksia. Niiden joukossa on mm. Helsingin yliopiston laitosten supistaminen noin 10 %:lla ja Turun yliopiston, Oulun yliopiston ja Jyväskylän yliopiston laitosten supistaminen 5 %:lla, yliopistojen ja korkeakoulujen asettaminen ”terveeseen kilpailuun” professoreista, opiskelijoista, tutkimusvaroista, opetuksen ja tutkimuksen huippuyksiköistä ja akatemiaprofessoreista, (fysiikan ja) tietojenkäsittelyopin ottaminen ylioppilaskirjoitusten kokeeksi, siirtyminen järjestelmään, jossa professuuri normaalitapauksessa täytetään ensin apulaisprofessorin virkana 5 vuoden määräajaksi ja vasta tehtävän menestyksellisen hoitamisen jälkeen pysyvästi sekä ”tieteellisen työnsä lopettaneiden” professorien siirtäminen 55-vuotiaina varhaiseläkkeelle.

Osa Lounasmaan ehdotuksista taisi olla liian radikaaleja, sillä supistuksista ei ollut tietoakaan vaan päinvastoin tietojenkäsittelytieteen laitoksia kasvatettiin rajusti jo parin vuoden päästä eikä tietojenkäsittelyoppia ole vielääkään hyväksytty lukiodien saati sitten ylioppilaskirjoitusten aineeksi. Suurin takaisku on kuitenkin ollut se, ettei meitä väsähtäneitä leipäprofessoreita ole pakko siirretty varhaiseläkkeelle pelailemaan golfia, vaan se on tehtävä edelleen työaikana. Toisaalta ”tervettä kilpailua” on lisätty ja professorien tenure track -järjestelmä on noin 15 vuotta Lounasmaan raportin julkistamisen jälkeen otettu yliopistoissa käyttöön. Lounasmaan raportin sanomasta on lopulta pysyvimmäksi jäljeksi Suomen tieteen historiaan jäänyt sen oivallinen otsikko ”Huippuyksikköä ei perusteta vaan se syntyy”. Lienee ollut mainostoimiston tuote.

Tutkimuksen huippuyksiköt

1960-luvulla käynnistynyt keskustelu tutkimuksen laadusta ja sen tukemisesta kulminoitui 1990-luvulla tutkimuksen huippuyksiköiden (Centre of Excellence) nimeämiseen ja niille myönnettävään erityisrahoitukseen. Jo ennen varsinaisia huippuyksiköitä olivat opetusministeriö ja korkeakouluneuvosto nimenneet ”tutkimuksen ja opetuksen korkean laadun yksiköitä”, joiden joukkoon tutkimuksen alueella pääsivät vuosina 1993–1994 mm. Tampereen teknillisen korkeakoulun signaalinkäsittelyn laitos ja Turun yliopiston matemaattisten tieteiden laitos.

Kun valtion vuoden 1994 talousarvioesitykseen oli yliopistoille myönnettävän tuloksellisuusrahan yhdeksi kriteeriksi sisällytetty huippuyksiköt, pyysi opetusministeriö Suomen Akatemialta niihin esityksiä. Hakukierroksen jälkeen nimettiin täten seuraavat 12 yksikköä ensimmäisiksi varsinaisiksi tutkimuksen huippuyksiköiksi vuosiksi 1995–1996:

Ajattelun hermostollisen perustan tutkimusyksikkö, Helsingin yliopisto (johtaja: Risto Näätänen)

Biocenter Oulu, Oulun yliopisto (Taina Pihlajaniemi)

Biologian laitoksen ekologian ja eläinystematiikan tutkimusryhmä, Turun yliopisto (Erkki Haukioja)

Eksegetiikan tutkimusryhmä, Helsingin yliopisto ja Åbo Akademi (Heikki Räisänen)

Ilmastonmuutoksen metsäekologien ja metsätaloudellisten vaikutusten tutkimusryhmä, Joensuun yliopisto (Seppo Kellomäki)

Kylmälaboratorio, Teknillinen korkeakoulu (Mikko Paalanen)
Monikielisen kieliteknologian tutkimusyksikkö, Helsingin yliopisto (Fred Karlsson)
Neuroverkkojen tutkimusyksikkö, Teknillinen korkeakoulu (Teuvo Kohonen)
Periytyvien tautien tutkimusyksikkö, Helsingin yliopisto (Albert de la Chapelle)
Puolijohdetekniikan ja pintatieteen tutkimusryhmä, Tampereen teknillinen korkeakoulu
(Markus Pessa)
Talouden rakenteiden ja kasvun tutkimusyksikkö, Helsingin yliopisto (Seppo Honkapohja,
Erkki Koskela)
Turun tietotekniikan tutkimuskeskus TUCS, Turun yliopisto, Åbo Akademi ja Turun
kauppakorkeakoulu (Ralph-Johan Back)

Näille yksiköille annettiin jatkoa vuosiksi 1997–1999, jolle kaudelle nimettiin lisäksi seuraavat viisi uutta tutkimuksen huippuyksikköä:

Biocentrum Helsinki, Helsingin yliopisto (Olli Jänne)
BioCity-Turku, Turun yliopisto ja Åbo Akademi (Markku Jalkanen)
Digitaalisen median instituutti, Tampereen teknillinen korkeakoulu (Jaakko Astola)
Ekologian ja systematiikan laitoksen populaatiobiologian osasto, Helsingin yliopisto (Ilkka
Hanski)
Ihmisen kehitys ja sen riskitekijät -tutkimusohjelma, Jyväskylän yliopisto (Lea Pulkkinen,
Heikki Lyytinen)

Ensimmäisten 17 huippuyksikön joukossa oli kolme tietojenkäsittelytieteiden edustajaa, neuroverkkojen tutkimusyksikkö, Turun tietotekniikan tutkimuskeskus ja digitaalisen median instituutti, mikä on kiistaton osoitus tieteenalamme korkeasta tasosta. Toinen 1990-luvun tutkimuksen huippualue Suomessa oli ainakin näiden valintojen valossa biologia, sen verran useasti termi ”bio” esiintyy huippuyksiköiden nimissä.

Ensimmäiset huippuyksiköt poimittiin ikään kuin koekappaleiksi, sillä tarkemmat tutkimuspoliittiset linjaukset niiden valitsemiseksi ja rahoittamiseksi luotiin vasta vuonna 1997. Tuolloin nimittäin Akatemian asettama työryhmä julkaisi kansallista huippuyksikköstrategiaa koskevan muistionsa, joka perustui osittain selvitysmies Olli Lounasmaan raporttiin. Muistiossa määriteltiin *huippuyksikkö* seuraavaan tapaan:

Huippuyksikkö on korkeatasoinen tutkimus- ja tutkijankoulutusyksikkö, jolla on mahdollisuudet päästä kansainväliseen johtoasemaan. Huippuyksikkö koostuu yhdestä tai useasta korkeaa kansainvälistä tasoa olevasta tutkimusryhmästä, joilla on selkeitä yhteisiä päämääriä. Siinä voi olla myös ilman ryhmää toimivia yksittäisiä huippututkijoita. Huippuyksiköt ja -tutkijat voivat toimia saman tutkimusaiheen tai -ongelman ympärillä tai lähialoilla yhteisen sateenvarjo-organisaation alla, jolloin kyseessä on keskustyyppinen huippuyksikkö. Tällaiseen keskukseseen voi kuulua tutkimuksen terävimpien kärkien lisäksi muita kansainvälisesti korkeatasoisia ryhmiä ja tutkijoita.

Työryhmä otti kantaa myös huippuyksiköiden valintaprosessiin, -kriteereihin ja arviointiin sekä rahoitukseen ja sen keston. Työryhmä ehdotti, että valinta perustuisi hakijoiden aiesuunnitelmiin ja niiden kansainväliseen arviointiin. Tärkeimpiä valintakriteerejä olisivat yksikön suhde oman tieteenalansa kansainväliseen kärkeen, tieteelliset ansiot, tulokset ja aktiivisuus sekä menestys tutkijankoulutuksessa. Huippuyksiköt tulisi työryhmän mielestä valita kuudeksi vuodeksi kerrallaan siten, että kolmen vuoden kuluttua niille tehtäisiin väliarvio. Jotta huippututkimus saisi pitkäjänteistä tukea, ei jatkokausiin määrää haluttu rajoittaa, mutta saavutettua statusta ei myöskään haluttu ikuisuuksiin turvata. Uusiutumisen tukemiseksi tulisi työryhmän mielestä suosia tasatilanteessa uutta yksikköä. Työryhmä suositti lisäksi, että vuonna 2000 Suomessa olisi enintään 25 tutkimuksen huippuyksikköä ja että niiden osuus Akatemian kilpaillusta tutkimusrahoituksesta (poislukien virat) olisi noin 13 prosenttia.

Suomen Akatemia toteutti työryhmän laatiman huippuyksikköstrategian pohjalta vuosille 2000–2005 kuusivuotisen huippuyksikköohjelman, johon se valitsi yhteensä 26 yksikköä. Niiden joukossa olivat seuraavat kaksi tietojenkäsittelytieteiden yksikköä:

Neuroverkkojen tutkimusyksikkö, Teknillinen korkeakoulu (Erkki Oja)
 Signaalin käsittelyn tutkimusryhmä, Tampereen teknillinen korkeakoulu (Jaakko Astola)

Näistä neuroverkkojen tutkimusyksikkö oli jo kaikkien aikojen ensimmäisellä listalla (1995–1997); johtaja oli tosin vaihtunut eläkkeelle jääneestä Teuvo Kohosesta Erkki Ojaksi. Kaudella 1997–1999 huippuyksikkönä toiminut digitaalisen median instituutti oli puolestaan fokusoitunut ja palannut juurilleen signaalin käsittelyn tutkimusryhmäksi.

Huippuyksikköhuumassa homma levisi käsiin, kun lähes välittömästi ensimmäisen varsinaisen ”huippuyksikköohjelman” käynnistämisen jälkeen valittiin 16 uutta huippuyksikköä kuusivuotiskaudelle 2002–2007. Täten vuosina 2002–2005 Suomessa oli peräti 42 tutkimuksen huippuyksikköä, kahdessa päällekkäisessä ohjelmassa. Toiseen ”huippuyksikköohjelmaan” valittiin jälleen kaksi tietojenkäsittelytieteiden tutkimusryhmää:

Datasta tietoon -tutkimusyksikkö, Helsingin yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu (Esko Ukkonen)
 Formaalit menetelmät ohjelmointitekniikassa, Åbo Akademi (Ralph-Johan Back)

Kun Akatemiassa oli ajauduttu kahden päällekkäisen huippuyksikköohjelman rytmiiin, ei siitä tietenkään enää päästy eroon. Seuraavaksi oli siten vuorossa kautta 2000–2005 seuraava ohjelma 2006–2011, johon valittiin 23 huippuyksikön joukossa jälleen kaksi tietojenkäsittelytieteiden edustajaa. Ne olivat nimenmuutosta vaille samat kuin edellisellä kaudella:

Adaptiivisen informatiikan tutkimuksen huippuyksikkö, Teknillinen korkeakoulu (Erkki Oja)
 Signaalinkäsittelyn huippuyksikkö, Tampereen teknillinen yliopisto (Jaakko Astola)

Kautta 2002–2007 seurasi puolestaan vuosien 2008–2013 ohjelma. Tietojenkäsittelytieteiden trendi alkoi huolestuttavasti laskea, sillä 18 huippuyksikön joukkoon valittiin ainoastaan yksi tieteenalan edustaja, sekin (nimeä muuttaneena) sama kuin edellisellä kaudella:

Algoritmisen data-analyysin huippuyksikkö, Helsingin yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu
(Esko Ukkonen)

Tietojenkäsittelytieteiden huippuyksikkökiintiö säilyy vielä vuosina 2012–2017 yhtenä, sillä ko. vuosien huippuyksikköohjelmassa on mukana yksi tieteenalan edustaja:

Suomalainen laskennallisen päättelyn huippuyksikkö, Aalto-yliopisto (Erkki Oja)

Toisaalta korkea laatu korvaa pienen määrän, sillä tämä yksikkö voidaan pahemmin kotiin päin vetämättä nimetä Suomen tieteen huippujen huipuksi, sillä se on ollut (eri nimillä) vuodesta 1995 lähtien yhtäjaksoisesti kansallinen tutkimuksemme huippuyksikkö. Samaan on yltänyt ainoastaan Teknillisen korkeakoulun legendaarinen kylmälaboratorio, jonka nykyinen nimi on matalien lämpötilojen kvantti-ilmidiöiden ja komponenttien huippuyksikkö (johtaja: Jukka Pekola, Aalto-yliopisto).

Vuoden 2017 jälkeinen tilanne on toistaiseksi avoin, mutta ennuste on sikäli huono, että uusimmassa, vuosien 2014–2019 huippuyksikköohjelmassa ei ole enää yhtään tietojenkäsittelytieteiden ryhmää. Mikäli Erkki Oja jää jossain vaiheessa eläkkeelle, olisi nuoren polven korkea aika ryhdistäytyä ja ryhtyä tekemään varsinaista huippututkimusta...

Vuonna 1995 aloittaneiden 12 huippuyksikön vuosittainen rahoitus oli yhteensä 158 miljoonaa markkaa (noin 33 miljoonaa euroa, m€), josta opetusministeriö maksoi 50 %, Akatemia (SA) 23 %, Tekes 5 %, muut kotimaiset rahoittajat 13 %, EU 5 % ja muut ulkomaiset rahoittajat 4 %. Huippuyksikköohjelmien vakiinnuttua niiden ”täydentävä” rahoitus kehittyi seuraavasti:

2000–2005: 26 huippuyksikköä; SA 54 m€, Tekes 11 m€

2002–2007: 16 huippuyksikköä; SA 33 m€, Tekes 5 m€

2006–2011: 23 huippuyksikköä; SA 63 m€, Tekes 4 m€, Nokia 0,6 m€

2008–2013: 18 huippuyksikköä; SA 56 m€, Tekes 1 m€, Nokia 0,3 m€

Selvästi suurin osa huippuyksiköiden lisärahoituksesta on siis tullut Suomen Akatemialta. Tekesin osuus on alkuvuosista vähentynyt lähes olemattomiin, varmaankin uusien rahoitusinstrumenttien kuten strategisen huippuosaamisen keskittymien (SHOK) otettua omansa. Nokian pieni osuus on nähtävä lähinnä symbolisena tukena kotimaiselle (ICT-alan) huippututkimukselle.

Yliopistokoulutuksen laatuyksiköt

Koulutus jäi 1990-luvun alkupuolen laatukeskustelussa pahasti tutkimuksen varjoon, vaikka ensimmäisten ”tutkimuksen ja opetuksen korkean laadun yksiköiden” joukossa oli myös koulutusansioillaan kyseisen statuksen saaneita laitoksia ja projekteja, joukos-

sa vuosina 1994–1995 mm. Tampereen teknillisen korkeakoulun tietotekniikan osasto ja Jyväskylän yliopiston luonnontieteiden, matematiikan ja tietojenkäsittelytieteen kansainvälinen kesäkoulu.

Opetusministeriö nimesi yliopistokoulutuksen laatuyksiköt vuosina 1994–1998 sen asiantuntijaelimenä toimineen Korkeakouluneuvoston esityksestä. Laatuyksiköiden status alkoi kohota kaudella 1999–2000, jolloin opetusministeriö valitsi ne ensimmäistä kertaa korkeakoulujen arviointineuvoston esityksestä. Samalla laatuyksiköiden perusteella yliopistoille myönnettävä tuloksellisuusmääräraha alkoi nousta, joskin se jäi tutkimuksen huippuyksiköille myönnettyyn rahoitukseen verrattuna kovin vaatimattomiin lukemiin ollen laatuyksikköä kohden 0,5–3 miljoonaa markkaa (100 000–600 000 euroa) vuodessa, yliopiston koosta riippuen.

Valittaessa yliopistojen korkealaatuisen koulutuksen yksiköitä vuosiksi 1999–2000 käytettiin kriteereinä koulutuksen suunnittelua, tavoitteita, sisältöä ja toteutusta, arviointidatan (kuten tutkintojen ja opintoviikkojen määrän ja opiskelijapalautteen) hyödyntämistä koulutuksen arvioinnissa ja kehittämisessä sekä koulutuksen tulevaisuudennäkymiä ja kehittämissuunnitelmia. Hyvien suunnitelmien lisäksi yksiköillä tuli olla ”selkeää näyttöä koulutustoimintansa korkeasta laadusta”.

Näillä kriteereillä korkeakoulujen arviointineuvosto ja opetusministeriö päätyivät nimeämään seuraavat 18 korkealaatuisen koulutuksen yksikköä vuosiksi 1999–2000:

Helsingin kauppakorkeakoulun kielten ja viestinnän laitos
 Helsingin yliopiston kansantaloustieteen valtakunnallinen jatkokoulutusohjelma
 Helsingin yliopiston maantieteen laitos
 Helsingin yliopiston sosiaalipsykologian laitos
 Helsingin yliopiston teologinen tiedekunta
 Joensuun yliopiston biologian laitos
 Jyväskylän yliopiston kansainvälinen kesäkoulu
 Lapin yliopiston sosiaalityön laitos
 Oulun yliopiston lastentautien klinikka
 Oulun yliopiston matemaattisten tieteiden laitos
 Oulun yliopiston suomen ja saamen kielen ja logopedian laitos
 Sibelius-Akatemian solistisen osaston jatkokoulutuslinja
 Tampereen yliopiston aluetieteen ja ympäristöpolitiikan laitos
 Tampereen yliopiston lääketieteellisen tiedekunnan lääketieteen peruskoulutus
 Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan koulutusohjelma
 Teknillisen korkeakoulun tuotantotalouden osasto
 Turun yliopiston historianopetus
 Turun yliopiston oikeustieteellinen tiedekunta

1990-luvun tutkimuksen huippuyksikkövalintoihin rinnastettuna tietojenkäsittelytieteiden tulos oli suorastaan surkea: ei yhtä ainutta koulutuksen laatuyksikköä, ainoastaan pieni sivurooli Jyväskylän yliopiston kansainvälisessä kesäkoulussa. Lopputulos taitaa kuvastaa tuon ajan yleistä henkeä, joka suosi tietojenkäsittelytieteen tieteellistä tutkimusta mutta samalla väheksyi siihen perustuvaa ylintä opetusta.



Onneksi tilanne alkoi parantua seuraavalla kierroksella, jolloin kaksivuotisista koulutuksen laatuyksikkökausista siirryttiin kolmivuotisiin. Vuosille 2001–2003 nimettyjen 20:n korkealaatuisen koulutuksen yksikön joukkoon pääsi nimittäin yksi oppiainemme edustaja, Teknillisen korkeakoulun tietojenkäsittelyopin perusopetus.

Laatuyksikkö toimi TKK:n tietotekniikan osastoon kuuluvassa tietojenkäsittelyopin laboratoriossa ja vastasi TKK:n kaikille opiskelijoilla tarjottavasta alan perusopetuksesta, johon sisältyi teknisiä työvälinekursseja, yleissivistäviä tietotekniikkakursseja, ohjelmoinnin peruskursseja sekä tietorakenteita ja algoritmeja. Koska opetus oli tarkoitettu TKK:n koko opiskelijajakaartille, olivat kurssit massakursseja ja esimerkiksi yleisen peruskurssin suoritti vuosittain noin 1200 opiskelijaa. Opettajia oli vähän ja koko perusopetuspaketti oli lähinnä kahden miehen, lehtori Lauri Malmin ja assistentti Ari Korhosen show.

Laatuyksikkö oli ratkaissut massaopetusongelman kahdella luovalla tavalla: opiskelijat pantiin opettamaan ja arvioimaan toisiaan (pedagogisesti muotoiltuna opetuksessa sovellettiin ”vertaisarviointia” ja ”ongelmalähtöistä opetusta”) ja osa opetuksesta automatisoitiin opetusteknologian avulla (tarkastamalla ohjelmointi- ja algoritmitehtävien ratkaisuja osin itse kehitetyillä työkaluilla). Kuten laatuyksikköhaun arviointipalautteesta voi päätellä, oli jälkimmäinen innovaatio kisassa se varsinainen naula, joka veti:

Antaessaan perusopetusta suurelle opiskelijamäärälle nopeasti muuttuvalla alalla yksikkö on aktiivisesti etsinyt ja toteuttanut monia uusia innovatiivisia opetus- ja arviointimuotoja. Työelämän tarpeet huomioidaan ansiokkaasti kurssisisällöissä, ja opiskelijan oma aktiivinen rooli on koulutuksen toteutuksessa keskeinen... Opetusteknologian hyväksikäytölle voidaan tietojenkäsittelyn perusopetuksessa asettaa suuret vaatimukset, mutta tämänkin huomioiden yksikön toteuttama harjoitustehtävien automaattinen arviointi ansaitsee erityistä huomiota ja tunnustusta.

Teknillisen korkeakoulun tietojenkäsittelyn perusopetus säilytti laatuyksikköasemansa myös seuraavalla kolmivuotiskaudella 2004–2006. Valinnassa painoivat pääosin samat massaopetusratkaisut kuin edellisellä kerralla, mutta nyt oli opetusmenetelmiä kehitetty ”pysyvään tuotantokäyttöön” ja opetusteknologiaa oli modernisoitu. Merkittävien kaudella 2001–2003 aikaansaatu uudistus oli tietotekniikan opetukseen liittyvän tutkimuksen käynnistäminen, mikä näkyi paitsi tieteellisinä julkaisuina myös työmyyrien saamina ylennyksinä: lehtori Lauri Malmista oli tehty peräti professori ja assistentti Ari Korhosestakin ma. professori.

Sovitun käytännön mukaisesti yliopistojen korkealaatuisen koulutuksen yksiköksi on voitu valita sama yksikkö enintään kaksi kertaa peräkkäin. Niinpä tietojenkäsittelytieteille saatu kiintiöpaikka vapautui kaudelle 2007–2009, jolloin TKK:n tietojenkäsittelyn perusopetus oli pelistä poissa. Kiintiön täytti Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos, jälleen 20 laatuyksikön joukossa.

Laitos perusteli hakemuksessaan koulutustoimintansa erinomaisuutta sen neljällä tukipilarilla, 1) opetuksen johtamisella, 2) pitkäjänteisellä ja systemaattisella opetuksen kehittämistyöllä, 3) opiskelijoiden henkilökohtaisella tuella ja ohjauksella (eri-

tyisesti ns. ”opettajatuutoroinnilla”) ja 4) tieto- ja viestintäteknikkaan perustuvalla opiskelun joustavuudella. Näistä tärkeimmäksi laatustatuksen kannalta taisi nousta, ei niinkään itse opetus, vaan sen kehittäminen ja johtaminen, olihan laitos suoriutunut harvinaisen hyvin juuri vastikään koko Euroopan laajuisena riesana olleesta ”Bologna-prosessista” eli kaksiportaiseen tutkintojärjestelmään siirtymisestä. Arviointipalautteessa tämä kiteytettiin seuraavaan tapaan:

Laitoksen laadunvarmistusjärjestelmä näyttää hakemuksen perusteella varsin kehittyneeltä. Kurssipalautteesta saatavaa kokonaiskuvaä käytetään opetuksen johtamisen välineenä... Hakemus antaa vakuuttavan kuvan koulutuksen laadusta ja sen pitkäjänteisestä kehittämisestä... Pedagoginen kehittäminen kytkeytyy opetuksen johtamiseen, jonka merkitys tuodaan hyvin esiin ja sille on osoitettavat toimintatavat.

Kauden 2010–2012 laatuysikkökierrokselle pantiin valintaprosessi uusiksi. Aikaisempi pelkästään hakemuspapereihin perustuva ja suomalaisten asiantuntijoiden suorittama valinta korvattiin kaksivaiheisella kansainvälisellä valinnalla, johon liitettiin tutkimuksen arvioinneissa tutuksi tulleet yksikkövierailut (site visits). Lisäksi laatustatuksen arvoa haluttiin nostaa vähentämällä yliopistokoulutuksen laatuysikköiden (”Centres of Excellence in Finnish University Education”) määrä puoleen, kahdestakymmenestä kymmeneen. Samalla palkintorahat laatuysikköä kohti lisääntyivät huomattavasti.

Valintakriteereinä käytettiin yksikön koulutusroolia ja -missiota, koulutusohjelman suunnittelua, opetusmenetelmiä, laadullista ja määrällistä tulosta sekä opetuksen kehittämistyötä. Koska pelisäännöt olivat muuttuneet, oli laatuysikköstatus mahdollista myöntää ilman rajoituksia myös aikaisemmille laatuysikköille.

Arviointiryhmän puheenjohtajaksi nimettiin professori Karl-Erik Michelsen (Lappeenrannan teknillinen yliopisto) ja sen asiantuntijajäseniksi yksikönjohtaja Stefan Bienefeld (German Rectors’ Conference, Saksa), vararehtori Birute Klaas (University of Tartu, Viro), professori Arild Raaheim (University of Bergen, Norja), varajohtaja Helen Uglow (London Business School, Iso-Britannia), opiskelija Suvi Eriksson (Oulun yliopisto), opiskelija Jonas Heikkilä (Åbo Akademi), emeritusprofessori Juhani Jussila (Lapin yliopisto) ja aluekehitysjohtaja Vesa Taatila (Laurea-ammattikorkeakoulu). Arvioinnin ensimmäisessä vaiheessa arviointiryhmä valitsi hakemusten perusteella 44 hakijasta 18 parasta, joissa kussakin osa ryhmän jäsenistä vieraili arvioinnin toisessa vaiheessa 29.9.–24.10.2008 välisenä aikana.

Hakemusten ja yksikkövierailujen perusteella arviointiryhmä, korkeakoulujen arviointineuvosto ja lopulta opetusministeriö nimesivät kymmenen yliopistokoulutuksen laatuysikköä vuosille 2010–2012. Kun tietojenkäsittelytieteiden trendi oli tutkimuksen huippuyksikköiden valinnoissa kääntynyt laskusuuntaan, osoitti käyrä koulutuksessa onneksi täysin vastakkaiseen suuntaan, sillä top-teniin saatiin peräti kaksi tieteen- ja koulutusalan edustajaa: jatkokauden saanut Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitos ja Teknillisen korkeakoulun tietotekniikan laitos, joka palasi putinmaisesti

huipulle yhden pakollisen välikauden jälkeen (tosin tällä kerralla koko laitoksen eikä pelkän perusopetuksen ansioilla).

Arviointiryhmä perusteli Helsingin yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitoksen valintaa mm. tutkimuksen ja opetuksen onnistuneella symbioosilla, opetustoiminnan linjakuudella ja sinnikkäällä kehittämisellä sekä laitoksen hyvällä hengellä ja meiningillä:

The mission comes across well through the well-structured teaching and research strategy... Research and teaching are very well integrated and support each other... The atmosphere of the unit is very supportive and motivating. Students and staff cooperate closely both formally and informally... Cognitive alignment is a concept adopted by the faculty to ensure the compatibility of learning outcomes, teaching and assessment, which seems a reasonable and very structured approach to the issue... The discipline is in a state of continuous development and change, and the department has acted systematically in development work. The staff are highly committed to continuous development work and it also seems to be very systematic.

Teknillisen korkeakoulun tietotekniikan laitos sai puolestaan kehuja mm. opettajien pedagogisesta pätevyydestä, opetuksen tutkimuksesta, monipuolisista ja vaihtoehtoisista opetusmenetelmistä sekä onnistuneesta rakenneuudistuksesta:

Many staff members in the department have taken the pedagogical programme at the university (20 credits)... Another obvious strength of the unit is its computing educational research group. The research activities of this group are often focused on issues relating to its own educational programme, resulting in information that may be of direct importance to the programme and to other institutions... The teaching staff are very conscious of the fact that different students learn in different ways, and they try to vary their teaching methods and assessment procedures accordingly... The department is the result of a merger between three formerly separate units, each with its own research strengths and history of teaching and learning. The way that the new unit has reacted to the merger, e.g. with open discussion of best practices, is admirable.

Näyttää pahasti siltä, että vuosiksi 2010–2012 nimetyt yliopistokoulutuksen laatuyksiköt jäävät suomalaisen koulutuspolitiikan historiaan lajinsa viimeisinä, sillä pari vuotta ko. kauden jälkeen ei ole vielä kukaan tietoa uudesta hausta. Ilmeisesti opetus- ja kulttuuriministeriö ei katso aiheelliseksi tukea valtionhallinnosta itsenäisiksi oikeushenkilöiksi ja säätiöiksi irtaantuneita yliopistoja samassa mitassa kuin opetusministeriö vanhaan hyvään aikaan. Aiheesta tiedotettiin korkeakoulujen arviointineuvoston (KKA) verkkosivulla 7.6.2011 seuraavasti, mutta sen jälkeen on ollut kovin hiljaista:

Korkeakoulujen arviointineuvosto on toteuttanut koulutuksen laatuyksikköarviointeja yliopisto- ja ammattikorkeakoulusektoreilla vuodesta 1998. Seuraava laatuyksikköarviointi on alustavasti ollut suunnitteilla alkavaksi

syksyllä 2011. Kannustimena arvioinneissa on ollut opetus- ja kulttuuriministeriön (OKM) tuloksellisuusrahaa valituille yksiköille. Ministeriö uudistaa vuosina 2011–2012 korkeakoulujen rahoituksen perusteita. Samalla tehdään päätös myös laatuysikköarviointien rahoituksen jatkosta. KKA tiedottaa korkeakoulukenttää, kun päätös valmistuu. Selvää on, ettei laatuysikköarviointien suunnittelu ala vuoden 2011 aikana.

Tutkijankoulutusohjelmat

Atk-ala oli 1980-luvun alussa noussut niin merkittävään yhteiskunnalliseen asemaan, että valtioneuvosto nosti alan opetuksen ja tutkimuksen erityiseksi painopistealueeksi vuosille 1983–1986 laaditussa korkeakoululaitoksen kehittämissuunnitelmassa. Suunnitelmassa pidettiin kiireellisimpänä tehtävänä jatkokoulutuksen kehittämistä ja siihen liittyvää atk-alan tohtoriohjelmien toteuttamista. Opetusministeriö täydensi suunnitelmaa korostamalla yhteistyötä jatkokoulutuksessa, etenkin pienten yksiköiden kesken.

Kehittämissuunnitelmaa päätettiin ryhtyä toteuttamaan 21.3.1985, jolloin valtioneuvosto teki periaatepäätöksen tietotekniikan koulutuksen kehittämisestä. Päätöksen mukaan atk-alan koulutusohjelmien aloituspaikkojen kokonaismäärä piti nostaa noin 400:sta noin 500:aan, mutta kauaskantoisin kohta koski alan jatkokoulutusta: ”Tietotekniikan tutkijankoulutuksen tehostamiseksi perustetaan kolme tietotekniikan ja tietojärjestelmätieteen eri aloille suuntautuvaa tutkijankoulutusohjelmaa”.

Itse periaatepäätöksessä ei erikseen perusteltu, miksi ohjelmia piti perustaa juuri kolme kappaletta, mutta todennäköisiä syitä voi päätellä periaatepäätöksen perustelu-muistiosta, jossa tutkijankoulutusohjelmien suuntia luonnehditaan ”matemaattiseksi tietojenkäsittelyksi”, ”kaupallis-hallinnolliseksi tietojenkäsittelyksi” ja ”tietojenkäsittelytekniikaksi”. Näistä kaksi ensimmäistä vastaavat jo atk-alan kivikaudella 1960-luvulla tehtyä ammatillista kahtiajakoa ”computer science -haaraksi” ja ”systeemin suunnitteluksi”, kolmas puolestaan kuvastaa teknillisissä korkeakouluissa tapahtunutta tietojenkäsittelyopin ja teknisten alojen välistä sulautumista. Tietoisesti tai ei, valtioneuvoston vuonna 1985 tekemä periaatepäätös tuli täten samalla virallistaneeksi sittemmin varsin sitkeäksi (onnistuneeksi?) osoittautuneen tietojenkäsittelytieteiden sisäisen jaon kolmeen temaattisesti eriluonteiseen haaraan.

Opetusministeriö ryhtyi harvinaisen ripeästi edistämään tutkijankoulutusohjelmien suunnittelua järjestämällä 11.6.1985 aiheesta neuvottelun, johon osallistui ministeriön virkamiesten lisäksi 24 korkeakoulujen edustajaa. Neuvottelussa päätettiin pyytää 31.8.1985 mennessä korkeakouluilta suunnitelmat ohjelmien aloittamiseksi ja sovittiin, että Martti Tienari Helsingin yliopistosta kutsuu korkeakoulujen edustajat neuvotteluun matemaattiseen tietojenkäsittelyyn suuntautuvan tutkijankoulutusohjelman suunnittelua varten, Markku Sääksjärvi Helsingin kauppar korkeakoulusta kaupallis-hallinnolliseen tietojenkäsittelyyn suuntautuvan ohjelman suunnittelua varten ja Timo Lepistö Tampereen teknillisestä korkeakoulusta tietojenkäsittelytekniikkaan suuntautuvan ohjelman suunnittelua varten.

Valtuutetut puuhamiehet tekivät työtä käskettyä, ja asiaan kuuluvien tiedepoliittisten kädenvääntöjen, kähmintöjen ja kakunjakojen jälkeen opetusministeriö pääsikin 9.9.1985 päivätyssä muistiossa luettelemaan samana syksynä toimintansa aloittaneet tietotekniikan tutkijankoulutusohjelmat:



Tietojenkäsittelyopin koulutusohjelma

- osallistuvat korkeakoulut: Helsingin yliopisto, Joensuun yliopisto, Tampereen yliopisto, Turun yliopisto ja Åbo Akademi sekä jossakin määrin Jyväskylän yliopisto, Kuopion yliopisto, Oulun yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu
- vastuulaitos: Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin laitos
- johtoryhmän puheenjohtaja: professori Martti Tienari (Helsingin yliopisto)
- johtaja: ei vielä valittu (sittemmin johtajaksi nimettiin professori Ralph Back, Åbo Akademi)

Tietojenkäsittelytekniikan koulutusohjelma

- osallistuvat korkeakoulut: Teknillinen korkeakoulu, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Oulun yliopisto, Tampereen yliopisto, Turun yliopisto ja Åbo Akademi
- vastuulaitos: Tampereen teknillisen korkeakoulun tietojenkäsittelytekniikan laitos
- johtoryhmän puheenjohtaja: professori Reijo Sulonen (Teknillinen korkeakoulu)
- johtaja: professori Reino Kurki-Suonio (Tampereen teknillinen korkeakoulu)

Tietojärjestelmätieteen koulutusohjelma

- osallistuvat korkeakoulut: Jyväskylän yliopisto, Oulun yliopisto, Tampereen yliopisto, Turun yliopisto, Åbo Akademi, Helsingin kauppakorkeakoulu, Turun kauppakorkeakoulu, Vaasan korkeakoulu, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu
- vastuulaitos: Oulun yliopiston tietojenkäsittelyopin laitos
- johtoryhmän puheenjohtaja: professori Markku Sääksjärvi (Helsingin kauppakorkeakoulu)
- johtaja: professori Pentti Kerola (Oulun yliopisto)

Kuten luettelosta huomataan, onnistuttiin tutkijankoulutusohjelmille antamaan samalla ministeriön työnimiä huomattavasti osuvammat nimet. Opetusministeriön rahoituksella pystyttiin syyslukukaudeksi 1985 palkkaamaan jokaiseen ohjelmaan kolme päätoimista jatko-opiskelijaa. Vuodesta 1986 lähtien rahoitus riitti kussakin ohjelmassa neljästä kuuteen jatko-opiskelupaikkaan, joita tosin jaettiin tuttuun tyyliin useammille jatko-opiskelijoille erimittaisina pätkinä.

Ohjelmien erityisrahoitus päättyi alkuperäisessä muodossaan vuonna 1990, mutta sitä ennen niissä oli saatu jotain aikaankin: esimerkiksi keväällä 1989 tehdyn selvityksen mukaan sekä lisenssiaatin- että tohtorintutkintojen määrä oli 1980-luvulla noussut selvästi (vuonna 1980: yhteensä 9 lisenssiaattia / 3 tohtoria, vuonna 1984: 15 / 7, vuonna 1988: 26 / 12). Esimerkiksi vuoden 1988 jatkotutkinnot jakautuivat kolmikannan kesken seuraavasti: tietojenkäsittelyoppi 5 lisenssiaattia / 3 tohtoria, tietojenkäsittelytekniikka 17 / 8, tietojärjestelmätiede 4 / 1. Sisäisen kisan ylivoimainen voittaja vuonna 1988 – kuten myös sitä edeltäneinä vuosina – oli siis tietojenkäsittelytekniikka.

Vielä tutkintoja enemmän oli lisäystä tapahtunut jatko-opiskelijoissa: kevään 1986 yhteismäärästä 165 syksyn 1988 yhteismäärään 368 (tietojenkäsittelyoppi 69, tietojenkäsittelytekniikka 235, tietojärjestelmätiede 64). Kun näihin ”varsinaisiin” jatko-opiskelijoihin lisättiin vielä ”jatko-opintoihin suuntautuneet” ja ”potentiaaliset jatko-opiskelijat”, oli alalla vuoden 1988 syksyllä yhteensä peräti 479 tutkijanalkua suorittamassa, aloittelemassa tai harkitsemassa jatko-opintoja. Heidän tulevaisuuttaan ei tutkijankoulutusohjelmien erillisrahoituksen päättyessä haluttu suinkaan täysin tuhoata, sillä 23.11.1989 päivätyssä tietotekniikan tutkijankoulutuksen koordinaatioryhmän kokousmuistiossa ohjelmille maalailtaan jo auvoisaa jatkoa:

Jatkokoulutuksen arvostus näyttää ... olevan nousussa. Hakijoita ohjelmiin on syksyllä 1989 ollut paljon, ja taso on ollut hyvä...

Todettiin, että ohjelmien nykymuotoinen erillisrahoitus päättynee vuonna 1990. Tarve ohjelmien jatkamiseen kuitenkin on.

Tutkijakoulut

Tietotekniikan tutkijankoulutusohjelmat onnistuivat 1980-luvun lopulla ilmeisesti niin hyvin, että niitä päätettiin 1990-luvun alkupuolella ottaa käyttöön kaikilla muillakin tieteenaloilla. Operaatiota alusti Suomen Akatemian luonnontieteellisen toimikunnan päätös rahoittaa vuosina 1990–1995 reilulla kahdella miljoonalla markalla avaruustutkimuksen, kasvimolekyylibiologian, materiaalitutkimuksen ja tietojenkäsittelytieteen tutkijankoulutusohjelmia.

Ratkaisevaa askelta valmistelemaan asetettiin huhtikuussa 1993 työryhmä, joka jätti lopullisen muistionsa helmikuussa 1994. Tämän ns. (Jorma) Hattulan työryhmän ehdotusten pohjalta opetusministeriö julistikin toukokuussa haettavaksi hanke-rahoinnensa ns. *graduate school* -tutkijankoulutusohjelmille. Ohjelmat tuli kohdentaa ensisijaisesti ”kansallisen innovaatiojärjestelmän kehittämisen kannalta keskeisille kasvualoille, tutkimuksen huippuyksiköiden tukemiseen ja uusien luomiseen sekä perustutkimuksen vahvistamiseen”. Jatkokoulutuksen tarve todettiin suurimmaksi ”uusteollistamisen ja innovaatiojärjestelmän kehittämisen kannalta tärkeillä (tekniikallisten ja tietointensiivisillä) tutkimusaloilla”. Tällaisiksi aloiksi määriteltiin biotekniikka, molekyylibiologia, teletekniikka ja tiedonsiirto, materiaalitutkimus sekä teollinen muotoilu. Opetusministeriö käytti *graduate school* -tutkijakoulujensa mallina paitsi tietotekniikan tutkijankoulutusohjelmia, myös vuonna 1994 ”etuajassa” perustettua Turun yliopistojen yhteistä tietotekniikan TUCS-tutkijakoulua.

Koska rahaa oli jaossa vuodelle 1995 harvinaisen paljon, 42.768.000 markkaa (9.782.000 euroa vuoden 2014 tasolla), esityksiä tehtiin nopealla aikataululla ja hättäisesti elokuun 1994 puoliväliin mennessä peräti 206 kappaletta. Suomen Akatemian järjestämän arvioinnin jälkeen opetusministeriö päätti 15.11.1994 rahoittaa 67 nelivuotista *graduate school* -hanketta, joihin voitiin rahoituksen turvin palkata yhteensä 720 päätoimista jatko-opiskelijaa tekemään väitöskirjatyötään.

Tietojenkäsittelytieteet pärjäsi kivikovassa kisassa kohtuullisesti, sillä alalle perustettiin vuoden 1995 alussa seuraavat neljä opetusministeriön rahoittamaa tutkijakoulua:

Elektroniikan, tietoliikennetekniikan ja automaation kansallinen tutkijankoulutusohjelma (johtaja: Iiro Hartimo, Teknillinen korkeakoulu): 34 jatkokoulutuspaikkaa, 2.019.600 mk (462.000 €)

Graduate School in Computing and Mathematical Sciences (Pekka Neittaanmäki, Jyväskylän yliopisto): 12 jatkokoulutuspaikkaa, 712.800 mk (163.000 €)

Helsingin tietojenkäsittelytieteen ja -tekniikan tutkijakoulu (Martti Mäntylä, Teknillinen korkeakoulu): 21 jatkokoulutuspaikkaa, 1.247.400 mk (285.000 €)

Informationsbehandling (Ralph-Johan Back, Åbo Akademi): 10 jatkokoulutuspaikkaa, 594.000 mk (136.000 €)

Näistä ensiksi mainittu oli koko Suomen suurin graduate school, joten Iiro Hartimon vasara napsahti aivan naulan kantaan.

Graduate school -huumassa järjestettiin välittömästi keväällä 1995 toinen hakukierros, jossa jaettiin 26,4 miljoonaa markkaa (6,0 miljoonaa euroa) vuoden alussa käynnistyneiden tutkijakoulujen laajentamiseen 92 jatkokoulutuspaikalla ja 26 uuden tutkijakoulun perustamiseen yhteensä 128 uudella koulutuspaikalla. Siitä lähtien rahaa valui tutkijankoulutukseen tasaisena virtana ja tutkijakouluja perustettiin joka niemeen, notkoon ja saarelmaan siinä määrin, että vuonna 2007 Suomessa oli 119 opetusministeriön rahoittamaa tutkijakoulua ja niissä yhteensä 1453 päätoimista jatko-opiskelupaikkaa.

Vaikka juhlapuheissa ja erilaisissa arvioinneissa ylistettiin suomalaista tutkijankoulutusjärjestelmää, alkoi synkkiä pilviä kuitenkin nousta tutkijakoulujen taivaalle. Opetusministeriö siirsi vuonna 2008 tutkijankoulutuspaikkoja koskevan päätöksenteon sekä järjestelmän kehittämis- ja seurantavastuun Suomen Akatemialle, jolloin graduate schooleista tohtoriohjelmiksi muuttuneiden koulujen laatuun ryhdyttiin kiinnittämään aiempaa kriittisempää huomiota. Järjestelmän uudistamiselle antoi lisäpontta vuonna 2010 tapahtunut yliopistojen ”itsenäistyminen” ja niiden muuttuminen valtion tilivirastoista julkisoikeudellisiksi laitoksiksi tai säätiölain mukaisiksi säätiöiksi.

Uudistuksen perustana käytettiin korkeakoulujen arviointineuvoston vuosina 2004–2006 toteuttamaa valtakunnallista tohtorikoulutuksen arviointia ja sille vuosina 2010–2011 tehtyä seuranta-arviointia. Niissä kannettiin huolta tohtorikoulutuksen hajanaisuudesta ja sen jäämisestä yliopistojen muusta toiminnasta ”erilliseksi saarekkeeksi” ja korostettiin erityisesti sitä, että tohtorikoulutus oli näin ollen saatava ”paremmin liitettyä yliopistojen strategioihin ja painoalueisiin”. Tutkijakoulut ja tohtoriohjelmat olivat siis alkaneet elää liiaksi omaa elämäänsä, joten ne haluttiin ruotuun ja osaksi yliopistojen normaalia toimintaa.

Uudistusinto kiteytyi joulukuussa 2011 julkaistussa Akatemian asettaman tutkijakoulutuskirjymän raportissa, jossa ehdotettiin mm. seuraavaa:

- Yliopistot vastaavat nykyistä selkeämmin tutkijankoulutuksen kokonaisuudesta ja sen järjestelmätason kehittämisestä. Tieteen- ja taiteenalakohtainen vastuu on koulutus-, tieteen- ja taiteenalojen edustajilla.
- Tutkijakoulujärjestelmän tulee kattaa kaikki tieteen- sekä taiteenalat ja kaikkien tohtorikoulutettavien tule

- kuulua tutkijakouluun. Verkostotohtoriohjelmat mahdollistavat tutkija- ja ohjaajakunnan kriittisen massan myös pienillä tieteen- ja taiteenaloilla.
- Yliopistoissa on yksi tai muutama tutkijakoulu, jotka muodostuvat tieteen-, taiteen- ja koulutusaloilta ja/tai monitieteisistä tai monitaiteisista tohtoriohjelmissa.
 - Tohtoriohjelmat integroituvat tiiviisti yliopistoon ja ovat kiinteä osa sen tutkimusstrategiaa ja profiilia, millä varmistetaan korkeatasoinen tieteellinen ja taiteellinen jatkokoulutus. Yliopistot ottavat tutkijankoulutuksen suunnittelussa huomioon tohtorikoulutettavien työllistymisen edistämisen ja urasuunnittelun.
 - Opetus- ja kulttuuriministeriön ja yliopistojen välistä sopimusmenettelyä kehitetään korostaen yliopistojen autonomiaa ja tohtoriohjelmien laadukkaan toiminnan turvaamista. Tieteellisen ja taiteellisen jatkokoulutuksen osuutta yliopistojen rahoitusmallissa yksinkertaistetaan korvamerkintä poistamalla. Tohtorintutkintojen määrällisistä koulutusaloittaisista tutkintotavoitteista luovutaan. Yliopistot huolehtivat tutkijankoulutuksen rakenteita kehittäessään tohtorikoulutuksen laadun säilyttämisestä niin kilpailun perustuvista lähtökohdista kuin erityisesti pienillä tieteen- ja taiteenaloilla tutkimus- ja koulutusyhteisön vahvistamisen näkökulmasta.

Uudistus on pantu täytäntöön vuoden 2013 alussa, josta lähtien siis Suomen Akatemian rahoittamat tohtoriohjelmat on korvattu yliopistojen tutkijakouluilla ja tohtoriohjelmillä ilman opetus- ja kulttuuriministeriön ”korvamerkintää”. Kunkin yliopiston omaa autonomiaa päätöksenteosta sitten riippuu, miten nämä uudet koulut ja ohjelmat valitaan, hallinnoidaan ja rahoitetaan. On kuitenkin varmaa, että kansallisiksi kehitetyt Akatemian ohjelmat tulevat pelissä kärsimään kaikkien yliopistojen huolehtiessa ensi sijassa omista eduistaan. Selvää on myös se, että uudistuksesta tulevat hyötymään raportissa useaan otteeseen mainitut ”pienet tieteen- ja taiteenalat”, jotka eivät ole tieteelliseen laatuun perustuvissa Akatemian valinnoissa menestyneet. Häviäjiä tulevat luonnollisesti olemaan niissä kisoissa menestyneet taiteenalat, tietojenkäsittelytieteet mukaan lukien.

Ennen uudistuksen täytäntöönpanoa Akademia ehti tehdä tohtoriohjelmiensa rahoituspäätökset kausille 2010–2013 ja 2012–2015. Koska näiden ohjelmien kausi ulottuu uuden synkän aikakauden puolelle, piti olla selvää, että ”korvamerkintä” turvaa niiden aseman siirtymäkauden aikana, mutta sekin on osoittautunut varsin kyseenalaiseksi. Näiden viimeisten Akatemian valitsemien tohtoriohjelmien joukossa ovat seuraavat tietojenkäsittelytieteiden edustajat:

Elektroniikan, tietoliikennetekniikan ja automaation tutkijakoulu GETA (johtaja: Ari Sihvola, Aalto-yliopisto): 67 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013

Helsingin tietojenkäsittelytieteen, erityisesti vaativan laskennan ja älykkäiden järjestelmien tohtoriohjelma Hecse (Petri Myllymäki, Helsingin yliopisto): 25 tutkijakoulupaikkaa 2012–2015

- Infotech Oulun tutkijakoulu (Risto Myllylä, Oulun yliopisto): 25 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013
- Itä-Suomen tietotekniikan tutkijakoulu (Erkki Sutinen, Itä-Suomen yliopisto): 5 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013
- Jyväskylän tietojenkäsittelyn ja matemaattisten tieteiden tohtoriohjelma (Pekka Neittaanmäki, Jyväskylän yliopisto): 8 tutkijakoulupaikkaa 2012–2015
- Käyttäjakeskeisen tietotekniikan tutkijakoulu UCIT (Kari-Jouko Räihä, Tampereen yliopisto): 15 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013
- Laskennallisten tieteiden tohtoriohjelma (Samuel Kaski, Aalto-yliopisto): 20 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013 + 5 tutkijakoulupaikkaa 2012–2015
- Ohjelmistotuotannon ja tietojärjestelmien tohtoriohjelma (Harri Oinas-Kukkonen, Oulun yliopisto): 10 tutkijakoulupaikkaa 2012–2015
- Tampereen tietojenkäsittelytieteen ja -tekniikan tutkijakoulu TISE (Markku Renfors, Tampereen teknillinen yliopisto): 32 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013
- TUCS Graduate School (Hannu Tenhunen, Åbo Akademi): 14 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013 + 11 tutkijakoulupaikkaa 2012–2015
- Tulevaisuuden Internetin tutkijakoulu (Martti Mäntylä, Aalto-yliopisto): 10 tutkijakoulupaikkaa 2010–2013

24. KUKA KUKIN ON

Ilman hyviä tutkijoita ja opettajia ei olisi huippu- ja laatuyksiköitä eikä edes tutkijakouluja, joten on syytä tarkastella huippua ja laatua myös henkilökohtaisemmalla tasolla. Suomalaisia tietojenkäsittelytieteilijöitä voi panna paremmuusjärjestykseen monella eri tavalla. Helpoin niistä on katsoa, millaisia arvonimiä ja kunnianosoituksia heille on myönnetty.

Korkein kotimainen tieteellisistä ansioista myönnettävä arvonimi on akateemikko. Vuosina 1947–1969 ns. vanhassa Suomen Akatemiassa oli 12 akateemikon virkaa, joiden haltijat velvoitettiin harjoittamaan ja edistämään omaa tieteellistä tai taiteellista alaansa. Koska tietojenkäsittelytiede oli tuolloin vielä pahasti lapsenkengissä, ei vanhan Akatemian akateemikkojen joukossa ollut yhtään aitoa ja oikeaa tieteenalan edustajaa. Lähimmäksi pääsivät matemaatikko Rolf Nevanlinna (nimitysvuosi: 1948) ja fyysikko Erkki Laurila (1963), jotka olivat matematiikkakonekomitean johtajia, sekä kansanrunoudentutkija Martti Haavio (1956), joka taas oli tulevan tietojenkäsittelytieteen huippuprofessorin Heikki Mannilan isoisä.

Vuodesta 1972 lähtien akateemikko on ollut valtiollinen arvonimi, jonka tasavallan presidentti myöntää Suomen Akatemian esityksestä. Akateemikon arvonimi voi olla samanaikaisesti enintään kahdellatoista kotimaisella tieteenharjoittajalla, joiden lisäksi voi ulkomaisia akateemikkoja olla rajoittamaton määrä.

Vuoteen 2014 mennessä on kaikkiaan 32:lle suomalaiselle myönnetty tieteen akateemikon arvonimi, ja heidän joukossaan on myös kaksi tietojenkäsittelytieteilijää, Teuvo Kohonen (2000) ja Arto Salomaa (2001), joskin Salomaa on tilastoissa luokiteltu valheellisesti matemaatikoksi; onneksi sentään Kohonen on luokiteltu oikein eli

tietojenkäsittelytieteen eikä fysiikan edustajaksi. Heidän lisäksi voidaan lähipiiriin hyväksyä ainakin matemaatikko Olli Lehto (1975), joka oli 1960- ja 1970-luvuilla aktiivisesti junailemassa Helsingin yliopiston atk-asioita.

Seuraavan tason kategoria ovat akatemiaprofessorit ja heitä edeltäneet Suomen Akatemian tutkijaprofessorit. Tältä listalta löytyykin jo useita tietojenkäsittelytieteiden tutkijoita:

Teuvo Kohonen, Teknillinen korkeakoulu (kaudet 1975–1978, 1980–1999)

Arto Salomaa, Turun yliopisto (1975–1980, 1989–1999)

Yrjö Neuvo, Tampereen teknillinen korkeakoulu (1984–1994)

Esko Ukkonen, Helsingin yliopisto (1999–2004)

Erkki Oja, Teknillinen korkeakoulu (2000–2005)

Jaakko Astola, Tampereen teknillinen yliopisto (2001–2006)

Ralph-Johan Back, Åbo Akademi (2002–2007)

Kalervo Järvelin, Tampereen yliopisto (2004–2009)

Heikki Mannila, Helsingin yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu (2004–2008)

Moncef Gabbouj, Tampereen teknillinen yliopisto (2011–2015)

Yksittäisiä palkintoja ja kunnianosoituksia onkin sitten jaettu jo kaikille, tämän teoksen kirjoittaja mukaan lukien. Kukaan suomalainen tietojenkäsittelytieteilijä ei ole tois-taiseksi saanut kansainvälisesti arvostetuinta tieteenalan palkintoa, ACM:n A.M. Turing Awardia, eikä edes matematiikan Fieldsin mitalia tai Rolf Nevanlinna -palkintoa. Merkittävämmäksi yksittäiseksi palkinnoksi onkin nostettava Linus Torvaldsin vuonna 2012 saama Millennium-teknologiapalkinto, joka hänelle myönnettiin Linux-käyttöjärjestelmän ytimen kehittämisestä. Tyypillinen suomalaisen nahkapäätös oli kuitenkin se, että Torvalds joutui jakamaan sekä kunnian että rahat (noin 1,2 miljoonaa euroa) ansioiltaan paljon mitättömämmän japanilaisen kantasolututkijan Shinya Yamanakan kanssa – jottei vaan tulisi maailmalla sitä surullisen kuuluisaa sanomista kotiinpäin vetämisestä. Yamanaka sai vuonna 2012 myös lääketieteen Nobel-palkinnon, joten ei hän enää mitään Millennium-palkintoa olisi edes tarvinnut.

Yliopistojen makrotason rankkauksen sivuvaikutuksena on viime vuosina siirrytty myös mikrotasolle rankkaamaan mm. yksittäisiä julkaisufoorumeja, julkaisuja ja tutkijoita. Suosittuja bibliometrisiä rankkausjärjestelmiä ovat Google Scholar, CiteSeerX, Elsevierin Scopus ja Thomson Reutersin ISI Web of Science, joilla voi mm. tarkastella yleisesti käytettyjä tieteellisen laadun ja vaikuttavuuden arviointimetriikoita, *vaikuttavuuskerrointa* (impact factor), *viittausindeksiä* (citation index) ja *h-indeksiä* (h-index). Eri järjestelmillä laskettujen metriikoiden arvot poikkeavat yleensä toisistaan, koska ne lasketaan eri julkaisutietokannoista, mutta arvojen väliset yleiset suhteet ja trendit ovat hyvin samankaltaiset järjestelmästä riippumatta.

Vaikuttavuuskerroin kertoo, kuinka monta viittausta keskimäärin tietyn julkaisufoorumin artikkeleihin kohdistuu (muiden foorumien artikkeleista määrätyn ajanjakson sisällä). Tätä tietoa käytetään tieteellisten lehtien ja konferenssien keskinäisen paremmuusjärjestyksen määrittämiseen: mitä korkeampi vaikuttavuuskerroin lehdellä tai konferenssisarjalla on, sitä merkittävämmästä julkaisufoorumista on kyse.



Viittausindeksi puolestaan mittaa tieteellisten artikkelien keskinäisiä viittauksia, ja sitä käytetään erityisesti yksittäisten julkaisujen rankkaamiseen: mitä enemmän viittauksia julkaisuun kohdistuu (muiden tutkijoiden julkaisuista), sitä laadukkaammaksi julkaisu arvioidaan.

Yksittäisen tutkijan työn laatua ja määrää voidaan mitata hänen julkaisuihinsa kohdistuneiden viittausten (citations) kokonaismäärällä, mutta viime vuosina tähän tarkoitukseen on ryhdytty käyttämään useimmiten h -indeksiä. Määritelmän mukaan h -indeksi on kokonaisluku, joka saa arvon h , mikäli tutkijan yhteensä tuottamista n :stä julkaisusta h kappaleeseen julkaisuja on kuhunkin viitattu (muiden tutkijoiden julkaisuista) vähintään h kertaa ja muihin $n-h$ kappaleeseen julkaisuja on kuhunkin viitattu vähemmän kuin h kertaa.

Koska h -indeksi ottaa huomioon sekä julkaisujen määrän että niihin kohdistuneet viittaukset, sillä voi mitata sekä julkaisutuotannon määrää että laatua, mikä onkin h -indeksin suurin etu. Toisaalta h -indeksi jättää huomioimatta mm. tieteellisen uran pituuden ja julkaisujen kirjoittajien määrän, minkä vuoksi sille on kehitetty lukuisia vaihtoehtoisia mittareita. Vaikka h -indeksien arvot vaihtelevatkin tieteenalasta toiseen, voitaneen peukalosääntönä pitää, että h -indeksin arvo 10 on ”kunniallinen suoritus”, arvo 20 ”kansainvälistä tasoa” ja arvo 40 ”huipputasoa”.

Alla tarkastellaan suomalaisten tietojenkäsittelytieteiden laitosten ja tutkijoiden kansainvälisiä aikaansaannoksia. Rankkausjärjestelmäksi on valittu Microsoft Academic Search (MAS), erityisesti koska siitä saa helpoimmin ulos relevantteja tutkimusjärjestyksiä. Tulokset olisivat varmaankin jonkin verran erilaiset käytettäessä jotakin muuta järjestelmää, joten näihin tuloksiin pettyneet voivat yrittää parantaa omaa asemaansa käyttämällä jotakin heille suotuisampaa tietolähdettä. Alla olevat MAS-rankingit on tuotettu 26.3.2013 klo 9–14.

MAS-hakukone kattaa (maaliskuussa 2013) noin 50 miljoonaa julkaisua ja noin 20 miljoonaa tutkijaa. Sillä voi rankata tieteenaloittain tutkimuslaitoksia, tutkijoita, konferensseja, lehtiä ja julkaisuja joko viittausten kokonaismäärän (Citation) tai h -indeksin (Field Rating) mukaan. MAS jaottelee tieteenalat 15 luokkaan: Agriculture Science, Arts & Humanities, Biology, Chemistry, Computer Science, Economics & Business, Engineering, Environmental Sciences, Geosciences, Material Science, Mathematics, Medicine, Multidisciplinary, Physics, Social Science.

Tietojenkäsittelytiede (Computer Science) jaetaan edelleen 24 lahkoon: Algorithms & Theory, Artificial Intelligence, Bioinformatics & Computational Biology, Computer Education, Computer Vision, Data Mining, Databases, Distributed & Parallel Computing, Graphics, Hardware & Architecture, Human-Computer Interaction, Information Retrieval, Machine Learning & Pattern Recognition, Multimedia, Natural Language & Speech, Networks & Communications, Operating Systems, Programming Languages, Real-Time & Embedded Systems, Scientific Computing, Security & Privacy, Simulation, Software Engineering, World Wide Web.

MAS:n mukaan koko tietojenkäsittelytieteen maailman parhaat organisaatiot (yliopistot ja tutkimuslaitokset) ovat Stanford University (Field Rating: 418), Massachusetts Institute of Technology (409) ja University of California Berkeley (404). Euroo-

pan kärki on: 1. University of Cambridge (214), 2. University of Oxford (197), 3. Swiss Federal Institute of Technology Zurich (190).

Suomen yliopistoista Euroopan 100 parhaan listalle koko tietojenkäsittelytieteessä yltävät Aalto-yliopisto (Euroopassa sijalla 24, koko maailmassa sijalla 124, Field Rating 110), Helsingin yliopisto (66, 220, 90) ja Oulun yliopisto (96, 298, 76).

Tietojenkäsittelytieteen osa-alueilla suomalaisten tutkimusorganisaatioiden korkein listasijoitus lohkeaa sarjassa Data Mining, jossa Helsingin yliopisto on komeasti Euroopan kakkonen ja koko maailmassa sijalla 39 (Field Rating 43, kun maailman ykkösellä se on 149). Myös Aalto-yliopisto on tehnyt laadukasta tiedonlouhinnan tutkimusta ollen Euroopassa sijalla 33 (Field Rating 22).

Ehkäpä vielä vahvempia olemme alueella Machine Learning & Pattern Recognition, jolla Aalto-yliopisto on Euroopan kolmonen ja koko maailmassa sijalla 21 (Field Rating 71, kun maailman ykkösellä se on 152), Helsingin yliopisto on Euroopassa sijalla 23 ja koko maailmassa sijalla 99 (40) ja Oulun yliopisto on Euroopassa sijalla 36 (33).

Laajimmin huippututkimusta tehdään Suomessa MAS:n mukaan alueella Human-Computer Interaction, jolla peräti kuusi organisaatiotamme yltää Euroopan 100 parhaan listalle: 38. Oulun yliopisto (Field Rating 27), 46. Tampereen yliopisto (25), 51. Helsingin yliopisto (25), 60. Aalto-yliopisto (23), 62. VTT (23) ja 76. Helsinki Institute for Information Technology (HIIT) (21). Merkille pantavaa on lisäksi se, että listalla on yliopistojen lisäksi myös kaksi tutkimuslaitosta, VTT ja HIIT.

Lähes yhtä laajalla rintamalla menestymme alueella Computer Education, jonka 100 parhaan eurooppalaisen organisaation listalla on viisi suomalaista yliopistoa: 16. Aalto-yliopisto (koko maailman sijalla 51, Field Rating 18), 47. Turun yliopisto (13), 52. Helsingin yliopisto (12), 79. Itä-Suomen yliopisto (10), 83. Tampereen teknillinen yliopisto (10). Lisäksi sijalla 78 oleilee jo lakkautettu Joensuun yliopisto (10).

Muilla tietojenkäsittelytieteen osa-alueilla suomalaiset organisaatiot sijoittuvat Euroopan top 100:aan seuraavasti:

- Algorithms & Theory: 67. Helsingin yliopisto (Field Rating 39), 83. Turun yliopisto (36)
- Artificial Intelligence: 21. Aalto-yliopisto (koko maailmassa 70., 59)
- Bioinformatics & Computational Biology: 23. Helsingin yliopisto (27), 84. Turun yliopisto (18), 90. Tampereen teknillinen yliopisto (17)
- Databases: 44. Helsingin yliopisto (33), 78. Aalto-yliopisto (27), 98. Oulun yliopisto (25)
- Graphics: 78. Aalto-yliopisto (18)
- Hardware & Architecture: 48. Tampereen teknillinen yliopisto (26), 77. Aalto-yliopisto (22), 99. Turun yliopisto (20)
- Information Retrieval: 8. Tampereen yliopisto (koko maailmassa 50., 29), 36. Helsingin yliopisto (19), 61. Aalto-yliopisto (15)
- Multimedia: 30. Tampereen teknillinen yliopisto (24), 84. Oulun yliopisto (17)
- Natural Language & Speech: 11. Aalto-yliopisto (koko maailmassa 68., 40), 35. Tampereen teknillinen yliopisto (33), 57. Helsingin yliopisto (29)
- Networks & Communications: 26. Aalto-yliopisto (46), 31. Oulun yliopisto (43), 46. Helsingin yliopisto (38), 92. VTT (26)

- Operating Systems: 100. Helsingin yliopisto (8)
- Scientific Computing: 56. Aalto-yliopisto (29)
- Security & Privacy: 24. Aalto-yliopisto (28), 41. Helsingin yliopisto (22)
- Simulation: 100. Helsingin yliopisto (8)
- Software Engineering: 72. Tampereen teknillinen yliopisto (33), 95. Åbo Akademi (30)
- World Wide Web: 30. Oulun yliopisto (21), 86. Aalto-yliopisto (13), 91. Helsingin yliopisto (13)

Listasijoituksia ei Suomen tutkimusorganisaatioille heru alueilla Computer Vision, Distributed & Parallel Computing, Programming Languages ja Real-Time & Embedded Systems.

Suomen yliopistoista menestyvät MAS-rankingeissa selvästi parhaiten Aalto-yliopisto ja Helsingin yliopisto, jotka kumpikin yltyvät Euroopan 100 parhaan listalle 15:llä tietojenkäsittelytieteen osa-alueella. Seuraavina ovat Oulun yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto (6) sekä Turun yliopisto (4).

MAS tarjoaa myös mielenkiintoisia tietojenkäsittelytieteen julkaisutoiminnan kehittymistä kuvaavia trendejä. Niistä käy ilmi ensinnäkin se, että alan julkaisutoiminta kaikkienensa kääntyi jyrkälle nousu-uralle 1980-luvun alussa ja että kasvu on viime vuosina entisestään kiihtynyt. Lisäksi trendikäyristä voi nähdä tietojenkäsittelytieteen sisäisen painotuskehityksen: julkaisutoimintaa 1980-luvun puoliväliin saakka dominoineet Algorithms & Theory ja Natural Language & Speech ovat sittemmin hiipuneet, ja 1970- ja 1980-lukujen varsin vahvat alueet Programming Languages ja Simulation ovat kuolleet lähes kokonaan. Valtavirtaan ovat niiden sijasta nousseet Artificial Intelligence ja Networks & Communications. Databases, Hardware & Architecture ja Software Engineering puolestaan vaikuttavat tietojenkäsittelytieteen pysyviltä arvoilta, sillä niiden suhteellinen asema on säilynyt suunnilleen yhtä vahvana tietojenkäsittelytieteen alkua ajoista, 1960-luvulta lähtien.

MAS:n käyttämän luokittelun murheenkryyni on tietojärjestelmätiede, joka ei sisälly tieteenalaan Computer Science vaan hajautuu useammalle alalle. Vähiten huonosti tietojärjestelmätiede näyttää MAS:n luokituksessa sisältyvän kauppatieteisiin, tieteenalan Economics & Business osa-alueeseen Business Administration & Economics. Siellä Svenska handelshögskolan (Hanken) on Euroopassa sijalla 42 (Field Rating 33) ja Aalto-yliopisto sijalla 57 (30).

Henkilötasolla suomalaisten menestys ei valitettavasti ole aivan yhtä hyvää kuin organisaatioiden sarjassa – olemme siis tieteessä pikemminkin joukkuepelaajia kuin yksilöurheilijoita. Toisaalta MAS:n Author-rankingeista voi vetää sen positiivisen johtopäätöksen, että kovat tutkijat voivat saada laadukkaita ja arvostettuja tuloksia aikaan myös valtavirran ja etabloituneiden kansallisten huippuyksiköiden ulkopuolella.

MAS:n Field Rating -kriteerin (eli h-indeksin) mukaan koko tietojenkäsittelytieteen alalla maailman kärkikolmikko on seuraava:

1. Scott J. Shenker, University of California Berkeley (tutkimusalat: Networks & Communications, Operating Systems, Distributed & Parallel Computing): h-indeksi 96
2. Ian T. Foster, Argonne National Laboratory (Distributed & Parallel Computing, Scientific Computing, Networks & Communications): 93

3. Hector Garcia-Molina, Stanford University (Databases, Distributed & Parallel Computing, Data Mining): 91

Lyhyen listan perusteella voi päätellä, että maailman kovatasoisinta tutkimusta tehdään alueella Distributed & Parallel Computing, joka sisältyy kaikkien mitalistien repertuaariin. Yleisen h-indeksi-tulosluettelon parhaat suomalaiset ovat seuraavat:

226. Teuvo Kohonen, Aalto-yliopisto (Machine Learning & Pattern Recognition, Natural Language & Speech, Artificial Intelligence): 48
259. Tuomas Sandholm, Carnegie Mellon University (Artificial Intelligence, Algorithms & Theory, Scientific Computing): 46
265. Heikki Mannila, Helsingin yliopisto (Data Mining, Databases, Algorithms & Theory): 46
456. Erkki Oja, Aalto-yliopisto (Machine Learning & Pattern Recognition, Natural Language & Speech, Artificial Intelligence): 41
595. Tommi S. Jaakkola, Massachusetts Institute of Technology (Machine Learning & Pattern Recognition, Natural Language & Speech, Bioinformatics & Computational Biology): 39

Näiden suomalaisten kärkinimien jälkeen tulee pitkä hajurako seuraaviin:

1101. Risto Miikkulainen, University of Texas Austin (Artificial Intelligence, Machine Learning & Pattern Recognition, Neuroscience): 33
1249. Aapo Hyvärinen, Helsingin yliopisto (Machine Learning & Pattern Recognition, Artificial Intelligence, Natural Language & Speech): 32
1286. Jorma Rissanen, Jyväskylän yliopisto (!) (Nuclear Physics, Algorithms & Theory, Atomic & Molecular Physics): 32

MAS:n Citation-kriteerillä (eli viittausten määrällä) tuotettuna tulosluettelo muuttuu jonkin verran erinäköiseksi. Nyt maailman kärkikolmikko on seuraava:

1. Ian T. Foster: julkaisuja 572, viittauksia 46285
2. Ronald R. Rivest, Massachusetts Institute of Technology (Algorithms & Theory, Security & Privacy, Machine Learning & Pattern Recognition): 278, 45258
3. Scott J. Shenker: 439, 45011

Suomalaiset tutkijat ovat viittausten tulosluettelossa pääsääntöisesti korkeammalla kuin h-indeksien tulosluettelossa, joten tämä lista pönkittää paremmin kansallista it-setuntoa:

50. Teuvo Kohonen: 122, 22531
264. Erkki Oja: 224, 12178
313. Aapo Hyvärinen: 151, 11138
317. Heikki Mannila: 237, 11067
479. Jorma Rissanen: 117, 8813
485. Ora Lassila, Oulun yliopisto (!) (Databases, World Wide Web, Artificial Intelligence): 64, 8781
576. Tuomas Sandholm: 277, 8100
699. Hannu T. T. Toivonen, Helsingin yliopisto (Data Mining, Algorithms & Theory, Real-Time & Embedded Systems): 142, 7234

775. Tommi S. Jaakkola: 136, 6854

Yksi suomalainen ylittää tietojenkäsittelytieteen osa-alueiden tutkija-rankingeissa maailman kärkikymmenikköön h-indeksinsä ansiosta. Hän on Heikki Mannila, joka on sarjassa Data Mining sijalla 8 (h-indeksi: 35). Maamme tiedonlouhijoista myös Hannu T. T. Toivonen (sijoitus: 26, h-indeksi: 26) sijoittuu korkealle maailman 100 parhaan tutkijan listalla, ja omaksi pojaksi voidaan katsoa lisäksi Helsingin yliopistossa ja HIIT-tutkimuslaitoksessa työskennellyt Aristides Gionis (Yahoo Research Labs, sijoitus: 83, h-indeksi: 19).

Eniten suomalaisia, viisi kappaletta, on päässyt sarjan Machine Learning & Pattern Recognition maailman huippujen joukkoon: 15. Teuvo Kohonen (h-indeksi: 37), 23. Erkki Oja (35), 36. Tommi S. Jaakkola (31), 39. Aapo Hyvärinen (29), 93. Matti Pietikäinen, Oulun yliopisto (23). Lista osoittaa Teknillisen korkeakoulun (Aalto-yliopiston) neuroverkkojen huippututkimusyksikön ja sen seuraajien olevan varsinainen tähtisampo, sillä niin Kohonen, Oja kuin Hyvärinenkin ovat olleet sen tutkijoita.

Muita h-indeksin mukaisia top 100 -sijoituksia on saavutettu alueilla Artificial Intelligence (19. Tuomas Sandholm, h-indeksi: 44), Computer Education (34. Lauri Malmi, Aalto-yliopisto, 13; 44. Ari Korhonen, Aalto-yliopisto, 12), Information Retrieval (54. Kalervo Järvelin, Tampereen yliopisto, 18) ja World Wide Web (38. Ora Lassila, 17).

Pantaessa tutkijoita viittausten mukaiseen paremmuusjärjestykseen nousee kaksi suomalaista todella korkealle maailman listalla. He ovat Ora Lassila, joka pääsee sarjassa World Wide Web peräti palkintopallille (sijoitus 3, julkaisuja 23, viittauksia 8273), ja Teuvo Kohonen, joka on sarjassa Machine Learning & Pattern Recognition sijalla 6 (julkaisuja 62, viittauksia 20155). Menestyksen syy löytyy tarkasteltaessa maailman eniten viitattuja julkaisuja: kummallakin on listalla todellinen hitti, Kohosella vuonna 1995 julkaistu kirja *Self-Organizing Maps* (sijoitus 42, viittauksia 5889) ja Lassilalla vuonna 2001 Scientific American -lehdessä julkaistu yhteisartikkeli *The Semantic Web* (60, 5283).

Ora Lassilan tutkimustyö on osoitus siitä, että jo yhdellä ainoalla huippujulkaisulla on mahdollista päästä maailmanmaineeseen. Laajemmasta näkökulmasta rankingeja tarkastellessa voi todeta, että suomalaisista tietojenkäsittelytieteen tutkijoista ovat (Microsoft Academic Searchin mukaan) Teuvo Kohonen, Heikki Mannila, Erkki Oja ja Tuomas Sandholm menestyneet parhaiten kansainvälisessä julkaisuyhteisössä.

Koska MAS ei kunnolla noteeraa tietojärjestelmätiedettä, on suomalaisten tutkijoiden asemaa ko. tutkimusalueella tarkasteltava muilla keinoilla. Arizonan yliopistossa on laadittu tietojärjestelmätieteen (Management Information Systems) tutkijoiden h-indeksin mukaisia ranking-listoja, jotka on tuotettu Google Scholar -palvelusta. Syyskuussa 2012 laadittu lista ei ole suomalaisittain hassumman näköinen:

1. Andrew B. Whinston (University of Texas at Austin) ja Hsinchun Chen (University of Arizona): 64
- ...
8. Kalle J. Lyytinen (Case Western Reserve University): 54
18. Sirkka L. Järvenpää (University of Texas at Austin): 49
89. Juhani Iivari (Oulun yliopisto): 28

Maaliskuussa 2014 Kalle Lyytisen h-indeksi oli Google Scholarissa noussut jo 64:ään ja samalla välimatka palkintokorokkeelle oli kaventunut, sillä Whinstonin h-indeksi oli 74 ja Chenin h-indeksi 70. Näyttää siis varsin mahdolliselta, että muutaman vuoden kuluttua Suomella on ensimmäistä kertaa tietojenkäsittelytieteiden tutkija ykkösenä oman erikoisalueensa maailmanlistalla. Google Scholar saattaa pian arvottaa Lyytisen myös kaikkien suomalaisten tietojenkäsittelytieteiden tutkijoiden kärkeen h-indeksillä mitattuna, sillä maaliskuussa 2014 niukasti hänen edellään olivat vain Teuvo Kohonen ja Tuomas Sandholm (molemmilla h-indeksi 65). Esimerkiksi sekä Heikki Mannila että Erkki Oja olivat Lyytisen takana (molemmilla 59).

Paitsi julkaisujen, tutkijoiden, yliopistojen ja tutkimuslaitosten laadun ja vaikuttavuuden arviointiin, ranking-listoja voisi vallan hyvin käyttää myös kansallisen tutkimusstrategian luomiseen. Pienen maan, kuten Suomen, ei kannata tuhlata vähäisiä tutkimusresurssejaan kaikilla tieteenaloilla kilpailemiseen, vaan pitäisi pikemminkin keskittyä ainoastaan sellaisiin aloihin, joissa on menestymisen mahdollisuuksia. Suomen ei urheilussakaan kannata lyödä tuloksettomasti päätä seinään kansainvälisesti laajalti kilpailuissa lajeissa kuten 100 metrin juoksussa ja miesten jalkapallossa, vaan menestystä on haettava sieltä, missä on vain vähän kilpailua, kuten Formula I:stä ja ringettesä. Samaan tapaan myös tietojenkäsittelytieteissä pitäisi valita varmat menestysalueet ja panostaa niihin.

Suomi on tietojenkäsittelytieteissä menestynyt kansainvälisesti hyvin koneoppimisessa ja tiedonlouhinnassa, joten niillä alueilla on syytä edelleenkin jatkaa tutkimustointaa. Sen sijaan taso esimerkiksi hajautetussa ja rinnakkaisessa laskennassa, algoritmeissa ja teoreettisessa tietojenkäsittelytieteessä on nykyisin maailmalla niin kivenkova, että kyseiset alueet olisi Suomessa syytä unohtaa kokonaan.

Urheilun Formula I / ringette -osastoa vastaa tietojenkäsittelytieteissä parhaiten tietojenkäsittelytieteen opetus (MAS: Computer Education), jota tutkitaan maailmalla toistaiseksi varsin vähän ja jossa Suomella on näin ollen parhaat menestymisen mahdollisuudet. Itse asiassa suomalaisista tutkijoista lähinnä maailman kärkeä onkin – ehkä hieman yllättäen – juuri kyseisellä alueella kunnostautunut Lauri Malmi: koska Malmin h-indeksi Computer Education -alueella (MAS) on 13 ja alueen ykkösen h-indeksi on 29, on hänellä matkaa ykköspallille vain 16 hyvän julkaisun verran, mikä on suomalaisista tutkijoista vähiten. Esimerkiksi Teuvo Kohosella on omalla erikoisalueellaan matkaa maailman ykköseksi 32 julkaisua (69–37), Heikki Mannilalla 36 julkaisua (71–35), Erkki Ojalla 34 julkaisua (69–35) ja Tuomas Sandholmilla 24 julkaisua (68–44).

Minkä tason julkiksia suomalaiset tietojenkäsittelytieteiden tutkijat ovat yleisemmin ottaen? Kysymystä on tarkasteltu tutkimalla, kuinka monta osumaa tutkijat saavat Googlen hakukoneella. Haut on suoritettu 26.3.2013 klo 14–15 Internet Explorer -selaimen versiolla 9.0.8112.16421.

Kuten arvata saattaa, täysin ylivoimainen ykkönen tietojenkäsittelytieteiden julkaisukisassa on Linus Torvalds, jolle Google antoi peräti (noin) 4.650.000 tulosta. Itse asiassa Torvalds on aivan kärkipäässä Suomen kaikkien alojen ja kaikkien aikojen julkisten listalla, sillä hänen edelleen kiilasi valistuneen arvauksen hauilla ainoastaan Kimi Räikkönen 14.200.000 osumalla. Selvästi Torvaldsin jälkeen jäivät mm. sellaiset suomalai-

set suuruudet kuin Heikki Kovalainen (3.160.000), Jean Sibelius (2.070.000), Teemu Selänne (1.490.000), Mannerheim (1.400.000), Karita Mattila (470.000) ja Urho Kekkonen (347.000). Linus Torvaldsin ja Formula 1 -kuskien lisäksi Suomi tunnetaan maailmalla ainoastaan heviväandiemme ansiosta: Nightwish näyttää korjaavan peräti koko potin 29.300.000 osumalla, ja myös esimerkiksi Apocalyptica (10.900.000) ja The Rasmus (10.000.000) ovat kovia sanoja, eikä euroviisuvoittaja Lordiakaan (11.100.000) ole maailmalla vielä unohdettu.

Ainakin kaksi tietojenkäsittelytieteiden professoria saa Googelta ansiotonta arvonnousua: Itä-Suomen yliopiston Matti Nykänen sai tunnetun mäkihyppääjä-, laulaja- ja stripparikaimansa avustuksella 1.040.000 osumaa ja Helsingin yliopiston Hannu Toivonen entisen NHL-maalivahdin siivellä 720.000 osumaa. Yksilöidympi haku ”Hannu T. T. Toivonen” tuotti sekin edelleen 273.000 tulosta, joten professori Toivonen voitaneen julistaa Suomen toiseksi tunnetuimmaksi tietojenkäsittelytieteilijäksi. Sen sijaan Matti Nykästen erottaminen toisistaan Googlen perushauilla olisi vaatinut niin syväisiä atk-taitoja, että se siirrettiin ratkeamattomien ongelmien joukkoon.

Kohdistamalla Google-haut Microsoft Academic Searchin esiin nostamiin suomalaisiin tutkijoihin ja täydentämällä hakuja muutamalla muuten tunnetulla nimellä saadaan kokoon seuraava tietojenkäsittelytieteiden (turhien?) julkkisten lista:

1. Linus Torvalds, 4.650.000
2. Hannu T. T. Toivonen, 273.000
3. Tommi S. Jaakkola, 72.300
4. Heikki Mannila, 54.000
5. Arto Salomaa, 46.300
6. Teuvo Kohonen, 41.900
7. Henry Tirri, 38.400
8. Tuomas Sandholm, 38.300
9. Risto Miikkulainen, 36.400
10. Aapo Hyvärinen, 34.900

Rankingeissa nousee esiin muutamia menestyneitä tutkijoita, jotka ovat luoneet uransa pääasiassa muualla kuin Suomessa. Heistä Helsingin yliopistossa työskennellyt Linus Torvalds, joka muutti vuonna 1997 ilmeisesti pysyvästi Yhdysvaltoihin, on jopa valittu vuonna 2000 ”vuoden ulkosuomalaiseksi”. Hän tosin loi maineensa Linux-käyttäjärjestelmän isänä jo Suomessa asuessaan.

Jorma Rissanen muutti heti vuonna 1965 Teknillisessä korkeakoulussa väitelttyään Yhdysvaltoihin, jossa hän työskenteli IBM:n tutkijana San Josessa Kaliforniassa koko aktiiviuransa ajan. Myös Ora Lassila on väitellyt Suomessa ja Teknillisessä korkeakoulussa, vuonna 2007. ”Ulkosuomalaisen” Lassilasta tekee se, että hän on tehnyt päätyönsä kansainvälisessä World Wide Web -konsortiossa (W3C) työskennellen suurelta osin ulkomailla, erityisesti Nokian tutkimuskeskuksen Cambridgen (Massachusetts, USA) toimipisteessä.

Myös Risto Miikkulainen, Tuomas Sandholm ja Tommi Jaakkola ovat opiskelleet Teknillisessä korkeakoulussa, mutta muutoin heidän keskenään varsin samankaltaiset urapolkunsu ovat erilaiset kuin Rissasella ja Lassilalla sikäli, että he kaikki ovat väitelleet ulkomailla, Yhdysvalloissa. Miikkulainen siirtyi vuonna 1986 suorittamansa

DI-tutkinnon jälkeen UCLA:an (University of California, Los Angeles), jossa hän väitteli vuonna 1990. Vuonna 2002 Miikkulainen nimitettiin professoriksi Teksasin yliopistoon Austiniin. Sandholmkin muutti Yhdysvaltoihin heti DI-tutkintonsa jälkeen vuonna 1992 väitellen vuonna 1996 Massachusettsin yliopistossa. Vuonna 2001 Sandholm siirtyi Carnegie Melloniin, johon hänet nimitettiin professoriksi vuonna 2006. Myös Jaakkolan ura on samankaltainen: hänkin siirtyi TKK:lla suorittamansa DI-tutkinnon jälkeen vuonna 1992 Yhdysvaltoihin, jossa väitteli vuonna 1997 (Massachusetts Institute of Technology). Jaakkola nimitettiin MIT:n professoriksi vuonna 2008.



Linus Benedict Torvalds, syntynyt 28.12.1969 Helsingissä.

Ylioppilas 1988 (Svenska normallyceum). FM 1997 (Helsingin yliopisto).

Assistentti 1992–95 ja tutkimusavustaja 1995–96 (Helsingin yliopisto), ohjelmistosuunnittelija 1997–2003 (Transmeta Corporation, Santa Clara, California), fellow 2003–2006 (Open Source Development Labs), fellow 2007– (Linux Foundation).

Nokia Säätiön tunnustuspalkinto 1997, Electronic Frontier Foundationin Pioneer Award 1998, British Computer Society'n Lovelace Medal 2000, InfoWorldin Industry Achievement Award 2000, Takeda Award 2001, Reed Collegen Vollum Award 2005, Anders Chydenius -säätiön Chydenius-mitali 2007, NEC Corporationin C&C Prize 2010, Millennium-teknologiapalkinto 2012. Tukholman yliopiston kunniatohtori 1999, Helsingin yliopiston kunniatohtori 2000, Internet Hall of Famen innovaattori 2012. Nimikkoasteroidi 9793 Torvalds 1996, nimikkoasteroidikuu Linus 2003. Kauppalehti Option 100 suomalaisen tietotekniikan edelläkävijän listalla 2000.

Linus Torvalds on laajalti ja monilla sovellusalueilla käytetyn Linux-käyttöjärjestelmän pääsuunnittelija ja -ohjelmoija. Torvalds aloitti Linux-ytimen toteuttamisen vuonna 1991, minkä jälkeen Linuxin ympärille on muodostunut laaja Torvaldsin koordinoima kansainvälinen kehittäjäyhteisö. Linuxista onkin tullut, paitsi merkittävä tietokoneiden ja useiden muiden teknisten laitteiden käyttöjärjestelmä, myös menestynein avoimen lähdekoodin (open source) ohjelmistotuote ja samalla Torvaldsista avoimen ohjelmistokehityksen keulakuva. Torvalds on kansainvälisesti tunnetuin suomalainen tietojenkäsittelytieteen edustaja ja yksi tunnetuimmista suomalaisista ylipäätään. Valitut Palat on nimennyt hänet "vuoden eurooppalaiseksi" vuonna 2000 ja Time-lehti sekä yhdeksi "maailman vaikutusvaltaisimmista ihmisistä" vuonna 2004 että yhdeksi "kuudestakymmenestä maailmaa muuttaneesta sankarista" vuonna 2006. Lisäksi hän on mm. sijoittunut sijalle 16 Ylen "suuret suomalaiset" -äänestyksessä vuonna 2004.

Linus muutti perheineen Yhdysvaltoihin vuonna 1997 ja on asettunut sinne näillä näkymin pysyvästi. Hän asuu nykyisin Portlandissa Oregonissa ja harrastaa laitesukellusta (scuba diving). Linus on leppoisa nörttisukupolven supersankari, joka osaa ottaa asiat lunkisti. Linuksen elämänsennetta luonnehtii osuvasti hänestä kirjoitetun kirjan nimi: "Just for Fun – Menestystarina".

IV

SUOMEN TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN YHTEISÖ

Suomeen perustettiin vuonna 1982 Tietojenkäsittelyliiton jäsenyhdistykseksi tietojenkäsittelytieteiden tutkijoiden ja opettajien oma tieteellinen järjestö, Tietojenkäsittelytieteen Seura. Seuran toimintamuodoiksi ovat vakiintuneet vuosittaiset teemapäivät sekä väitöskirja- ja gradupalkinnot. Seura on julkaissut vuodesta 1990 lähtien myös omaa *Tietojenkäsittelytiede*-jäsenlehteä.

25. TIETOJENKÄSITTELYTIETEEN SEURA

Tietotekniikan liitto

Suomessa oli 1950-luvun alussa käytössä runsaasti reikäkorttikoneita, jotka kuitenkin aiheuttivat kaikenlaisia murheita: laitteet eivät toimineet kunnolla, niitä ei osattu käyttää eikä koulutusta ollut tarjolla muille kuin IBM:n asiakkaille. Reikäkorttialalla kaivattiinkin yhteistä foorumia, jossa voitaisiin keskustella alan periaatteista ja ongelmista ja etsiä niihin yleispäteviä parannuskeinoja. Tätä tarkoitusta varten perustettiin 26.11.1953 *Suomen Reikäkorttiyhdistys ry*, jolla oli vuoden 1955 lopussa 144 liikejäsentä ja 56 henkilöjäsentä.

1950-luvun loppupuolella alkoivat ”elektroniaivot” syrjäyttää rajoittuneempia reikäkorttikoneita, jolloin Reikäkorttiyhdistyksenkin oli ”ennakkoluulottomasti liitettävä kaikki elektroniaivoja koskevat kysymykset toimintansa piiriin”. Suomen ensimmäinen automaattinen tietokone otettiin käyttöön Postisäästöpankissa vuonna 1958, mikä oli

ratkaiseva askel siirryttäessä tietojenkäsittelyssä uuteen aikakauteen. Reikäkorttiyhdistys oli hyvin ajan hermolla ja muutti nimensä 26.10.1960 *Tietokoneyhdistykseksi*.

Nimenmuutoksesta huolimatta Tietokoneyhdistystä johtivat edelleen vanhat reikäkorttimiehet, jolloin nuorempi tietokoneväki halusi ryhtyä edistämään erityisesti tietokoneisiin liittyviä teemoja perustamalla vuonna 1961 oman *ATK-kerhon*. ATK-kerho järjesti erilaisia esitelmä- ja keskustelutilaisuuksia ja osallistui ensimmäisten laajojen systeeminsuunnittelukurssien vetämiseen. 1960-luvun puolivälissä perustettiin lisäksi yhdistyksen atk-kerhot tai -killat Imatralle, Lahteen, Turkuun, Karhulaan, Tampereelle, Poriin ja Helsinkiin. Kansainvälisen toiminnan viritessä Tietokoneyhdistys otti vuonna 1966 hoitaakseen kansallisen komitean tehtävät IFIP:ssä (International Federation for Information Processing) päästen seuraavana vuonna sen jäseneksi.

Atk-alan toiminnan laajentuminen vaati myös yhteisöllisen organisaation uudistamista. Niinpä vuoden 1972 alussa perustettiin *Tietojenkäsittelyliitto ry* jatkamaan Tietokoneyhdistyksen toimintaa, samalla uudistaen sen säännöt vastaamaan muuttunutta maailmaa. Uusi liitto panosti entistä enemmän myös julkaisutoimintaan mm. kehittämällä jo 1960-luvun lopulla perustettua *Atk:n Tietosanomat* -lehteä (jonka nimi muutettiin myöhemmin *Tietotekniikaksi*) ja ryhtymällä julkaisemaan *ATK-vuosikirjaa*. Liiton julkaisutoiminta laajeni 1970-luvulla siinä määrin, että siitä vastaamaan perustettiin vuonna 1979 *Suomen Atk-kustannus Oy*. Liiton julkaisujen lisäksi yliopistoja kiinnostavia juttuja ilmestyi myös VTKK:n julkaisemassa *Korkeakoulujen atk-uutiset* -lehdessä ja Nokian tietotekniikan tiedotuslehdessä *net*.

Tietojenkäsittelyliitto laajeni vuoteen 1984 mennessä jo 12 000 henkilöjäseneseen ja 17 jäsenyhdistykseen, minkä seurauksena liiton rahkeet eivät enää riittäneet niin suuren jäsenistön palvelemiseen. Ongelma ratkaistiin jo perinteeksi muodostuneeseen tyyliin perustamalla kyseisenä vuonna jälleen ”uusi” tietojenkäsittelyalan liitto, *Tietotekniikan liitto ry*. Tämä liitto osoittautui kestävämmäksi kuin sen edeltäjät, sillä se porskutti ja voi hyvin aina vuoteen 2014 saakka, jolloin sen nimeksi muutettiin *Tieto- ja viestintäteknikan ammattilaiset ry* (Tivia). Vuonna 2014 Tiviassa on 17 paikallis-, 8 teema- ja 3 opiskelijayhdistystä sekä noin 13 000 henkilöjäsentä. Kultaisimmat vuodet osuvat vuosituhannen vaihteen Internet-huumaan, jolloin Tietotekniikan liitolla oli parhaimmillaan lähes 30 000 jäsentä.

Tietojenkäsittelyliittoon perustettiin vuonna 1980 *Tutkimussäätiö* edistämään atk-alan soveltavaa tutkimusta ja koulutusta. Tutkimussäätiön näkyvimpiä aikaansaannoksia ovat sen jakamat palkinnot, vuodesta 1986 lähtien jaettu *väitöskirjapalkinto*, vuodesta 1986 lähtien jaettu *vuoden atk-työ* -palkinto (nykyisin: *vuoden tietotekniikkatuote*) ja vuodesta 1987 lähtien jaettu *vuoden atk-vaikuttaja* -palkinto (nykyisin: *vuoden tietotekniikkavaikuttaja*).

Ensimmäiseksi vuoden atk-työksi valittiin vuonna 1986 ”organisaatioiden välinen tiedonsiirto” -hanke ja ensimmäiseksi vuoden atk-vaikuttajaksi vuonna 1987 Nokia Datan toimitusjohtaja Kalle Isokallio. Heti seuraavat valinnat osuivat yliopistoille, kun vuoden 1988 atk-työ oli professori Fred Karlssonin, dosentti Harri Jäppisen ja apulaisprofessori Kimmo Koskenniemen (Helsingin yliopisto) ”suomenkielen käsittely tietokoneella” ja atk-vaikuttaja puolestaan professori Teuvo Kohonen (Teknillinen korkeakoulu). Sen jälkeen moni muukin yliopistomies on saanut kunnian tulla valituksi

vuoden vaikuttajaksi: Martti Tienari vuonna 1993, Ilkka Haikala 1997, Reino Kurki-Suonio 2000, Pekka Himanen 2001, Hannu Jaakkola 2003 ja Martti Mäntylä 2005. Nämä valinnat ovat osuneet paremmin kohdalleen kuin tuo ensimmäinen: hankalan miehen maineessa ollut Kalle Isokallio sai jo vuoden 1991 alussa ”jättää” Nokian kultaisten kädenpuristuksen jälkeen. Nykyisin Isokallio pätee näkyvimmin yhtenä ylen jälkiviisaista.

Tietokoneyhdistys otti 1960-luvulla tehtäväkseen alan standardoinnin. Tuon sektorin näkyvintä toimintaa on ollut atk-alan suomenkielisen sanaston kehittäminen. Sanastotyö käynnistyi vuonna 1966, jolloin yhdistyksen standardointitoimikuntaan perustettu työryhmä julkaisi alustavan luonnoksen ”ATK-alan sanaluettelosta”. Sanaluettelo sisälsi keskeisiksi katsotut englanninkieliset termit ja niille ehdotetut suomenkieliset käännökset. Luonnoksen pohjalta laajennettu versio julkaistiin vuonna 1967 Tietokoneyhdistyksen julkaisusarjassa nimellä *Tietojenkäsittelyn sanasto*. Sanasto nimettiin vuonna 1971 lopullisesti *Atk-sanakirjaksi*, jonka viimeinen, 14. painos, julkaistiin vuonna 2008. Sanakirjan kielivalikoima oli jo 1990-luvun alkuun mennessä laajentunut kattamaan suomen ja englannin lisäksi espanjan, ranskan, ruotsin, saksan, venäjän ja viron.

Sanastotyöryhmän ja -toimikunnan varsinainen puuhamies oli sen pitkäaikainen sihteeri ja puheenjohtaja Ilmari Pietarinen (VTKK). 1970-luvulta lähtien mukana on ollut myös yliopistojen edustajia, mm. professorit Kari-Jouko Räihä, Kai Koskimies, Eero Peltola, Markku Sääksjärvi, Iiro Hartimo, Heikki Mannila ja Pekka Kilpeläinen. Heistä Kari ja Kaitsu kunnostautuivat varsinaisen sanastotyön lisäksi nuorina nörtteinä; he nimittäin ohjelmoivat Algolilla sanaston automaattiseen käsittelyyn tarvittavan työkalun, joka korvasi alkuperäisestä PL/I-kielisestä työkalusta muokatun Pascal-version.

Osvien suomenkielisten vastineiden löytäminen usein varsin lennokkaille alkukielisille termeille (kuten ”bug”, ”mouse” tai ”floppy”) on ollut joskus hankalaa. Tunnetuin esimerkki on termin ”data” suomentaminen: pitkällisen pätkäilyn jälkeen se uskallettiin suomentaa ”anneksi” Atk-sanakirjan vuonna 1980 ilmestyneessä 3. painoksessa mutta jouduttiin kansan syvien rivien närkästyneen protestoinnin seurauksena palauttamaan kääntämättömänä ”dataksi” heti seuraavassa, vuonna 1985 julkaistussa painoksessa.

Yleensä sanastotyöryhmät ja -toimikunnat ovat kuitenkin onnistuneet heti kertalaa-kista löytämään englanninkieliselle termille yleisesti hyväksytyn ja pysyväksi muodostuneen suomennoksen. Jo vuonna 1966 julkaistusta sanaluettelosta löytyvätkin mm. sellaiset helmet kuin saanti (access), sovitin (adapter), laitteisto (hardware), ohjelmisto (software), palautuma (feedback), tiedosto (data set, file), osuuskäsittely (time sharing), etuus (priority), sovellutus (application), kaistaleveys (bandwidth), harha (bias), puolitusshaku (binary search) ja ohjelmakieli (programming language). Myöhemmin kivikovaksi pätkinäksi osoittautuneen ”datan” ensimmäinen suomennosyritys oli ”tiedot”.

Seuran perustaminen

Kun Tietojenkäsittelyliiton toiminta oli suunnattu ensi sijassa atk-alalla käytännön töitä tekeville ilman tieteellistä otetta, alkoi yliopistoväen piirissä muhia luonnollinen ajatus oman tieteellisen yhdistyksen perustamisesta. Ajatusta ajoi eteenpäin aktiivisim-

min Tietokoneyhdistykseen vuonna 1966 perustettu *tieteellinen neuvottelukunta*, jossa oli professoritason edustaja kaikista Suomen tietojenkäsittelyopin laitoksista. Keskustelu ”erillisen tieteellisen atk-yhdistyksen tarpeellisuudesta” käynnistettiin neuvottelukunnan kokouksessa 12.5.1980, ja ratkaiseva askel kohti omaa järjestöä oli neuvottelukunnan kokouksessa 12.10.1981 asetettu valmisteleva työryhmä, johon nimettiin Timo Järvi (kokoontuessa, Turun yliopisto), Ralph Back (Helsingin yliopisto), Lars Backström (Helsingin yliopisto), Olavi Maanavilja (VTT), Matti Mäkelä (Helsingin yliopisto) ja Markku Syrjänen (Teknillinen korkeakoulu).

Työryhmä oli valmistelussaan niin aikaansaava ja nopea, että jo parin kuukauden kuluttua, 1.3.1982 klo 15:00–16:35, päästiin Helsingin yliopiston juhlasalissa järjestämään Tietojenkäsittelytieteen Seuran perustava kokous. Perustamiskirjan allekirjoitti 38 ”tietojenkäsittelyn tutkijaa ja alan tutkimustuloksista kiinnostunutta henkilöä”. Allekirjoittaneiden joukossa oleva Aimo Kukkasjärvi (Teknillinen korkeakoulu) ei jostain syystä kuitenkaan ole mukana perustavan kokouksen pöytäkirjan liitteenä olevassa osanottajaluettelossa, joten ikuisesti avoimeksi kysymyksi jäänee, oliko Seuran perustajajäseniä 37 vai 38 kappaletta.

Tietojenkäsittelytieteen Seura hyväksyttiin Tietojenkäsittelyliiton jäsenyhdistykseksi 13.4.1982 ja yhdistysrekisteriin 14.7.1983 ry-numerolla 137 810. Vuoden 1982 lopussa Seuralla oli 118 henkilöjäsentä, kaksi yhteisöjäsentä ja kolme kannatusjäsentä ja vuoden 1983 lopussa 129 henkilöjäsentä, kaksi yhteisöjäsentä ja kuusi kannatusjäsentä. Sittenjäsenmäärä on vakiintunut välille 300–400. Seuraa perustettaessa sille harkittiin myös itsenäisen yhdistyksen asemaa, mutta raha ratkaisi ja Tietojenkäsittelyliitto todettiin taloudellisesti turvallisemmaksi selkänäojaksi.

Kuten sivistyneisiin tapoihin kuuluu, valittiin Seuran ensimmäiseksi puheenjohtajaksi asiaa valmistelleen työryhmän kokoonkutsuja, Timo Järvi (Turun yliopisto). Johtokunnan varapuheenjohtajaksi valittiin Markku Syrjänen (Teknillinen korkeakoulu) ja sen muiksi jäseniksi Hannu Kangassalo (Tampereen yliopisto), Pentti Kerola (Oulun yliopisto), Olavi Maanavilja (VTT), Ari Rautsara (Teknillisten Tieteiden Akatemia), Jorma Sajaniemi (Joensuun korkeakoulu) ja Esko Ukkonen (Helsingin yliopisto). Johtokunta piti ensimmäisen kokouksensa 17.3.1982 ja oli muutoinkin tarmokas: se kokoontui vuonna 1982 seitsemän kertaa ja käsitteli yhteensä 88 asiaa osallistumisprosentin ollessa peräti 71. Sama pioneeriryhmä pani vuonna 1983 vielä paremmaksi: kokouksia 8, asioita 93 ja osallistumisprosentti 75. Sen jälkeen ovatkin Seuran johtokuntien ja hallitusten määrälliset saavutukset olleet laskusuunnassa.

Seura järjesti sääntömääräisiä yleiskokouksia pitkään kahdesti vuodessa, keväällä ja syksyllä. Ensimmäiset yleiskokoukset pidettiin Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksella 14.4.1982 (32 osanottajaa) ja 13.12.1982 (27 osanottajaa). Vuoden 1983 kevätkokous pidettiin 19.4. Helsingin kauppakorkeakoululla (12 osanottajaa) ja syyskokous 21.11. Helsingin yliopistolla (20 osanottajaa). Jatkuvasti kovin pieniksi jääneiden osanottajamäärien takia kahden vuosittaisen yleiskokouksen rytmistä luovuttiin vuonna 2003, josta lähtien on järjestetty ainoastaan yksi vuosikokous, keväisin. Samassa sääntöuudistuksessa muutettiin johtokunnan nimike komeasti hallitukseksi.

Seuran toiminta

Seuran jäsenoiminta on alusta lähtien keskittynyt fokuoaituneiden seminaarien sekä laajempien päivien ja koulujen järjestämiseen. Ensimmäiseksi Seuran (osittain) järjestämäksi tutkimusseminaariksi on vuoden 1982 vuosikertomukseen kirjattu Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksella 13.–15.12.1982 järjestetty ”Tietokoneavusteinen tietojärjestelmän suunnittelu”, jossa oli 11 esitelmää, 5 työryhmää ja 18 osallistujaa. Vuonna 1983 järjestettiin kaksi seminaaria, maaliskuussa kuvankäsittelystä (VTT, 17 osallistujaa) ja lokakuussa tietokannoista (IBM, 20 osallistujaa).

Ensimmäinen seminaareja laajempi talvikoulu järjestettiin 3.–6.1.1984 Helsingin yliopistoon kuuluvalla Lammin biologisella asemalla. Tilaisuuden teemana oli hajautetun ja rinnakkaisen laskennan teoria ja luennoijina useita aihepiiriin kansainvälisiä tähtiä (Nissim Francez, Ravi Sethi, Jan van Leeuwen, Derick Wood). Nimimiehet houkuttelivat Lammille 40 osallistujaa, joten talvikoulu onnistui erinomaisesti. Ensimmäinen kesäkoulu puolestaan järjestettiin 26.–29.8.1985 Paraisilla Åbolands Folkhögskolan tiloissa. Teoreettista tietojenkäsittelyoppia käsitelleen kotimaisen osuuden lisäksi ohjelmassa oli ulkomaisia esitelmii logiikkaohjelmoinnista (Tamás Gergely, Robert Kowalski, J. Alan Robinson). Ensimmäinen Seuran kesäkoulu onnistui jopa ensimmäistä talvikoulua paremmin, sillä osanottajia oli kaikkiaan 51. Seuran talvi- ja kesäkouluja järjestettiin vielä 1990-luvun alkupuolella, minkä jälkeen ne kuolivat mm. tutkijakoulujen ryhtyessä järjestämään omia vastaavia tilaisuuksiaan.

Muillekin kuin pelkästään Seuran jäsenille suunnatut tietojenkäsittelytieteen päivät käynnistettiin vuonna 1984 (23.11.) Helsingin yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksella teemasta ”hajauttaminen ja yhdentäminen tietotekniikassa”. Osallistujia oli 48, yliopistojen ja korkeakoulujen lisäksi VTKK:sta, VTT:sta, Nokia Elektroniiikasta ja Tekesistä. Vuonna 1985 päivän teemana oli ”CAD/CAM, graafinen atk ja digitaalinen kuvankäsittely”, joka veti VTT:lle 33 osallistujaa.

Tietojenkäsittelytieteen päiviä järjestettiin eri teemoista 1990-luvun alkupuolelle asti, ja erityisesti Tampereella ”Nääsvillen oliopäivinä” järjestetyt tilaisuudet olivat varsin suosittuja niiden vetäessä paikalle satoja osallistujia. Koska näillä päivillä oli aina jokin suppeahko ja ”käytännönläheinen” teema, jolla pyrittiin saamaan paikalle tutkijoiden lisäksi myös yritysten edustajia, ja koska Seuran talvi- ja kesäkoulut oli lopetettu, ei tietojenkäsittelytieteen yhteisöllä 1990-luvun puolivälissä ollut enää kotimaista tapahtumaa, johon kaikkien oli – kuten kultaisella 1980-luvulla – tapana osallistua. Tällaiseksi yhteiseksi foorumiksi herätettiin vuonna 1998 henkiin uudistetut tietojenkäsittelytieteen päivät, joissa käsitellään tietojenkäsittelytieteiden yhteisiä tutkimus- ja koulutusteemoja. Päiviin on myöhemmin liitetty myös väitöskirja- ja gradupalkintojen jako sekä Seuran vuosikokous.

Ensimmäiset uuden aallon tietojenkäsittelytieteen päivät järjestettiin Helsingin yliopistossa otsikolla ”ohjelmoinnin perusopetus ja tietoyhteiskuntastrategia”. Siitä lähtien päivät ovat kiertäneet eri yliopistoissa eri teemoilla. Erityistä mielenkiintoa herätti mm. Jyväskylän yliopistossa vuonna 2000 otsikolla ”tietojenkäsittelytiede: eilen – tänään – huomenna” järjestetty tieteenalan kehitystä tarkastellut tilaisuus. Uudistetut päivät täyttivät alkuvuosina tavoitteensa, kun niihin osallistui satakunta tieteenharjoit-

tajaa lähes kaikista Suomen yliopistoista, mutta into on jälleen kerran pahasti hiipumassa viimeisimpien päivien oltua enää muutaman kymmenen osanottajan varassa.

Seura järjesti alkuaikoina jäsenistölleen myös ekskursion: vuonna 1983 vierailtiin Enso Gutzeitin tiloissa Helsingin Vuosaaressa (noin 10 osallistujaa), vuonna 1984 Tampereella (yliopiston tietojenkäsittelyopin laitos ja Softplan, noin 25 osallistujaa) ja vuonna 1985 Tukholmassa (Ericsson Information Systems Ab ja Svenska institutet för systemutveckling, 8 osallistujaa). Ekskursioiden suosio hiipui melko nopeasti, ja niiden lopullinen kuolinisku oli Tallinnan vierailun kariutumisen osanottajapulaan 1990-luvun alussa monesta hyvästä yrityksestä huolimatta.

Omien tilaisuuksiensa lisäksi Seura osallistui 1980-luvulla mm. Suomen tekoälytutkimuksen päivien (STeP) järjestämiseen, mistä koitui paitsi riesaa myös rahallista iloa; esimerkiksi vuosien 1984 ja 1986 STeP-päivistä kertyi Seuralle voitto-osuutta yhteensä noin 70 000 markkaa, jotka ovat siitä lähtien olleet turvassa Seuran tilillä kasvamassa korkoa.

Palkinnot

Korostaakseen tietojenkäsittelytieteen koulutuksen merkitystä Seuran johtokunta päätti 11.9.1984 ryhtyä myöntämään Tietojenkäsittelytieteen Seuran pro gradu -palkintoja ”ansiokkaasta tietojenkäsittelytieteen alaan kuuluvasta tutkielmasta, joka on hyväksytty syventävien opintojen osaksi myöntämisaikajakohtaa edeltävän lukuvuoden aikana jossain Suomen yliopistossa tai korkeakoulussa (pro gradu -tutkielma, diplomaatio tai vastaava)”. Ensimmäinen palkinto, suuruudeltaan 2000 markkaa (686 euroa vuoden 2014 rahassa), myönnettiin samana syksynä Juha Vihavaiselle Helsingin yliopistosta. Siitä lähtien palkinto on myönnetty vuosittain, mutta sen arvo on noussut 1000 euroon. Vuodesta 2009 lähtien on lisäksi annettu kaksi 500 euron arvoista kunniainainta pro gradu -työstä.

Heti gradupalkinnon perustamisen jälkeen oli aika kypsä ryhtyä jakamaan palkintoja myös jatko-opiskelijoille. Seuran johtokunta päätti 14.10.1985 esittää Tietotekniikan liiton alaiselle Tutkimussäätiölle, että se ryhtyisi Seuran johtokunnan esityksestä myöntämään (ja rahoittamaan) vuotuista palkintoa ”ansiokkaasta tietojenkäsittelytieteen alaan kuuluvasta väitöskirjasta”. Tutkimussäätiö piti ehdotusta niin hyvänä, että se myönsi heti seuraavan vuoden alussa ensimmäisen väitöskirjapalkintonsa (10 000 markkaa, 3244 euroa) vuonna 1985 Helsingin yliopistossa väitelleelle Heikki Mannilalle. Myös tämä palkinto on saanut pienen inflaatiokorotuksen, ollen viime vuosina 4200 euroa.

Alla on lueteltu toistaiseksi kaikki gradu- ja väitöskirjapalkinnon saaneet.

Gradupalkinnot

1984: Juha Vihavainen (Helsingin yliopisto): *Mikrotietokoneiden ohjelmankehitysvälineiden toteutus suurella tietokoneella*

1985: Asko Komsa (Turun yliopisto): *LOGO-tulkin implementointi CLU-kielillä*

1986: Jukka Heikkilä (Helsingin kauppakorkeakoulu): *Itsenäiskäytön tukeminen ja hallinta Suomessa*

1987: Mats Aspnäs (Åbo Akademi): *En implementering av samtransaktioner I Modula-2*

- 1988: Esa Helttula (Tampereen yliopisto): *Erillisten joukkojen käsittelyalgoritmien analyysi ja havainnollistaminen*
- 1989: Petri Koistinen (Teknillinen korkeakoulu): *Interval Methods for Constructive Solid Geometry: Display via Block Model Conversion*
- 1990: Juhani Jaakola (Helsingin yliopisto): *Rajoitelogiikkaohjelmoinnin toteutus*
- 1991: Roope Kaivola (Helsingin yliopisto): *Aikalogiikkajärjestelmien muodostaminen ja hyödynnettävyys*
- 1992: Tatu Ylönen (Teknillinen korkeakoulu): *An Algorithm for Full Text Indexing*
- 1993: Jussi Rintanen (Teknillinen korkeakoulu): *Stratification and Tractability in Nonmonotonic Reasoning*
- 1994: Anna Salovius (Svenska handelshögskolan): *Beslutsprocessen vid anskaffning av informationssystem : standardsystem i mindre företag*
- 1995: Juha Kärkkäinen (Helsingin yliopisto): *Loppuosakactus - loppuosapuu pienessä tilassa*
- 1996: Tuomas Aura (Teknillinen korkeakoulu): *Time Processes of Time Petri Nets*
- 1997: Linus Torvalds (Helsingin yliopisto): *Linux: A Portable Operating System*
- 1998: Markku Turunen (Tampereen yliopisto): *Puheohjaus 3D-käyttöliittymässä*
- 1999: Antti Huima (Teknillinen korkeakoulu): *Kryptografisten protokollien analysointi symbolisella tilahaululla*
- 2000: Sami Perttu (Helsingin yliopisto): *Symbolisen musiikin haku tietokannasta*
- 2001: Heikki Tauriainen (Teknillinen korkeakoulu): *Automated Testing of Büchi Automata Translators for Linear Temporal Logic*
- 2002: Antti Niemistö (Tampereen teknillinen korkeakoulu): *Correction of Miscalculations in Recognition of Local Image Features*
- 2003: Netta Iivari (Oulun yliopisto): *Cultural Aspects in the IS Implementation Literature*
- 2004: Johan Wallén (Teknillinen korkeakoulu): *On the Differential and Linear Properties of Addition*
- 2005: Gian Donato Colussi (Helsingin yliopisto): *Equation-Based Layered Multicast Congestion Control*
- 2006: Ville Karavirta (Teknillinen korkeakoulu): *XAAL - Extensible Algorithm Animation Language*
- 2007: Miika Lang (Åbo Akademi): *Simple Operations in Gene Assembly for Ciliates*
- 2008: Taina Tikansalo (Joensuun yliopisto): *Tutkimus noviisien olio-ohjelmien suoritusta koskevista mentaalisista malleista*
- 2009: Sami Hyrynsalmi (Turun yliopisto): *Ohjelmistometriikat arkkitehtuuritasolla*
- 2010: Jouni Tuominen (Helsingin yliopisto): *Helppokytentäiset ontologiapalvelut semanttisessa webissä*
- 2011: Joel Rybicki (Helsingin yliopisto): *Exact Bounds for Distributed Graph Colouring*
- 2012: Orestis Kostakis (Aalto-yliopisto): *Analyzing and Comparing Arrangements of Temporal Intervals*
- 2013: Markus Jaakola (Tampereen teknillinen yliopisto): *Quality Management of User-Generated Content in Participatory Journalism*

Eniten gradupalkintoja, yhdeksän kappaletta, ovat kahmineet Helsingin yliopisto ja Teknillinen korkeakoulu (Aalto-yliopisto). Huomionarvoista on englannin nousu pal-

kittujen gradujen ja diplomitöiden valtakieleksi 2000-luvulla. Varmaankin siinä ovat tulevat huippututkijat opinnäytetyönsä ohessa jo harjoitelleet todellista tieteellistä kirjoittamista.

Väitöskirjapalkinnot

- 1986: Heikki Mannila (Helsingin yliopisto): *Instance Complexity for Sorting and NP-Complete Problems*
- 1987: Kalervo Järvelin (Tampereen yliopisto): *User Charge Estimation in Numeric Online Databases: A Methodology*
- 1988: Jukka T. Bergqvist (Teknillinen korkeakoulu): *A Type-Oriented Approach to Knowledge-Based Systems*
- 1989: Antti Valmari (Tampereen teknillinen korkeakoulu): *State Space Generation: Efficiency and Practicality*
- 1990: Airi Salminen (Tampereen yliopisto): *A Model for Document Databases*
Olli Yli-Harja (Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu): *Median Filters: Extensions, Analysis and Design*
- 1991: Jarkko Kari (Turun yliopisto): *Decision Problems Concerning Cellular Automata*
- 1992: Tomi Dahlberg (Helsingin kauppakorkeakoulu): *Effectiveness of Report Format and Aggregation: An Approach Matching Task Characteristics and the Nature of Formats*
- 1993: Pekka Kilpeläinen (Helsingin yliopisto): *Tree Matching Problems with Applications to Structured Text Databases*
- 1994: Ilkka Niemelä (Teknillinen korkeakoulu): *Autoepistemic Logic as a Unified Basis for Nonmonotonic Reasoning*
- 1995: Antero Taivalsaari (Jyväskylän yliopisto): *A Critical View of Inheritance and Reusability in Object-Oriented Programming*
- 1996: Jukka Heikkilä (Helsingin kauppakorkeakoulu): *The Diffusion of a Learning Intensive Technology into Organisations: The Case of Personal Computing*
- 1997: Hannu Toivonen (Helsingin yliopisto): *Discovery of Frequent Patterns in Large Data Collections*
- 1998: Ari Jaaksi (Tampereen teknillinen korkeakoulu): *Object-Oriented Development of Interactive Systems*
- 1999: Juha-Pekka Tolvanen (Jyväskylän yliopisto): *Incremental Method Engineering with Modeling Tools: Theoretical Principles and Empirical Evidence*
- 2000: Jaana Kekäläinen (Tampereen yliopisto): *The Effects of Query Complexity, Expansion and Structure on Retrieval Performance in Probabilistic Text Retrieval*
- 2001: Jaakko Hollmén (Teknillinen korkeakoulu): *User Profiling and Classification for Fraud Detection in Mobile Communications Networks*
- 2002: Mauno Rönkkö (Åbo Akademi): *Stepwise Development of Hybrid Systems*
- 2003: Vesa Halava (Turun yliopisto): *The Post Correspondence Problem for Marked Morphisms*
- 2004: Mika Hirvensalo (Turun yliopisto): *Studies on Boolean Functions Related to Quantum Computing*

- 2005: Markku Turunen (Tampereen yliopisto): *Jaspis - A Spoken Dialogue Architecture and Its Applications*
- 2006: Taneli Mielikäinen (Helsingin yliopisto): *Summarization Techniques for Pattern Collections in Data Mining*
- 2007: Risto Sarvas (Teknillinen korkeakoulu): *Designing User-Centric Metadata for Digital Snapshot Photography*
- 2008: Mika Raento (Helsingin yliopisto): *Exploring Privacy for Ubiquitous Computing: Tools, Methods and Experiments*
- 2009: Teemu Koponen (Teknillinen korkeakoulu): *A Data-Oriented Network Architecture*
- 2010: Päivi Majaranta (Tampereen yliopisto): *Text Entry by Eye Gaze*
- 2011: Wilhelmiina Hämäläinen (Helsingin yliopisto): *Efficient Search for Statistically Significant Dependency Rules in Binary Data*
- 2012: Satu Jumisko-Pyykkö (Tampereen teknillinen yliopisto): *User-Centered Quality of Experience and Its Evaluation Methods for Mobile Television*
- 2013: Jouni Sirén (Helsingin yliopisto): *Compressed Full-Text Indexes for Highly Repetitive Collections*
- 2014: Markus Salo (Jyväskylän yliopisto): *Explaining Users' Critical Incidents of Physical Mobile Interactions*

Kuten palkittuja graduja, myös palkittuja väitöskirjoja on kirjoitettu eniten Helsingin yliopistossa, seitsemän kappaletta. Seuraaville sijoille yltävät Teknillinen korkeakoulu (5) ja Tampereen yliopisto (4). Jukka ”Jups” Heikkilä (1986, 1996) ja Markku Turunen (1998, 2005) ovat toistaiseksi ainoat sekä gradu- että väitöskirjapalkintoon yltäneet opiskelijat.

Tietojenkäsittelytiede-lehti

Oma lehti oli Tietojenkäsittelytieteen Seuran työlistalla alusta lähtien. Jo 1.3.1982 pidetyn Seuran perustamiskokouksen pöytäkirjaan kirjattiin Pertti Järvisen esittämä ponsi: ”Johtokunnan tulee selvittää mahdollisuudet perustaa seuran toimesta tietojenkäsittelyalan tieteellinen lehti Suomeen”. Kokouksessa päätettiin toistaiseksi käyttää Seuran jäsenlehtenä Atk:n tietosanomia.

Välivaiheena kohti omaa lehteä Seuran johtokunta päätti hyödyntää Tietojenkäsittelyliiton yleisiä jäsenlehtiä tieteellisenä tiedotuskanavana. Ensimmäiseksi yritettiin saada omaa palstaa Atk:n tietosanomiiin, mutta hanke kariutui heti alkuunsa, koska ”liiton puolella ei ehkä ole täysin ymmärretty, mistä on kysymys” (johtokunnan kokous 14.4.1982). Seuraavaksi yritettiin Tietotekniikka-lehteä, jossa piti käynnistää ”Tieteestä”-palsta syyskuussa 1982 (johtokunnan kokous 13.9.1982). Eipä tullut tästäkään yrityksestä lopulta sen valmiimpaa: Seuran toimintakertomukseen vuodelta 1983 on kirjattu, että ”Tietotekniikan ”Tieteestä-palsta” ei ole vielääkään päässyt ilmestymään toivotulla tavalla”, ja johtokunnan kokouksen 13.5.1985 pöytäkirjassa todetaan ko. ”lehden kehittämisen Seuran toiveiden mukaisesti olevan hyvin vaikeata”. Johtokunta löi lopullisesti hanskat tiskiinkin kokouksessaan 10.3.1986 toteamalla, että ”Tietotekniikka-lehdestä ei pystytä nykyresursseilla tekemään parempaa... Tietoviikko voisi sopia paremmin varsinaiseksi jäsenlehdeksi.”



Koska 1980-luvulla ei saatu jäsenlehteä Seuran tiedotuskanavaksi, keskityttiin jäsenkirjeisiin, joita tuotettiin vuonna 1982 kaksi kappaletta, vuonna 1983 kuusi kappaletta ja vuodesta 1984 lähtien kolme tai neljä kappaletta vuodessa. 2000-luvulla sisään tiedottamiseen on riittänyt yksi jäsenkirje vuodessa.

Alun perin Pertti Järvisen ehdottamaa tietojenkäsittelyalan tieteellistä lehteä ryhdyttiin lopulta edistämään Seuran johtokunnan kokouksessa 7.4.1989, jossa ”keskusteltiin mahdollisuudesta perustaa Seuralle oma lehti”. Heti seuraavassa kokouksessa todettiin, että ”hankeen...” (ei siis ”hankkeen”) ”... etenemisen kannalta on välttämätöntä nimetä lehdelle päätoimittaja”. Ihme kyllä sellainen karpaasi löytyikin välittömästi, joten johtokunta pääsi kokouksessaan 14.6.1989 pyytämään ”Kai Koskimiestä jatkamaan lehden perustamiseen liittyvien asioiden suunnittelua”.

Kaitsu etenikin hankeen niin rivakasti, että Seuran ikioman *Tietojenkäsittelytiedelehden* ensimmäinen numero ilmestyi marraskuussa 1990. Toimittajan palstalla lehteä luonnehdittiin seuraavaan tapaan:

Tietojenkäsittelytiede-lehden tarkoituksena on välittää tietoa suomalaisesta alan tutkimuksesta tutkijoiden kesken, sekä varsinkin tutkijoiden ja soveltajien välillä... Useassa yhteydessä on esimerkiksi todettu, että Suomessa teollisuus ei yksinkertaisesti tiedä mitä maan yliopistoissa alalla puuhataan, vaikka tämä tieto saattaisi olla hyvinkin hyödyllistä monissa tapauksissa. Yliopistot ja korkeakoulut eivät ole olleet kovin aktiivisia tämän kaltaisessa tiedottamisessa, eikä toisaalta tieteellisesti suuntautuneeseen tiedottamiseen ole ollut sellaista kanavaakaan, joka tavoittaisi halutun yleisön. Lehden erityisenä tavoitteena onkin tehdä suomalaista alan tutkimusta tutuksi elinkeinoelämälle ja hallinnolle, ja parantaa korkeakoulujen ja teollisuuden yhteyksiä ja yhteistyötä.

Tietojenkäsittelytieteen historiallisen ensimmäisen numeron sisältö oli seuraavanlainen:

Toimittajan palsta (Kai Koskimies, Tampereen yliopisto)

Pääkirjoitus (Reino Kurki-Suonio, Tampereen teknillinen korkeakoulu): *Tarvitaanko tietojenkäsittelytieteen lehteä?*

Kari-Jouko Räihä (Tampereen yliopisto): *Lindelöfin perilliset: Suomalaisten tietojenkäsittelijöiden juuria etsimässä*

Kari Lehto, Hannu Saarenmaa (Metsäntutkimuslaitos): *SRM-tietojärjestelmätutkimus julkishallinnon tutkimuslaitoksessa*

Inger Eriksson, Aimo Törn (Åbo Akademi): *SOLE – IS Quality and Efficient IS Management*

Mikko Tiusanen (Teknillinen korkeakoulu): *Vikasietoinen kellojen tahdistus*

Tapahtumat

Suurinta kiinnostusta tiedeyhteisössä herätti Kari-Jouko Räihän tekemä ”sukututkimus”, jossa tarkasteltiin väittelijä-ohjaaja-suhteeseen perustuvia ”sukupuita”. Matemaatikko Ernst Lindelöfillä oli kunnia päästä artikkelin otsikkoon, koska hänestä alka-va puu oli aineistossa ylivoimaisesti suurin sisältäen 123 solmua, eli 123 matematiikasta

tai tietojenkäsittelytieteistä väitellyttä. Lindelöfin puun lehtisolmuja olivat mm. Veikko Hara, Heikki Mannila, Martti Mäntylä, Martti Penttonen, Kaisa Sere ja Antti Valmari. Myös Torsten Gustafsonin puu oli mielenkiintoinen, koska sen 13 solmussa oli varsin kovatasoisia tohtoreita, mm. Teuvo Kohonen, Kalle Lyytinen ja Erkki Oja.

Artikkeli sisälsi myös nuorimpina väitelleiden tietojenkäsittelytieteiden tohtorien ja professorien listan: (1) Heikki Mannila, 25 v 2 kk 19 pv, (2) Martti Penttonen, 25 v 9 kk 9 pv, (3) Reino Kurki-Suonio, 26 v 8 kk 1 pv, (4) Martti Tienari, 26 v 10 kk 5 pv, (5) Pekka Orponen, 26 v 10 kk 12 pv, (6) Teuvo Kohonen, 27 v 5 kk 5 pv, (7) Eljas Soisalon-Soininen, 27 v 9 kk 13 pv, (8) Esko Ukkonen, 27 v 9 kk 17 pv, (9) Martti Mäntylä, 27 v 11 kk 23 pv.

Tuo nuorimpina väitelleiden lista olisi nykyään todennäköisesti kovin erinäköinen kuin vuonna 1990, jolloin vanhana väittelemistä ei vielä pidetty kuolemansyntyinä. Vielä enemmän muuttuisi eniten ”lapsia” eli ohjattuja tohtoreita saaneiden lista: (1) Yrjö Neuvo ja Arto Salomaa, 12, (3) Martti Tienari, 11, (4) Olavi Hellman, 8, (5) Reino Kurki-Suonio, 6. Jatkotutkimusta ei Lindelöfin perillisistä ole valitettavasti kuitenkaan julkaistu.

Tietojenkäsittelytieteessä ilmestyi alkuvuosina muitakin keskustelua herättäneitä poleemisia artikkeleita, kuten Kimmo Raatikaisen *Tietojenkäsittelytiedettä etsimässä* (numero 2, marraskuu 1991), Ralph-Johan Backin pääkirjoitus graduate school -järjestelmästä (numero 4, toukokuu 1993) ja Kalle Lyytisen pääkirjoitus tieteellisestä turismista (numero 8, elokuu 1996). Tuoreemmista epätieteellisistä artikkeleista ainakin Juhani Iivarin *Puheenvuoro: Suomalaisten tietojenkäsittelytieteiden tieteellinen taso* (numero 27, joulukuu 2007) on ylittänyt akateemisen keskustelukynnyksen.

Kaitsu Koskimies toimitti yksinään Tietojenkäsittelytieteen kaksi ensimmäistä numeroa (1990–1991). Sen jälkeen on käytetty joukkovoimaa ja lehden toimituskuntina ovat olleet Kai Koskimies, Pekka Orponen ja Kimmo Raatikainen (1992–1994), Jukka Paakki ja Kimmo Raatikainen (1995–1996), Mika Klemettinen ja Jukka Paakki (1997–2001), Ari Korhonen ja Antti Valmari (2002–2003), Ari Korhonen, Jorma Tarhio ja Antti Valmari (2004–2011) sekä Ari Korhonen, Markku Sakkinen, Jorma Tarhio ja Antti Valmari (2012–). Vapaaehtoistyötä tekevän toimituskunnan koko on siis vähitellen kasvanut. Viimeisimmän, huhtikuussa 2012 ilmestyneen lehden järjestysnumero on 34, joten Tietojenkäsittelytiede on saatu ilmestymään noin kaksi kertaa vuodessa. Vuosina 1998–2001 Tietojenkäsittelytiede muistutti enemmän kuva- kuin tiedelehteä ja sillä oli Seuran jäsenistöä laajempi jakelu, mutta sen jälkeen on taas palattu alkuperäiseen formaattiin.

Puuhamiehet ja -naiset

Tietojenkäsittelytieteen Seuran ensimmäisissä, vuonna 1982 hyväksytyissä säännöissä todetaan Seuran johtokunnasta seuraavaa (5 §):

Yhdistyksen hallituksena toimii ja sen asioita hoitaa kalenterivuodeksi kerrallaan syyskokouksessa valittu johtokunta, johon kuuluu puheenjohtaja, varapuheenjohtaja ja 4–6 muuta jäsentä. Johtokunnan jäsenenä voivat olla vain yhdistyksen henkilöjäsenet kuitenkin niin, että johtokunnassa saa olla enintään yksi ... opiskelijajäsen.

Johtokunnan jäsen ei ole vaalikelpoinen kolmen perättäisen toimikauden jälkeisenä vuotena.

Kuitenkin edellisessä momentissa tarkoitettu johtokunnan jäsen voidaan valita puheenjohtajaksi, mikäli hän ei ole tässäkin tehtävässä toiminut kolmea perättäistä toimikautta.

Voimassa olevissa säännöissä on säilytetty vaali- ja puheenjohtajakelpoisuuden kriteerit ennallaan, mutta hallituksen maksimikokoa on suurennettu (6 §):

Yhdistyksen asioita hoitaa hallitus, johon kuuluu vuosikokouksessa valitut puheenjohtaja ja kuudesta yhdeksään (6–9) muuta varsinaista jäsentä. Hallituksen jäseninä voivat olla vain yhdistyksen henkilöjäsenet kuitenkin niin, että hallituksessa saa olla enintään kaksi (2) opiskelijajäsentä. Hallituksen toimikausi on kalenterivuosi. Hallitus valitsee keskuudestaan varapuheenjohtajan sekä ottaa keskuudestaan tai ulkopuoleltaan sihteerin, rahastonhoitajan ja muut tarvittavat toimihenkilöt.

Vaikka Seuran säännöt ovat aina sallineet opiskelijajäsenten mukanaolon johtokunnassa tai hallituksessa, ei sellaisia liene varsinaisesti koskaan ollut, vaan ”päätoimisesti opiskelevat” jäsenet ovat (jatko-)opintojensa lisäksi myös palkollisina ”harjoittaneet tietojenkäsittelyn tutkimusta” tai vähintään ”olleet kiinnostuneita sen tuloksista” (Seuran ensimmäiset säännöt, 3 §).

Seuraavassa taulukossa on lueteltu kaikki Seuran puheenjohtajat ja todelliset työmyyrät eli sihteerit.

| Vuosi | Puheenjohtaja | Sihteerit |
|-------|---|--|
| 1982 | Timo Järvi, Turun yliopisto | Ari Rautsara, Teknillisten Tieteiden Akatemia |
| 1983 | Timo Järvi | Ari Rautsara |
| 1984 | Timo Järvi | Eljas Soisalon-Soininen, Helsingin yliopisto |
| 1985 | Martti Tienari, Helsingin yliopisto | Eljas Soisalon-Soininen |
| 1986 | Martti Tienari | Eljas Soisalon-Soininen |
| 1987 | Martti Tienari | Kai Koskimies, Helsingin yliopisto |
| 1988 | Kari-Jouko Räihä, Tampereen yliopisto | Kai Koskimies & Erkki Mäkinen, Tampereen yliopisto |
| 1989 | Kari-Jouko Räihä | Erkki Mäkinen |
| 1990 | Iiro Hartimo, Teknillinen korkeakoulu | Lauri Malmi, Teknillinen korkeakoulu |
| 1991 | Iiro Hartimo | Lauri Malmi |
| 1992 | Reino Kurki-Suonio, Tampereen teknillinen korkeakoulu | Matti Jokinen, Turun yliopisto & Pertti Kellomäki, Tampereen teknillinen korkeakoulu |
| 1993 | Reino Kurki-Suonio | Pertti Kellomäki |
| 1994 | Heikki Mannila, Helsingin yliopisto | Jaana Eloranta, Helsingin yliopisto |
| 1995 | Heikki Mannila | Tapio Elomaa, Helsingin yliopisto |
| 1996 | Kaisa Sere, Åbo Akademi | Tapio Elomaa |
| 1997 | Kaisa Sere | Jukka Teuhola, Turun yliopisto |
| 1998 | Kaisa Sere | Jukka Teuhola |
| 1999 | Esko Ukkonen, Helsingin yliopisto | Jukka Teuhola |

| | | |
|------|--|--|
| 2000 | Esko Ukkonen | Ari Korhonen, Teknillinen korkeakoulu |
| 2001 | Antti Valmari, Tampereen teknillinen korkeakoulu | Ari Korhonen |
| 2002 | Antti Valmari | Jorma Tarhio, Teknillinen korkeakoulu |
| 2003 | Antti Valmari | Eija Karsten, Åbo Akademi |
| 2004 | Lea Kutvonen, Helsingin yliopisto | Vesa Hirvisalo, Teknillinen korkeakoulu |
| 2005 | Lea Kutvonen | Vesa Hirvisalo |
| 2006 | Lea Kutvonen | Pirjo Moen, Helsingin yliopisto |
| 2007 | Jukka Paakki, Helsingin yliopisto | Pirjo Moen |
| 2008 | Jukka Paakki | Pirjo Moen |
| 2009 | Tarja Systä, Tampereen teknillinen yliopisto | Jussi Kangasharju, Helsingin yliopisto |
| 2010 | Tarja Systä | Hannakaisa Isomäki, Jyväskylän yliopisto |
| 2011 | Hannakaisa Isomäki | Timo Poranen, Tampereen yliopisto |
| 2012 | Hannakaisa Isomäki | Päivi Majaranta, Tampereen yliopisto |
| 2013 | Markku Tukiainen, Itä-Suomen yliopisto | Päivi Majaranta |
| 2014 | Markku Tukiainen | Päivi Majaranta |

Eniten johtokunta- tai hallitusvuosia, seitsemän, on Juhani Iivarilla (1985–86, 1990–92, 2010–11), Kaisa Serellä (1989–90, 1994–98) ja Esko Ukkosella (1982–83, 1996–2000), jotka täten voidaan julistaa Tietojenkäsittelytieteen Seuran pyyteettömän työn sankareiksi.

Opista tieteeksi ja tekniikaksi

Tietojenkäsittelyliiton tieteellinen neuvottelukunta käynnisti 1980-luvun alussa paitsi Tietojenkäsittelytieteen Seuran perustamisen, myös toisen merkittävän mutta huomattavasti vaikeammaksi osoittautuneen operaation. Samassa kokouksessa (12.10.1981), jossa asetettiin Seuran perustamista valmisteleva työryhmä, ”keskusteltiin lyhyesti” myös ”tietojenkäsittelyyn liittyvän tieteenalan nimestä”.

Asia jäi joksikin aikaa muhimaan, kunnes loppuvuodesta 1986 tieteellinen neuvottelukunta antoi työvaliokunnalleen tehtäväksi pohtia ”oppialaterminologiaa”. Työvaliokunta (puheenjohtaja Timo Järvi, Martti Tienari, sihteeri Heikki Räikkönen) teki työtä käskettyä ja laati ehdotuksen, joka käsiteltiin neuvottelukunnan kokouksessa 13.10.1986. Kokouksessa ”todettiin, että termistä tietojenkäsittelyoppi tulisi päästä termiin tietojenkäsittelytiede” ja päätettiin pyytää asiaan kirjallisesti korkeakoulujen kanta.

Kysely toteutettiin siten, että neuvottelukunnan kokouksessa 11.5.1987 voitiin käsitellä yhteenveto 11 korkeakoulun esittämistä kannoista. Kaikki vastanneet pitivät muutosta aiheellisena, ainakin tietyin varauksin. Keskeiseen kysymykseen ”Mikä termi olisi laitoksellesi tai oppiaineellesi paras?” saatiin vastauksiksi ”tietojenkäsittely”, ”tietojenkäsittelyoppi”, ”tietojenkäsittelytiede”, ”tietotekniikka”, ”tietojenkäsittelytekniikka” ja ”tietojärjestelmätiede”. Pakka meni siis sekaisin siinä määrin, että neuvottelukunta päätti jättää nimiketyksen omalta osaltaan pöydälle ja siirtää sen korkeammalle taholle. Niinpä neuvottelukunnan puheenjohtaja Timo Järvi lähetti 13.5.1988 opetusministeriölle kirjeen, jossa esitettiin kunnioittaen, että ”Opetusministeriö selvittäisi kantansa tähän muutokseen ja ryhtyisi toimenpiteisiin sen toteuttamiseksi”.

Ministeriössä haluttiin ilmeisesti vaieta näin mitätön asia kuoliaaksi, sillä vastaus-ta saati toimenpiteitä ei koskaan kuulunut. Neljän hiljaisen vuoden jälkeen tieteellinen neuvottelukunta kyllästyi lopulta odottamiseen ja päätti 11.5.1992 yrittää uudemman kerran lähettämällä korkeakoulujen ainelaitoksille edelliskertaa tarkemman kyselyn

tieteenalan ja oppiaineen nimestä. Kyselyyn saatiin kymmenen vastausta, joista laadittu yhteenveto käsiteltiin neuvottelukunnan syyskokouksessa 21.9.1992:

- Eniten kannatusta (5 kpl) yhteiseksi kattotermiksi sai *informatiikka* (Helsingin yliopisto, Joensuun yliopisto, Tampereen yliopisto, Turun kauppakorkeakoulu, Vaasan yliopisto), seuraavina *tietojenkäsittelytiede* tai *-tieteet* (3 kpl: Helsingin kauppakorkeakoulu, Kuopion yliopisto, Oulun yliopisto) ja *tietotekniikka* (2 kpl: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Turun yliopisto).
- Matemaattisesti painottuneen tutkimuksen termiksi sai selvästi eniten kannatusta *tietojenkäsittelytiede* (8 kpl: HY, JoY, LTKK, OY, TaY, TuKKK, TuY, VY), seuraavina *matemaattinen tietojenkäsittelytiede* (1 kpl: HKKK) ja *datalogia* (1 kpl: KY).
- Ihmis-, organisaatio- ja yhteiskuntakeskeisen tutkimuksen termiksi sai *tietojärjestelmätiede* lähes yksimielisen kannatuksen (9 kpl); ainoastaan Kuopion yliopisto ehdotti jotakin muuta, *infologiaa*.
- Teknis-konstruktiviselle tutkimukselle sai eniten kannatusta termi *tietojenkäsittelytekniikka* (5 kpl: HKKK, HY, JoY, LTKK, TuKKK), mutta kannatusta saivat myös *tietotekniikka* (3 kpl: KY, OY, VY) sekä *tietokone- ja ohjelmistotekniikka* (1 kpl: TuY).

Neuvottelukunnan aikaansaannoksen innoittamana sen puheenjohtaja Martti Mäntylä lähetti yhdessä Tietotekniikan liitto ry:n toiminnanjohtajan Heikki Räikkösen kanssa 30.11.1992 opetusministeriöön kirjeen, jossa todettiin termistökyselyn yhteenveto ja esitettiin sen nojalla kunnioittaen, että ”Opetusministeriö käynnistäisi tarpeelliset lakija asetusmuutokset, jotta ainakin yliopistojen luonnontieteellisissä tiedekunnissa tietojenkäsittelyoppi-termi muutetaan tietojenkäsittelytiede-termiksi”.

Tällä kerralla opetusministeriö katsoi aiheelliseksi puuttua asiaan ja järjesti keväällä 1993 oman lausuntokierroksensa. Koska ministeriöiden lausuntopyyntöihin on oman edun vuoksi aina viisainta vastata, saatiin nyt kannanotot myös niistä korkeakouluista, jotka eivät edellisvuonna vaivautuneet vastaamaan Tietotekniikan liiton mitättömälle tieteelliselle neuvottelukunnalle:

- Jyväskylän yliopisto puolsi kattotermiä *tietojenkäsittelytieteet* ja alatermejä *tietojenkäsittelytiede*, *tietojärjestelmätiede* ja *tietojenkäsittelytekniikka*
- Tampereen teknillisen korkeakoulun mielestä *informatiikka* oli sopivin koko tieteenalan yleiseksi kattotermiksi ja *tietotekniikka* tekniikan alan kattotermiksi; lisäksi se kannatti alatermien *tietojenkäsittelytiede*, *tietojärjestelmätiede* ja *tietojenkäsittelytekniikka* käyttöä
- Teknillinen korkeakoulu kannatti kattotermiä *tietotekniikka* ja sen alatermejä *tietojenkäsittelytiede*, *tietojärjestelmätiede* ja *tietojenkäsittelytekniikka*
- Åbo Akademin käsityksen mukaan tuli yleisterminä käyttää *tietojenkäsittelyoppia* (*informationsbehandling*), mutta se ei ottanut selvää kantaa alatermeihin

Jotkut korkeakoulut olivat kyselyjen välissä osittain muuttaneet kantaansa; esimerkiksi Kuopion yliopisto oli luopunut matemaattisesti painottuneen tutkimuksen datalogia-

termistä siirtyen kannattamaan tietojenkäsittelytiede-termiä, kun taas Oulun yliopisto oli siirtynyt tietojenkäsittelytieteestä matemaattisen tietojenkäsittelytieteen kannattajaksi.

Korkeakoulujen lisäksi opetusministeriö pyysi lausuntoa Suomen Ylioppilaskuntien Liitolta, Teollisuuden ja Työnantajain Keskusliitolta sekä korkeakouluneuvostolta. Niistä mielenkiintoisin on korkeakouluneuvoston lausunto, jossa puheenjohtaja Reijo Vihkon merkitsemänä todetaan mm. seuraavaa:

Esitettyjä termistömuutoksia ao. toimialaa ja sen virkoja koskeviin asetuksiin ei tule tehdä.

Perusteluna korkeakouluneuvosto toteaa, että kyseessä on uusi tieteenala, jonka termistö muuttuu, eikä se vielä ole vakiintunut. Ylestermi tietotekniikka ja tietoliikennetekniikka ovat käytössä elinkeinoelämässä, koulumaailmassa sekä teknillisissä korkeakouluissa ja osassa luonnontieteellisiä tiedekuntia. Ehdotetut termit tietojenkäsittelytiede ja tietojärjestelmätiede tuntuvat teennäisiltä...

Uudet ehdotetut termit eivät todennäköisesti tule vakiintumaan, eikä niiden käyttöönotto mahdollisesti tilapäisenä ratkaisuna ole perusteltua. Koulut ja elinkeinoelämä tuskin ottavat käyttöön pitkiä tiede-loppuisia termejä. Jos ko. termejä halutaan käyttää, tulisi tiede-loppu jättää pois: termit tietojenkäsittely, tietojärjestelmä, tietotekniikka ovat sopivia.

Opetusministeriö ei löytänyt lausunnoista riittävää konsensusta, joten se pesi asiassa käsiään todeten 17.6.1993 päivätyssä kirjeessään Tietotekniikan liitolle, että ”näkemykset termistön käytöstä poikkesivat toisistaan siinä määrin, että on vaikea löytää niistä sellaista yhteneväisyyttä, jonka pohjalta voitaisiin ratkaista esim. säädöksissä käytettävästä terminologiasta”. Kauniiksi lopuksi pallo heitettiin takaisin liitolle: ”Opetusministeriö katsoo, että uuden terminologian käyttöönotto vaatii lisää valmistelua ja lähettää saamansa lausunnot alan terminologiasta Tietotekniikan liitolle mahdollisia kommentteja ja tarkistuksia varten”.

Liitto ei halunnut enää pitkittää pähkäilyä oppialaterminologiasta käynnistämällä uusia kyselyitä, joten opetusministeriö päätyi lopulta antamaan tammikuussa 1994 yliopistoille ohjeet opetusalan nimikkeistä. Ohjeen mukaan kattotermi oli *tietojenkäsittelytieteet*, jonka alla oli luonnontieteissä käytettävä termiä *tietojenkäsittelytiede* (computer science), teknistieteellisellä alalla termiä *tietotekniikka* (information technology) ja yhteiskunta- ja kauppatieteissä termiä *tietojärjestelmätiede* (information system science). Pitkähkössä prosessissa asiantuntevimmaksi opinahjoksi osoittautui Oulun yliopisto (Pentti Kerola), joka oli ainoana veikannut kaikki neljä termiä oikein vuonna 1992 tehdyssä kyselyssä.

Korkeakouluissa ryhdyttiin noudattamaan vaihtelevasti ja erilaisilla aikatauluilla ministeriön ohjetta. Seuraavina vuosina oppiaineen nimi muutettiin sisäisin päätöksin ajan tasalle useissa korkeakouluissa, ja esimerkiksi Helsingin yliopiston matemaattisluonnontieteellisessä tiedekunnassa tietojenkäsittelyoppi muuttui tietojenkäsittelytieteeksi ja tietojenkäsittelyopin laitos tietojenkäsittelytieteen laitokseksi 1.8.1994 lukien.



Martti Johannes Tienari (10.11.1935–13.10.2013), syntynyt Perniössä.

Ylioppilas 1953 (Oulun lyseo). FK 1958, FL 1960, FT 1962 (Helsingin yliopisto, matematiikka).

Assistentti 1958–60 ja luennoitsija 1960–65 (Sotakorkeakoulu), tietokonematemaatikko 1960–66 (Suomen kaapelitehdas oy), laskentakeskuksen esimies 1967–69 (Oy Nokia Ab), tietojenkäsittelyopin / tietojenkäsittelytieteen professori 1969–98 (Helsingin yliopisto). Vieraileva professori 1981 ja 1987 (Technische

Universität Darmstadt).

Tietojenkäsittelytieteen Seuran puheenjohtaja 1985–87. Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen osaston dekaani 1971–78, Helsingin yliopiston laskentakeskuksen johtokunnan puheenjohtaja 1971–92. Maanpuolustuksen tieteellisen neuvottelukunnan (MATINE) puheenjohtaja 1974–77, Tietotehdas oy:n tieteellisen neuvottelukunnan puheenjohtaja 1980–90. Professoriliiton hallituksen varapuheenjohtaja 1979–80 ja puheenjohtaja 1981–82. Suomen edustaja IFIPin yleiskokouksessa 1987–96, IFIPin hallituksen jäsen 1989–96 ja IFIPin teknisen yleiskokouksen (Technical Assembly) puheenjohtaja 1994–96.

Vuoden atk-vaikuttaja 1993. Helsingin yliopiston Pohjois-Pohjalaisen Osakunnan inspehtori 1969–79 ja kunniajäsen 2006. Suomen sotatieteellisen seuran kutsujäsen 1977, Teknillisten Tieteiden Akatemian jäsen 1980, Suomalaisen Tiedeakatemian jäsen 1992. Suomen Leijonan komentajamerkki 1983.

Martti Tienari väitteli matematiikasta, ja hänen tutkimustyönsä tietojenkäsittelyopissa alkoi myös siihen liittyvästä aihepiiristä, numeeristen algoritmien pyöristysvirheistä. Myöhemmin hän keskittyi erityisesti ohjelmointikielten kääntäjiin sekä hajautettujen järjestelmien ja tietokoneverkkojen teoriaan. Varsinaisen tutkimustyön lisäksi Tienari ansioitui erityisesti uusien avausten tekijänä, tutkimushankkeiden organisaattorina ja nuoremman tutkijapolven kouluttajana: poikkeuksellisen monet hänen ohjaamistaan tohtoreista ovat päätyneet professoreiksi Suomen eri yliopistoihin.

Martin harrastuksia olivat kirjallisuus, klassinen musiikki, perinne-jazz ja liikunta. Hän oli yksi Suomen tietojenkäsittelytieteen tärkeimmistä tienraaajista ja kiistatta 1970- ja 1980-lukujen vaikutusvaltaisin tieteenalan edustaja. Pitkälti Martin suvereenien hallinnollisten kykyjen ansiosta tietojenkäsittelyoppi nousi noina vuosikymmeninä vakavasti otettavaksi akateemiseksi oppiaineeksi, ei pelkästään Helsingin yliopistossa vaan koko Suomessa.

V

YHTEENVETO

Tietojenkäsittelytieteet tulivat Suomen yliopistoihin ja korkeakouluihin 1960-luvulla, kun tietokoneiden ja automaattisen tietojenkäsittelyn yleistyminen teollisuudessa ja julkisella sektorilla aiheutti alalle nopeasti kasvavan työvoimapulan. Tietojenkäsittelyoppi-niminen oppiaine synnytettiin opetuksen eikä esimerkiksi tieteellisen tutkimuksen tarpeisiin. Suomen ensimmäinen tietojenkäsittelyopin laitos perustettiin vuonna 1965 Tampereen yliopiston edeltäjään Yhteiskunnalliseen korkeakouluun, ja 1960-luvun lopulla alan laitos perustettiin myös Helsingin yliopistoon, Jyväskylän yliopistoon, Teknilliseen korkeakouluun, Oulun yliopistoon ja Turun yliopistoon (aluksi sovelletun matematiikan laitoksena). Samassa yhteydessä näihin yliopistoihin perustettiin myös ensimmäiset tietojenkäsittelyopin professorinvirat. Suomen (ja Pohjoismaiden) ensimmäinen tietojenkäsittelyopin professori on Reino Kurki-Suonio, joka nimettiin virkaansa Tampereen yliopistossa vuonna 1967.

Tietojenkäsittelytieteiden tutkimus puolestaan käynnistyi aluksi sellaisilla alueilla, joilla alan pioneerit olivat hankkineet tieteellisen pätevyytensä. Niinpä 1960-luvulla, jo ennen varsinaisten tietojenkäsittelyopin laitosten perustamista, tutkimusta tehtiin erityisesti matematiikkaan perustuen formaaleissa kielissä ja automaattiteoriassa ja fysiikkaan perustuen neurolaskennassa. Näiden tutkimusalueiden uranuurtajia olivat Arto Salomaa Turun yliopistossa ja Teuvo Kohonen Teknillisessä korkeakoulussa.

1970-luvulla tutkimus käynnistettiin myös tietojenkäsittelytieteiden omilla ydinalueilla. Ensimmäinen suurempi tutkimushanke ja samalla osoitus rahoittajille ja laajemmalle tiedeyhteisölle tietojenkäsittelyopin tutkimuksellisesta relevanssista oli Martti Tienarin vuonna 1975 Helsingin yliopistossa käynnistämä ja valtion luonnontieteellisen toimikunnan rahoittama ohjelmointikielten toteutustekniikoita kehittänyt meta-kääntäjäprojekti. Kun pää oli näin saatu auki, käynnistettiin 1970-luvun lopulla pikku hiljaa muitakin laajempia tietojenkäsittelytieteiden tutkimushankkeita. Samalla kansainvälinen julkaisutoiminta vilkastui huomattavasti ja tietojenkäsittelytieteet alkoivat saada ”aputieteen” sijasta oman itsenäisen tieteenalan statusta. Kilpailu muiden tieteenalojen ja tutkimusryhmien kanssa paransi myös tutkimuksen laatua.

Merkittävä tietojenkäsittelytieteiden tutkimustoimintaa suuntaava askel oli Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) perustaminen vuonna 1983. Tekes ryhtyi rahoittamaan yritysten ja yliopistojen yhteisiä tutkimus- ja kehitysprojekteja, joissa pääpaino on soveltavassa tutkimuksessa eikä tieteellisessä perustutkimuksessa, joka jäi Suomen Akatemian reviiriin. Tutkimusrahoituksen lisääntyminen ja rahoitusmuotojen moni-

puolistuminen laajensivat tutkimustoimintaa 1980- ja 1990-luvuilla kaikille tietojenkäsittelytieteiden alueille, ja yleinen kansallinen panostus strategiseksi tulevaisuuden alaksi valittuun tietoteollisuuteen toi tietojenkäsittelytieteet 1980-luvulla kaikkiin Suomen yliopistoihin ja korkeakouluihin. Samalla käynnistyi myös alan organisoitu tutkijankoulutus tietojenkäsittelytieteiden kolmella pääalueella, tietojenkäsittelyopissa, tietojenkäsittelytekniikassa ja tietojärjestelmätieteessä.

1990-luku oli tutkimuksen ja opetuksen laadun kansallista kulta-aikaa. Silloin käynnistettiin ensimmäiset opetusministeriön rahoittamat tutkijakoulut ja valittiin ensimmäiset kansalliset tutkimuksen huippuyksiköt ja koulutuksen laatuyskiköt. Tietojenkäsittelytieteet menestyivät kisoissa hyvin, ja esimerkiksi vuonna 1995 käynnistettyjen ensimmäisten tutkimuksen huippuyksiköiden joukossa oli kaksi tieteenalan edustajaa. Menestys on jatkunut hyvänä aina 2010-luvun alkuun saakka, minkä jälkeen on tullut pahaa takapakkia. Vuonna 2014 toiminnassa onkin enää yksi ainoa tietojenkäsittelytieteisiin sijoittuva tutkimuksen huippuyksikkö, Erkki Ojan Aalto-yliopistossa johtama Suomalainen laskennallisen päättelyn huippuyksikkö (COIN). Toisaalta COIN voidaan katsoa suomalaisen tieteellisen tutkimuksen kruununjalokiveksi, onhan se ollut (eri nimillä) huippuyksikkönä aina vuodesta 1995 lähtien.

Koska Suomi on pieni maa, ei täällä ole ollut resursseja tutkia aktiivisesti kaikkia mahdollisia tietojenkäsittelytieteiden alueita. Pienuus on toisaalta mahdollistanut joidenkin erityisen lahjakkaiden tutkijoiden ja laadukkaiden tutkimusryhmien nousemisen esiin kansallisesta massasta. Kansainvälisesti arvioituna suomalainen tutkimus on tietojenkäsittelytieteissä ollut laadultaan parasta koneoppimisessa, tiedonlouhinnassa ja tietojärjestelmätieteessä. Näiltä alueilta löytyvät myös viitatuimmat tietojenkäsittelytieteiden tutkijamme, Teuvo Kohonen, Erkki Oja, Heikki Mannila ja Kalle Lyytinen. Toisaalta Suomen yleinen demokraattinen ilmapiiri ja suvaitseva akateeminen vapaus ovat sallineet kaikkien kukkien kukkia, jolloin vain muutamalle harvalle tutkimusryhmälle on kohdistettu niin merkittävää strategista rahoitusta, että ne olisivat pystyneet nousemaan aivan maailman huipulle.

Viime vuosina on Suomen kansainvälinen osuus tietojenkäsittelytieteiden viittauksista ja huippujulkaisuista ollut laskemaan päin. Huolestuttavan trendin syiksi on mainittu mm. tutkijasukupolven vaihdosta, liian suurta panostusta tohtorikoulutukseen ja sitä kautta tutkimuksen antamista juniorien vastuulle sekä Tekes-rahoitteisten ei-tieteellisten tutkimushankkeiden dominointia. Yleiseksi pelastustoimenpiteeksi on esitetty samaa kuin kaikissa 1980-luvun lopulta lähtien suoritetuissa arvioinneissa, tietojenkäsittelytieteiden ydinkysymyksiin keskittyvän perustutkimuksen lisäämistä.

Toisaalta voidaan pohtia, onko tietojenkäsittelytieteiden tieteellisillä julkaisuilla ja niihin kohdistuvilla tieteellisillä viittauksilla lopulta mitään suurempaa väliä: Suomen kansantalous ei niiden vaikutuksesta taida ainakaan kohentua, ja eipä tule heti mieleen yhtä ainutta kaupallista menestystuotetta, joka olisi perustunut Suomessa tehtyyn alan tieteelliseen tutkimukseen. Mielenkiintoista on myös se, että vahvimmalla Suomen teollisuuden viime vuosikymmenten globaalilla sektorilla, tietoliikenteessä, on tehty todella vähän tieteellistä huippututkimusta. Sama pätee tämän hetken vahvaan nousijaan, tietokonepeleihin.

Taitaakin lopulta olla niin, että Suomen kansallinen vahvuus tietojenkäsittelytieteissä ei olekaan (eikä pidäkään olla) tieteellisessä tutkimuksessa vaan laadukkaassa peruskoulutuksessa, jolla turvataan asiantuntijoiden saaminen alan yritysten palvelukseen, aina kulloinkin pinnalla olevalle bisnesalueelle. Tästä näkökulmasta tietojenkäsittelytieteiden oppilaitosten päätehtävä on yhä edelleen sama kuin niiden ajanlaskun alussa 1960-luvulla, alan syvälinen peruskoulutus. Onneksi muuttuvassa maailmassa näyttää olevan jotain pysyvääkin...

LÄHTEET

I Suomen tietojenkäsittelytieteiden synty

Kirjat ja artikkelit

- Aarre Aaltonen: Nokian elektroniikkateollisuuden synty: nuorten kokeilijoiden ja keksijöiden pajasta huipputeollisuudeksi. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 108-126.
- Hans Andersin: Reijo Sulosen ja Markku Syrjäsen aikakautta. *Neljännesvuosisata teollisuuden tietotekniikkaa Teknillisessä korkeakoulussa – Juhlajulkaisu professorien Reijo (Shosta) Sulosen ja Markku (Murkku) Syrjänen 50-vuotispäivien kunniaksi* (Heikki Saikkonen, Sanna Turunen, toim.). ITKO-A32, Teknillinen korkeakoulu, tietotekniikan osasto, tietojenkäsittelytekniikan laitos, Otaniemi 1995, 8-10.
- Hans Andersin, Tage Carlsson: ESKO – ensimmäinen suomalainen tietokone. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 11-23.
- William F. Atchison, Samuel D. Conte, John W. Hamblen, Thomas E. Hull, Thomas A. Keenan, William B. Kehl, Edward J. McCluskey, Silvio O. Navarro, Werner C. Rheinboldt, Earl J. Schwappe, William Viavant, David M. Young, Jr.: Curriculum 68: Recommendations for Academic Programs in Computer Science: A Report of the ACM Curriculum Committee on Computer Science. *Communications of the ACM* 11, 3, 1968, 151-197.
- Piia Einonen, Petri Karonen, Toivo Nygård (toim.): *Jyväskylän yliopiston historia, osa II – Yliopisto 1966-2006*. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä 2009.
- Leena Ellonen (toim.): *Suomen professorit, Finlands professorer 1640-2007*. Professoriliitto / Gummerus, Jyväskylä 2008.
- Juha Huusko: Reikäkorttiyhdistyksestä Tietotekniikan liitoksi. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy Jyväskylä, 1993, 406-429.
- Pertti Jotuni: Akateemisen atk:n alkuhetket Suomessa visioitiin Tampereella. *IBM Katsaus* 3 / 1991, 12-17.
- Pertti Jotuni: Suomen Turku aloitti atk-opetuksen ruotsalaisvalmisteisella koneella. *IBM Katsaus* 4 / 1992, 16-17.
- Hannu-Matti Järvinen: Kurki-Suonio, Reino – tietojenkäsittelytekniikan professori. *Suomen kansallisbiografia* (Matti Klinge, päätoim.). Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki 2006, osa 5, 541-542.
- Mervi Kaarninen, Minna Harjula, Kauko Sipponen: *Murros ja mielikuva – Tampereen yliopisto 1960-2000*. Tampereen yliopisto, Tampere 2000.
- Otto Karttunen: *Avainpaikalla tietotekniikan kehityksessä*. Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1986.
- Hannu Katajamäki: *Oman alueensa yliopisto – Vaasan yliopiston kolme vuosikymmentä*. Vaasan yliopisto, Vaasa 1998.
- Donald E. Knuth: George Forsythe and the Development of Computer Science. *Communications of the ACM* 15, 8, 1972, 721-726.

- Reino Kurki-Suonio: Tietotekniikan tutkimuksen synty ja kehittyminen Suomessa: Miltä se 60-luvulla näytti. *Tietokone Suomessa 30 vuotta – Näkökulmia tietotekniikan tutkimukseen* (Erkki Mäkinen, Kari-Jouko Räihä, toim.). Acta Universitatis Tamperensis, ser. B, vol. 34, Tampereen yliopisto, Tampere 1990, 1-14.
- Reino Kurki-Suonio: Tietojenkäsittelyopin korkeakouluopetuksen käynnistyminen. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 24-47.
- Reino Kurki-Suonio: Mukana tietotekniikan ajan synnyssä – eMeritus-luento 20.9.02. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 18, joulukuu 2002, 8-17.
- Reino Kurki-Suonio: Birth of Computer Science Education and Research in Finland. *IFIP WG 9.7 First Working Conference on the History of Nordic Computing* (HiNC 1) (J. Bubenko, J. Impagliazzo, A. Sølvberg, eds.), Trondheim, Norway, 2003. IFIP Advances in Information and Communication Technology vol. 174, 2005, 111-121.
- Olli Lehto: *Ei yliopiston voittanutta*. Otava, Helsinki 1999.
- Veli-Pekka Leivo: Tavoitteena talouden ja yhteiskunnan tarpeiden täyttäminen – Tietojenkäsittelytieteiden laitoksen opetus vuosina 1969-2002. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto, historian laitos, 2005.
- Juuso Marttila: *Informaatioaallokossa luotsaten – Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelytieteiden laitos 1992-2007*. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä 2007.
- Karl-Erik Michelsen: *Valtio, teknologia, tutkimus – VTT ja kansallisen tutkimusjärjestelmän kehitys*. VTT, Espoo 1993.
- Karl-Erik Michelsen: *Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu 1969-1994*. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Espoo 1994.
- Karl-Erik Michelsen: *Vuosisadan tilinpäätös – Helsingin kauppakorkeakoulu 1911-2001*. Edita Oy, Helsinki 2001.
- Mikko Myllykangas: Ihminen tietojenkäsittelyn keskiössä – Tutkimustoiminta Oulun yliopiston tietojenkäsittelytieteiden laitoksella 1973-2004. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto, historian laitos, 2005.
- Arto Nevala: *Joensuun korkeakoulun perustamisvaiheet*. Pohjois-Karjalan Yliopistoseura, Joensuu 1983.
- Henry Oinas-Kukkonen, Mikko Myllykangas, Veli-Pekka Leivo: *Ihmiskeskeinen tietotalo – Oulun yliopiston tietojenkäsittelytieteiden laitoksen historia 1969-2005*. Studia Historica Septentrionalia 69, Pohjois-Suomen Historiallinen Yhdistys, Tornio 2013.
- Henry Oinas-Kukkonen, Jouni Similä, Pentti Kerola, Petri Pulli, Samuli Saukkonen: Development in the Growth Base of the 'Oulu Phenomenon'. *IFIP WG 9.7 First Working Conference on the History of Nordic Computing* (HiNC 1) (J. Bubenko, J. Impagliazzo, A. Sølvberg, eds.), Trondheim, Norway, 2003. IFIP Advances in Information and Communication Technology vol. 174, 2005, 425-447.
- Petri Paju: *"Ilmarisen Suomi" ja sen tekijät – Matematiikkakonekomitea ja tietokoneen rakentaminen kansallisena kysymyksenä 1950-luvulla*. Turun yliopiston julkaisu C 269, Turku 2008.
- Petri Paju, Reijo Sulonen: Hans Andersin – Monipuolinen tietotekniikan suomalainen uranuurtaja. *Tekniikan Waiheita* 4/2010, 49-53.

- Tauno Perälä: *Turun kauppakorkeakoulu 1950-1975*. Turun kauppakorkeakoulu, Turku 1975.
- Tauno Perälä: *Turun yliopisto 1939-1974*. Turun yliopistosäätiö, Turku 1977.
- Reijo Pukonen: Automaattisen tietojenkäsittelyn ENSI-asteleht Suomessa. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 182-188.
- Heikki Roiko-Jokela: *Tietojenkäsittelyopin laitoksen vaiheet 1967-1992*. Jyväskylän yliopisto, tietojenkäsittelyopin laitos, Jyväskylä 1992.
- Matti Salo: *Pohjoinen Alma Mater – Oulun yliopisto osana korkeakoululaitosta ja yhteiskuntaa perustamisvaiheista vuoteen 2000*. Studia Historica Septentrionalia 42, Pohjois-Suomen historiallinen yhdistys, Rovaniemi 2003.
- Matti Salo, Matti Lackman: *Oulun yliopiston historia 1958-1993*. Oulun yliopisto, Oulu 1998.
- Auvo Sarmanto: Tietojenkäsittelyopin yliopisto-opetuksesta. *IBM Katsaus* 4/1968.
- Jouko Seppänen: 30 vuotta tietokoneaika Teknillisessä korkeakoulussa. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 48-90.
- Reima Suomi: Information Systems Education and Research at the Turku School of Economics and Business Administration – An Analysis of the History. *Management Expertise for the New Millennium* (Pekka Pihlanto, Tapio Reponen, toim.). Turun kauppakorkeakoulun 50-vuotisjuhlahulkaisu, Publications of Turku School of Economics and Business Administration A1:2000, Turku 2000, 261-274.
- Jaakko Suominen, Petri Paju, Aimo Törn: Varsinaissuomalainen linja Suomen tietoteknistymisen alkuvaiheissa 1959-1964: Turun laskentakeskus ja Wegematic 1000 -tietojenkäsittelykone. *Tekniikan Waiheita* 3/2000, 24-46.
- Martti Tienari: Tietojenkäsittelyoppi eilen, tänään ja huomenna. *Tietokone Suomessa 30 vuotta – Näkökulmia tietotekniikan tutkimukseen* (Erkki Mäkinen, Kari-Jouko Rähä, toim.). Acta Universitatis Tamperensis, ser. B, vol. 34, Tampereen yliopisto, Tampere 1990, 15-23.
- Martti Tienari: Helsingin yliopiston Tietojenkäsittelyopin laitos 1967-1990. Raportti B-2010-1, Helsingin yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos, Helsinki 2010.
- Göran Westerlund: *Svenska handelshögskolan – Återblick på en 75-årig utveckling*. Stiftelsen Svenska Handelshögskolan, Ekenäs 1984.
- Solveig Widén (red.): Åbo Akademi 1918-1993 – Forskning och institutioner IV: Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten, Kemisk-tekniska fakulteten. Åbo Akademis förlag, Åbo 1993.
- Osmo A. Wiio, Auvo Sarmanto: Sitran suurtietokone. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 459-465.
- Kaija Vuorio: *Lentoon – Kuopion yliopiston neljä vuosikymmentä*. Kuopion yliopisto, Saarijärvi 2006.

Arkistot

- Helsingin yliopiston laskentakeskuksen johtokunnan kokouspöytäkirjat
Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen osaston kokouspöytäkirjat
Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen osaston opinto-oppaat

Muut lähteet

Timo Järven haastattelu 15.4.2013

Auvo Sarmanto: Jyväskylän yliopiston tietojenkäsittelyopin laitosta käynnistämässä – muistikuvia vuosilta 1967-70. <http://www.afexfinland.com/Jyvaskyla-start.htm>

Jaakko Suominen: Suomen tietotekniikan kronologia. <http://www.tuug.fi/~jaakko/tutkimus/kronologia.html>

Suomen yliopistojen verkkosivut

Markku Syrjäsen haastattelu 20.4.2012

Martti Tienarin haastattelu 6.6.2013

Tietojenkäsittelyalan kansallisen komitean atk-koulutustoimikunnan mietintö, osa I: ATK-koulutuksen järjestäminen Suomen korkeakouluissa, Helsinki 1965

Wikipedia – The Free Encyclopedia

II Suomen tietojenkäsittelytieteiden tutkimus

Kirjat ja artikkelit

Rakesh Agrawal, Heikki Mannila, Ramakrishnan Srikant, Hannu Toivonen, A. Inkeri

Verkamo: Fast Discovery of Association Rules. *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining 1996* (U.M. Fayyad, G. Piatetsky-Shapiro, P. Smyth, R. Uthurusamy, eds.). AAAI / MIT Press, 1996, 307-328.

N. Asokan, Kaisa Nyberg: Security Associations for Personal Devices. *Security and Privacy in Mobile and Wireless Networking* (S. Gritzalis, T. Karygiannis, C. Skianis, eds.). Troubador Publishing, Leicester, UK 2009.

Mats Aspnäs, Ralph-Johan Back, Tor-Erik Malén: Hathi-2 Multiprocessor System.

Microprocessors and Microsystems 14, 7, 1990, 457-466.

Jaakko Astola, Petri Haavisto, Yrjö Neuvo: Vector Median Filters. *Proceedings of the IEEE* 78, 4, 1990, 678-689.

Ralph-Johan Back, Pentti Hietala: A Simple User Interface for Interactive Program

Verification. *First IFIP Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT '84)* (B. Schakel, ed.), Amsterdam, The Netherlands, 1984. Elsevier 1985, 391-395.

Ralph-Johan R. Back, Reino Kurki-Suonio: Distributed Cooperation with Action Systems.

ACM Transactions on Programming Languages and Systems 10, 4, 1988, 513-554.

Ralph-Johan Back, Joakim von Wright: *Refinement Calculus – A Systematic Introduction*.

Springer-Verlag, New York 1998.

Maxime Crochemore, Wojciech Rytter: *Jewels of Stringology – Text Algorithms*. World

Scientific, Singapore 2003.

Adnan Darwiche: Bayesian Networks. *Communications of the ACM* 53, 12, 2010, 80-90.

Mike Dowman: Minimum Description Length as a Solution to the Problem of

Generalization in Syntactic Theory. Manuscript, 2007.

Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth: From Data Mining to

Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine* 17, 3, 1996, 37-54.

Martti Forsell, Ville Leppänen, Martti Penttonen: Rinnakkaistietokoneen uusi tuleminen.

Tietojenkäsittelytiede, numero 28, joulukuu 2008, 55-65.

- Peter Grünwald: *The Minimum Description Length Principle*. MIT Press, USA 2007.
- Peter Grünwald, Petri Myllymäki, Ioan Tabus, Marcelo Weinberger, Bin Yu (eds.): *Festschrift in Honor of Jorma Rissanen on the Occasion of his 75th Birthday*. TICSP Series # 38, Tampere International Center for Signal Processing, Tampere University of Technology, Tampere 2008.
- Dan Gusfield: *Algorithms on Strings, Trees, and Sequences – Computer Science and Computational Biology*. Cambridge University Press, USA 1997.
- Robert Hecht-Nielsen: *Neurocomputing*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts 1990.
- Mika Hirvensalo: Tarinoita kvanttilaskennasta. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 19, kesäkuu 2003, 29-53.
- Aulikki Hyrskykari: Erään algoritmien animaatiokehittimen suunnittelu ja toteutus. Raportti B-1994-5 (lisensiaatintyö), tietojenkäsittelyopin laitos, Tampereen yliopisto, Tampere 1994.
- Aulikki Hyrskykari: Eyes in Attentive Interfaces: Experiences from Creating iDict, a Gaze-Aware Reading Aid. *Dissertations in Interactive Technology*, Number 4, Department of Computer Sciences, University of Tampere, Tampere 2006.
- Aapo Hyvärinen: Fast and Robust Fixed-Point Algorithms for Independent Component Analysis. *IEEE Transactions on Neural Networks* 10, 3, 1999, 626-634.
- Martti Häikiö, Essi Ylitalo: *Bit Bang: Yrjö Neuvo ja digitaalinen kumous*. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki 2013.
- Unto Hämäläinen: Nokia teki kahdenkymmenen viime vuoden aikana ihmeen. *Helsingin Sanomien kuukausiliite*, numero 504, maaliskuu 2014, 52-59.
- Juhani Iivari: Is Scandinavian Information Systems Development Becoming Passé? *IFIP WG 9.7 First Working Conference on the History of Nordic Computing (HiNC 1)* (J. Bubenko, J. Impagliazzo, A. Sølvberg, eds.), Trondheim, Norway, 2003. *IFIP Advances in Information and Communication Technology* vol. 174, 2005, 339-356.
- Juhani Iivari, Kalle Lyytinen: Research on Information Systems Development in Scandinavia – Unity in Plurality. *Scandinavian Journal of Information Systems* 10, 1&2, 1998, 135-186.
- Howell Instance, Richard Bates, Aulikki Hyrskykari, Stephen Vickers: Snap Clutch, a Moded Approach to Solving the Midas Touch Problem. *2008 Symposium on Eye Tracking Research & Applications (ETRA '08)*, Savannah, Georgia, 2008. *ACM 2008*, 221-228.
- Pertti Järvinen: On a Routing Problem in a Graph with Two Types of Costs Associated with the Edges. *Acta Universitatis Tamperensis*, ser. A, vol. 50 (väitöskirja), Tampereen yliopisto, Tampere 1973.
- Juhani Karhumäki: Salomaa, Arto – matematiikan professori, akateemikko. *Suomen kansallisbiografia* (Matti Klinge, päätoim.). Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki 2006, osa 8, 630-631.
- Juhani Karhumäki: Sanat ja automaattit. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 27, joulukuu 2007, 18-46.
- Mark Keil, Paul E. Cule, Kalle Lyytinen, Roy C. Schmidt: A Framework for Identifying Software Project Risks. *Communications of the ACM* 41, 11, 1998, 76-83.
- Mika Klemettinen: A Knowledge Discovery Methodology for Telecommunication Network Alarm Databases. Report A-1999-1 (väitöskirja), Department of Computer Science, University of Helsinki, Helsinki 1999.

- Teuvo Kohonen: *Associative Memory – A System-Theoretical Approach*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1977.
- Teuvo Kohonen: *Self-Organizing Maps*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1995.
- Reino Kurki-Suonio: Tietokone, tutkimustyötä innoittava apuväline. *Arkhimedes*, n:o 1, 1962, 18-23.
- Reino Kurki-Suonio: On Some Sets of Formal Grammars. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A. I. Mathematica* 349 (väitöskirja), Suomalainen Tiedeakatemia, Helsinki 1964.
- Reino Kurki-Suonio: Birth of Computer Science Education and Research in Finland. *IFIP WG 9.7 First Working Conference on the History of Nordic Computing (HiNC 1)* (J. Bubenko, J. Impagliazzo, A. Sølvberg, eds.), Trondheim, Norway, 2003. *IFIP Advances in Information and Communication Technology* vol. 174, 2005, 111-121.
- Lea Kutvonen: Tutkimus suuntaamassa suomalaista tietoliikennekehitystä. *Tietojenkäsittelytiede*, kesäkuu 1999, 10-14.
- Pasi Kuvaja: BOOTSTRAP 3.0 – A SPICE Conformant Software Process Assessment Methodology. *Software Quality Journal* 8, 1 1999, 7-19.
- Börje Langefors: *Theoretical Analysis of Information Systems*, 4th edition. Studentlitteratur, Lund 1973.
- Börje Langefors: Essays on Infology (B. Dahlbom, ed.). Report 5, Gothenburg Studies in Information Systems, Department of Information Systems, University of Göteborg, Göteborg 1993.
- Sven Laur, Kaisa Nyberg: Efficient Mutual Data Authentication Using Manually Authenticated Strings. *5th International Conference on Cryptology and Network Security (CANS 2006)* (D. Pointcheval, ed.), Suzhou, China, 2006. *Lecture Notes in Computer Science* 4301, Springer-Verlag 2006, 90-107.
- Olli Lehto: Tietojenkäsittelytiede. *Suomen tieteen historia 3: Luonnontieteet, lääketieteet ja tekniset tieteet* (Päiviö Tommila, päätoim.). WSOY, Helsinki 2000, 72-76.
- Kalle Lyytinen, Rudy Hirschheim: Information Systems Failures – A Survey and Classification of the Empirical Literature. *Oxford Surveys in Information Technology* 4, 1, 1987, 257-309.
- Päivi Majaranta: Text Entry by Eye Gaze. *Dissertations in Interactive Technology*, Number 11, Department of Computer Sciences, University of Tampere, Tampere 2009.
- Päivi Majaranta: Katseenseuranta syötemenetelmänä. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 34, huhtikuu 2012, 54-71.
- Heikki Mannila, Hannu Toivonen, A. Inkeri Verkamo: Efficient Algorithms for Discovering Association Rules. *Workshop on Knowledge Discovery in Databases (AAAI-94)* (U.M. Fayyad, R. Uthurusamy, eds.), Seattle, Washington, 1994. AAAI Press 1994, 181-192.
- Heikki Mannila, Hannu Toivonen, A. Inkeri Verkamo: Discovering Frequent Episodes in Sequences. *First International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-95)* (U.M. Fayyad, R. Uthurusamy, eds.), Montreal, Canada, 1995. AAAI Press 1995, 210-215.
- Mitsuru Matsui: Linear Cryptanalysis Method for DES Cipher. *Advances in Cryptology – Eurocrypt '93* (T. Hellese, ed.). *Lecture Notes in Computer Science* 765, Springer-Verlag 1994, 386-397.

- Mitsuru Matsui: The First Experimental Cryptanalysis of the Data Encryption Standard. *Advances in Cryptology – Crypto '94* (Y.G. Desmedt, ed.). Lecture Notes in Computer Science 839, Springer-Verlag 1994, 1-11.
- Petri Myllymäki, Henry Tirri: Bayes-verkkojen mahdollisuudet. Teknoliakatsaus 58 / 98, Teknologian kehittämiskeskus Tekes, Helsinki 1998.
- Veli Mäkinen: Algoritmitutkimuksen rooli bioinformatiikassa. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 32, heinäkuu 2011, 10-15.
- Peter Naur, Brian Randell (ed.): Software Engineering: Report on a Conference Sponsored by the NATO Science Committee, Garmisch, Germany, 7th to 11th October 1968. Scientific Affairs Division, NATO, Brussels 1969.
- Ilkka Niemelä: Autoepisteeminen logiikka epämonotonisen päättelyn pohjana. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 6, kesäkuu 1994, 15-25.
- Valtteri Niemi, Ari Renvall: How to Prevent Buying of Votes in Computer Elections. *Advances in Cryptology – Asiacypt '94* (J. Pieprzyk, R. Safavi-Naini, eds.). Lecture Notes in Computer Science 917, Springer-Verlag 1995, 164-170.
- Jyrki Nummenmaa: Tietorakenteiden, algoritmien ja tiedonhallinnan tutkimus Suomessa. *Tietojenkäsittelytiede*, kesäkuu 1998, 12-14.
- Hannu Nurmi, Arto Salomaa, Lila Santean: Secret Ballot Elections in Computer Networks. *Computers & Security* 10, 6, 1991, 553-560.
- Kaisa Nyberg: Linear Approximation of Block Ciphers. *Advances in Cryptology – Eurocrypt '94* (A. De Santis, ed.). Lecture Notes in Computer Science 950, Springer-Verlag 1995, 439-444.
- Kaisa Nyberg: Kryptologia – tiedon turvaamisen tiede. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 26, heinäkuu 2007, 32-53.
- Panu Nykänen: *Otaniemen yhdyskunta – Teknillinen korkeakoulu 1942-2008*. WSOY, Helsinki 2007.
- Harri Oinas-Kukkonen: Tietojärjestelmätieteen valtakunnallisesta tutkimustoiminnasta. *Tietojenkäsittelytiede*, joulukuu 1998, 11-12.
- Erkki Oja: Neuroverkot – oppivia tietojenkäsittelymenetelmiä. *Tietojenkäsittelytiede*, kesäkuu 1998, 15-18.
- Erkki Oja: Kohonen, Teuvo – teknillisen fysiikan ja elektroniikan professori, akateemikko. *Suomen kansallisbiografia* (Matti Klinge, päätoim.). Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki 2006, osa 5, 268-269.
- Pekka Orponen: Laskentaongelmien yksittäistapausten vaativuudesta. *Logiikka, matematiikka ja tietokone* (C. Gefwert, P. Orponen, J. Seppänen, toim.). Suomen tekoälyseuran julkaisuja, symposiosarja no. 14. Hakapaino, Helsinki 1996, 144-152.
- Pekka Orponen: Mitä tietojenkäsittelyteoriaan kuuluu? *Tietojenkäsittelytiede*, numero 19, kesäkuu 2003, 15-28.
- Pekka Orponen: "P = NP" -ongelma ja laskennan vaativuusteoria. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 26, heinäkuu 2007, 54-67.
- Pekka Orponen, Ker-I Ko, Uwe Schöning, Osamu Watanabe: Instance Complexity. *Journal of the ACM* 41, 1, 1994, 96-121.
- Jukka Paakki: Helsingin yliopiston metakääntäjät – kehittyneitä työkaluja vai teoreettista hölynpölyä? *Tietojenkäsittelytiede*, numero 2, marraskuu 1991, 7-19.

- Kimmo Palin, Jussi Taipale, Esko Ukkonen: Locating Potential Enhancer Elements by Comparative Genomics Using the EEL Software. *Nature Protocols* 1, 1, 2006, 368-374.
- Hannu Peltola, Hans Söderlund, Jorma Tarhio, Esko Ukkonen: Algorithms for Some String Matching Problems Arising in Molecular Genetics. *IFIP 9th World Computer Congress (Information Processing 83)* (R.E.A. Mason, ed.), Paris, France, 1983. North Holland / IFIP 1983, 59-64.
- Roope Raisamo: Multimodal Human-Computer Interaction: A Constructive and Empirical Study. Raportti A-1999-13 (väitöskirja), tietojenkäsittelytieteiden laitos, Tampereen yliopisto, Tampere 1999.
- Jorma Rissanen: Generalized Kraft Inequality and Arithmetic Coding. *IBM Journal of Research and Development* 20, 3, 1976, 198-203.
- Jorma Rissanen: Modeling by Shortest Data Description. *Automatica* 14, 5, 1978, 465-471.
- Teemu Roos: Yksinkertainen on kaunista: Okkamin partaveitsi tilastollisessa mallinnuksessa. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 32, heinäkuu 2011, 48-63.
- Arto Salomaa: *Theory of Automata*. Pergamon Press, Hungary 1969.
- Arto Salomaa: *Formal Languages*. Academic Press, New York 1973.
- Arto Salomaa: What Computer Scientists Should Know about Sauna? *European Association for Theoretical Computer Science Bulletin* 15, 1981, 8-21.
- Arto Salomaa: *Public-Key Cryptography*, 2nd edition. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1996.
- David Tilson, Kalle Lyytinen, Carsten Sørensen: *Research Commentary – Digital Infrastructures: The Missing IS Research Agenda*. *Information Systems Research* 21, 4, 2010, 748-759.
- Toimitus: Millainen on tulevaisuutemme – v. 2000. *Mitä-Missä-Milloin, Kansalaisen vuosikirja 1967*. Otava, Helsinki 1966, 222-224.
- Jukka Toivanen, Hannu Toivonen, Alessandro Valitutti, Oskar Gross: Corpus-Based Generation of Content and Form in Poetry. *Third International Conference on Computational Creativity (ICCC)* (M.L. Maher, K. Hammond, A. Pease, R. Pérez y Pérez, D. Ventura, G. Wiggins, eds.), Dublin, Ireland, 2012. University College Dublin 2012, 175-179.
- Hannu Toivonen: Discovery of Frequent Patterns in Large Data Collections. Report A-1996-5 (väitöskirja), Department of Computer Science, University of Helsinki, Helsinki 1996.
- Hannu Toivonen: Data mining – datamassojen jalostaminen tietämykseksi. *Tietojenkäsittelytiede*, joulukuu 1998, 13-16.
- Jouni Tuominen, Kim Viljanen, Eero Hyvönen: Ontologiapalvelut semanttisessa webissä. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 34, huhtikuu 2012, 17-36.
- Markku Turunen: Jaspis – A Spoken Dialogue Architecture and its Applications. Raportti A-2004-2 (väitöskirja), tietojenkäsittelytieteiden laitos, Tampereen yliopisto, Tampere 2004.
- Markku Turunen, Jaakko Hakulinen: Vuorovaikutteiset puhe-sovellukset. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 24, joulukuu 2005, 35-51.
- Esko Ukkonen: Constructing Suffix Trees On-Line in Linear Time. *IFIP 12th World Computer Congress – Algorithms, Software, Architecture* (Information Processing 92) (Jan van Leeuwen, ed.), Madrid, Spain, 1992. IFIP Transactions A-12, North-Holland 1992, 484-492.

- Alessandro Valitutti, Hannu Toivonen, Antoine Doucet, Jukka M. Toivanen: "Let Everything Turn Well in Your Wife": Generation of Adult Humor Using Lexical Constraints. *The 51st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL)*, Sofia, Bulgaria, 2013.
- Antti Valmari: Verification Algorithm Research Group at Tampere University of Technology. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 8, elokuu 1996, 25-38.
- Antti Valmari: The State Explosion Problem. *Lectures on Petri Nets I: Basic Models* (W. Reisig, G. Rozenberg, eds.). Lecture Notes in Computer Science 1491, Springer-Verlag 1998, 429-528.
- Antti Valmari: Rinnakkaisjärjestelmien algoritmien verifiointi. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 27, joulukuu 2007, 47-76.
- Antti Valmari, Reijo Savola: Verification of the Behaviour of Reactive Software with CFFD-Semantics and Ara Tools. *International Symposium on On-Board Real-Time Software*, Noordwijk, The Netherlands, 1995. ESA SP-375, 1996, 173-180.
- Jarkko Venna, Jaakko Peltonen, Kristian Nybo, Helana Aidos, Samuel Kaski: Information Retrieval Perspective to Nonlinear Dimensionality Reduction for Data Visualization. *Journal of Machine Learning Research* 11, 2010, 451-490.
- Ian H. Witten, Radford M. Neal, John G. Cleary: Arithmetic Coding for Data Compression. *Communications of the ACM* 30, 6, 1987, 520-540.
- Lin Yin, Ruikang Yang, Moncef Gabbouj, Yrjö Neuvo: Weighted Median Filters: A Tutorial. *IEEE Transactions on Circuits and Systems – II: Analog and Digital Signal Processing* 43, 3, 1996, 157-192.

Muut lähteet

- ACM (Association for Computing Machinery): Computing Classification System
<http://www.acm.org/about/class/>
- Ralph Backin haastattelu 15.4.2013
- Center for Machine Vision Research, University of Oulu: 25th Anniversary book
<http://www.cse.oulu.fi/CMV/25thAnniversaryBook>
- Reino Kurki-Suonion haastattelu 31.1.2013
- Kalle Lyytisen haastattelu 24.3.2014
- Heikki Mannilan haastattelu 7.2.2012
- Erkki Mäkisen haastattelu 31.1.2013
- Kaisa Nybergin haastattelu 26.9.2013
- Erkki Ojan haastattelu 25.3.2013
- Markus Rantapuu: Tietotekniikan ritarit ja velhot. Mielipiteet-palsta, *Uusi Suomi*, 31.5.1986, s. 3.
- Jorma Rissanen haastattelu 29.5.2012
- Kari-Jouko Räihän haastattelu 31.1.2013
- Arto Salomaan haastattelu 15.4.2013
- Suomen yliopistojen verkkosivut
- Esko Ukkosen haastattelu 17.9.2013
- WEBSOM-projektin kotisivut
<http://websom.hut.fi/websom/>
- Wikipedia – The Free Encyclopedia

III Suomen tietojenkäsittelytieteiden laatu

Kirjat ja artikkelit

- Computer Science Research in Finland 2000-2006 – International Evaluation*. Publications of the Academy of Finland 8/07, Helsinki 2007.
- David D. Dill, Sanjit K. Mitra, Hans Siggaard Jensen, Erno Lehtinen, Tomi Mäkelä, Anna Parpala, Hannele Pohjola, Mary A. Ritter, Seppo Saari: *PhD Training and the Knowledge-Based Society – An Evaluation of Doctoral Education in Finland*. Publications of the Finnish Higher Education Evaluation Council 1:2006, Tampere 2006.
- V. Hara, R. Hyvönen, D. Myers, J. Kangasniemi (eds.): *Evaluation of Education for the Information Industry*. Publications of Finnish Higher Education Evaluation Council 8:2000, Helsinki 2000.
- Jouni Hautala: *Tietoteollisuuden koulutuksen arvioinnin seuranta*. Korkeakoulujen arviointineuvoston julkaisuja 3:2004, Tampere 2004.
- Hannu Heikkilä: *Suomen Akatemian historia III, 1989-2003 – Kilpailu ja yhteistyö*. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Jyväskylä 2007.
- Kirsi Hiltunen (ed.): *Centres of Excellence in Finnish University Education 2010-2012*. Publications of the Finnish Higher Education Evaluation Council 3:2009, Tampere 2009.
- Kansallinen tutkimuksen huippuyksikköstrategia*. Suomen Akatemian julkaisuja 5/97, Helsinki 1997.
- Olli V. Lounasmaa: *Huippuyksikköä ei perusteta vaan se syntyy – Ehdotuksia yliopistojen ja teknillisten korkeakoulujen eksaktien luonnontieteiden ja niihin liittyvien tekniikan alojen opetuksen ja tutkimuksen kehittämiseksi ja uudistamiseksi*. Opetusministeriön työryhmien muistioita 3:1996, Helsinki 1996.
- S. Moitus (toim.): *Yliopistokoulutuksen laatuysiköt 2001-2003*. Korkeakoulujen arviointineuvoston julkaisuja 6:2000, Helsinki 2000.
- Hannele Niemi, Helena Aittola, Vesa Harmaakorpi, Olli Lassila, Saana Svärd, Janica Ylikarjula, Kirsi Hiltunen, Krister Talvinen: *Tohtorikoulutuksen rakenteet muutoksessa – Tohtorikoulutuksen kansallinen seuranta-arviointi*. Korkeakoulujen arviointineuvoston julkaisuja 15:2011, Tampere 2011.
- Pirjo-Liisa Omar (toim.): *Yliopistokoulutuksen laatuysiköt 2007-2009*. Korkeakoulujen arviointineuvoston julkaisuja 8:2006, Tampere 2006.
- Jukka Paakki: *Torvalds, Linus – tietokoneohjelmoija, filosofian kunniatohtori*. *Suomen kansallisbiografia* (Matti Klinge, päätoim.). Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki 2006, osa 9, 884-885.
- A. Parpala, H. Seppälä (toim.): *Yliopistokoulutuksen laatuysiköt 2004-2006*. Korkeakoulujen arviointineuvoston julkaisuja 5:2003, Helsinki 2003.
- Maritta Pohls: *Suomen Akatemian historia II, 1970-1988 – Yhteiskunta ja tutkimus*. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Jyväskylä 2005.
- Research and Teaching in Computer Science, Computer Engineering, and Information Systems – A Critical Evaluation*. Publications of the Academy of Finland 3/90, Helsinki 1990.
- Suomen tieteen tila ja taso – Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimus 1*. Suomen Akatemian julkaisuja 9/97, Helsinki 1997.

Suomen tieteen tila ja taso – Luonnontieteiden ja tekniikan tutkimus 2. Suomen Akatemian julkaisu 10/97, Helsinki 1997.

Suomen tieteen tila ja taso – Yhteenvetoraportti. Suomen Akatemian julkaisu 14/97, Helsinki 1998.

Suomen tieteen tila ja taso – Katsaus tutkimukseen ja sen toimintaympäristöön Suomessa 1990-luvun lopulla. Suomen Akatemian julkaisu 6/00, Helsinki 2000.

Suomen tieteen tila ja taso – Katsaus tutkimustoimintaan ja tutkimuksen vaikutuksiin 2000-luvun alussa. Suomen Akatemian julkaisu 9/03, Helsinki 2003.

Suomen Akatemian rahoittama luonnontieteiden ja tekniikan alojen tutkimus – Arviointi hankkeiden vaikuttavuuksista. Suomen Akatemian julkaisu 6/06, Helsinki 2006.

Suomen tieteen tila ja taso 2009. Suomen Akatemian julkaisu 9/09, Vammala 2009.

L. Treuthardt, A. Nuutinen (toim.): *Tieteen tila 2012.* Suomen Akatemian julkaisu 6/12, Helsinki 2012.

Muut lähteet

Microsoft Academic Search

<http://academic.research.microsoft.com/>

Tavoitteeksi laadukas, läpinäkyvä ja ennakoiva tohtorikoulutus (Suomen Akatemian asettaman tutkijakoulutuskirjelmän ehdotukset tohtorikoulutuksen ja tutkijakoulujärjestelmän kehittämiseksi). http://www.aka.fi/Tiedostot/Tiedostot/Liitetiedostot/Tohtorikoulutus_joulukuu_2011.pdf

IV Suomen tietojenkäsittelytieteiden yhteisö

Kirjat ja artikkelit

Juha Huusko: Reikäkorttiyhdistyksestä Tietotekniikan liitoksi. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 406-429.

Ilmari Pietarinen: Tietotekniikan suomalaisen sanaston historia. *Tietotekniikan alkuvuodet Suomessa* (Martti Tienari, toim.). Suomen Atk-kustannus Oy, Jyväskylä 1993, 91-107.

Kari-Jouko Räihä: Lindelöfin perilliset: Suomalaisen tietojenkäsittelijöiden juuria etsimässä. *Tietojenkäsittelytiede*, numero 1, marraskuu 1990, 4-17.

Esko Ukkonen: Tienari, Martti – tietojenkäsittelytieteen professori. *Suomen kansallisbiografia* (Matti Klinge, päätoim.). Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki 2006, osa 9, 780-781.

Muut lähteet

Tietojenkäsittelyliitto ry:n tieteellisen neuvottelukunnan kokouspöytäkirjat

Tietojenkäsittelytieteen Seura ry:n johtokunnan kokouspöytäkirjat

Tietojenkäsittelytieteen Seuran toimintakertomukset

Tietojenkäsittelytieteen Seuran verkkosivut

<http://www.tkts.fi/>

Henkilöhakemisto

- Aalto, Samuli 132
Abrahamsson, Pekka 102
Adleman, Leonard (Len) 150
Agrawal, Rakesh 123
Aho, Alfred V. 169
Aho, Pekka 32, 42, 54
Ahonen(-Myka), Helena 122
Alanko, Timo 29, 137
Andersin, Hans (Hasse) 14-15, 18, 36, 38
Arkko, Jari 133
Asokan, Nadarajah (N.) 137, 156
Aspnäs, Mats 148, 218
Astala, Kari 189
Astola, Jaakko 107, 190-191, 203
Aura, Tuomas 132, 219
Aurell, Erik 76
- Babbage, Charles 11
Bach, Johann Sebastian 118
Back, Ralph-Johan (Ralph) 43-44, 52, 96-99, 138, 148, 171, 183, 188, 190-191, 198, 200, 203, 216, 223
Backström, Lars (Lasse) 216
Backus, John 92
Bayes, Thomas 79
van Beethoven, Ludwig 118
Bergqvist, Jukka T. 220
Berners-Lee, Tim 131
Bienefeld, Stefan 195
Birkedal, Lars 180
Björk, Bo-Christer 47
Bjørn-Andersen, Niels 169
Boberg, Jorma 188
Boehm, Barry 112
Bolt, Richard 140
Boyce, Raymond F. (Ray) 119
Bubenko jr., Janis A. 112
- Carlsson, Tage 14-15, 19, 36
Chamberlin, Donald D. 119
de la Chapelle, Albert 190
Chen, Hsinchun 208-209
Chomsky, Noam 61
- Church, Alonzo 59
Codd, Edgar Frank (Ted) 119
Colussi, Gian Donato 219
Cook, Stephen 60
Cooley, James 104
Corander, Jukka 76
Cronhjort, Björn 39
Cule, Paul E. 117
- Dahl, Ole-Johan 27
Dahlberg, Tomi 220
Deutsch, David 149
Diffie, Whitfield (Whit) 150-151
Dijkstra, Edsger W. 96
Ding, Yi (Aaron) 108
- Einstein, Albert 118
Elomaa, Tapio (Tapsa) 81, 224
Eloranta, Jaana 224
Eriksson, Inger 47, 222
Eriksson, Suvi 195
Erkiö, Hannu 29
Ernvall, Jarmo 69
- Feynman, Richard 99, 149
Fink, Flemming K. 183
Floréen, Patrik 69, 137
Forsell, Martti 148
Foster, Ian T. 206-207
Francez, Nissim 217
Fränti, Pasi 69
- Gabbouj, Moncef 107, 203
Garcia-Molina, Hector 207
Gellersen, Hans 180
Gergely, Tamás 217
Gionis, Aristides 128, 208
Grahne, Gösta (Gus) 121
Gray, James Nicholas (Jim) 120
Gross, Oskar 165
Gustafson, Torsten 223
Göös, Mika 69
- Haavio, Martti 202
Habermann, A. Nico 170

- Haikala, Ilkka 215
Halava, Vesa 220
Halme, Tony 81
Hammouda, Imed 103
Hanski, Ilkka 190
Hara, Veikko (Veksi) 183, 223
Harju, Jarmo 137
Harju, Tero 64
Hartimo, Iiro 107, 200, 215, 224
Harwood, David 82
Hattula, Jorma 199
Haukioja, Erkki 189
Heikkilä, Esko 49
Heikkilä, Jonas 195
Heikkilä, Jukka (Jups) 167, 218, 220-221
Heikkinen, Barbara 122
Heinonen, Oskari 122
Heljanko, Keijo 70
Hellman, Martin 150-151
Hellman, Olavi 41-42, 223
Helttula, Esa 140, 219
Henriksson, Ulf 183
Hentinen, Viljo (Ville) 49
Hietala, Pentti 138
Himanen, Pekka 215
Hirschheim, Rudy 114-115
Hirvensalo, Mika 64, 149, 220
Hirvisalo, Vesa 225
Hirvonen, Ari 183
Hoare, Charles Antony Richard (Tony) 134
Holkeri, Harri 107
Hollmén, Jaakko 128, 220
Honkapohja, Seppo 190
Honkela, Timo 74
Hopfield, John 72
Hopper, Grace 11
Huima, Antti 219
Hyrskykari, Aulikki 140, 142
Hyrynsalmi, Sami 219
Hyvärinen, Aapo 75, 81, 207-208, 210
Hyvönen, Eero 129
Hyvönen, Raimo 183
Hämmäinen, Heikki 132
Hämäläinen, Jyri 132
Hämäläinen, Perttu 144
Hämäläinen, Wilhelmiina 221
Häyrynen, Jouko 183
Iivari, Juhani 54, 112, 114, 208, 223, 225
Iivari, Netta 219
Isokallio, Kalle 214-215
Isomäki, Hannakaisa 8, 225
Jaakkola, Hannu 215
Jaakkola, Tommi S. 207-208, 210-211
Jaakola, Juhani 219
Jaakola, Markus 219
Jaaksi, Ari 220
Jaccheri, Letizia 180
Jacquard, Joseph Marie 11
Jacucci, Giulio 137, 144
Jahnukainen, Miikka 24-25
Jakobsson, Matti 47
Jalkanen, Markku 190
Jauho, Pekka 36
Jokinen, Matti 224
Jormo, Veikko 14
Jousinen, Marjo 107
Juhola, Martti 162
Jumisko-Pyykkö, Satu 221
Jussila, Juhani 195
Jänne, Olli 190
Jäntti, Riku 132
Jäppinen, Harri 214
Järnefelt, Gustaf 14
Järvelin, Kalervo 120-121, 203, 208, 220
Järvenpää, Sirkka L. 113, 208
Järvi, Timo 32, 42-43, 216, 224-225
Järvinen, Hannu-Matti 98
Järvinen, Pertti 26, 34, 39, 53-55, 111-112, 221-222
Jäätteenmäki, Anneli 81
Kaczynski, Ted (Unabomber) 62
Kaila, Erkki 166
Kaivola, Roope 219
Kangasharju, Jussi 108, 137, 225
Kangassalo, Hannu 120, 216
Kantola, Raimo 132

- Karavirta, Ville 219
Karhumäki, Juhani 64, 189
Karhunen, Juha 75, 81
Karhunen, Kari 14, 18, 28
Kari, Hannu H. 157
Kari, Jarkko 64, 189, 220
Karila, Arto 157
Karjalainen, Matti 144
Karlsson, Fred 190, 214
Karsten, Eija 225
Karttunen, Otto 18, 22
Kaski, Petteri 69
Kaski, Samuel (Sami) 9, 38, 74, 76, 80, 202
Kasparov, Garri 71
Katajainen, Jyrki 64, 69
Katara, Mika 98, 100
Keil, Mark 117
Kekkonen, Urho Kaleva (Urkki) 210
Kekäläinen, Jaana 122, 220
Kellomäki, Pertti 98, 224
Kellomäki, Seppo 189
Kelly, Steven 113
Kerola, Pentti 39, 52, 111-112, 198, 216, 227
Kiljunen, Veikko 65
Kilpeläinen, Pekka 122, 215, 220
Kilpi, Yrjö 38
Kivinen, Jyrki 81
Klaas, Birute 195
Klemettinen, Mika 127, 223
Knuth, Donald E. 27, 93
Kohonen, Teuvo 19, 36, 52, 72-75, 77, 81, 103, 171, 183, 186, 190-191, 202-203, 207-210, 214, 223, 229-230
Koistinen, Petri 219
Kojó, Markku 108, 137
Koli, Paavo 22-23
Kolmogorov, Andrey 87
Komsí, Askó 218
Koponen, Teemu 133, 221
Korhonen, Ari (Archie) 140, 166, 194, 208, 223, 225
Koskela, Erkki 112 (a), 190 (b)
Koskenniemi, Kimmo 164, 214
Koskimies, Kai (Kaitsu) 49, 95-96, 100, 215, 222-224
Koskinen, Jussi 139
Kostakis, Orestis 219
Kovalainen, Heikki 210
Kowalski, Robert 217
Kuikka, Eila 122
Kukkasjärvi, Aimo 216
Kurenniemi, Erkki 159
Kuruhíla, Jaakko 167
Kurki-Suonio, Reino (Reiska) 21, 23-28, 44, 52-55, 63, 92, 98, 198, 215, 222-224, 229
Kustaanheimo, Paul (Tukka-Kustaa) 28
Kutvonen, Lea 137, 225
Kuutti, Kari 113, 145
Kuvaja, Pasi 100
Kuvaja, Pekka 188
Kälviäinen, Heikki 83
Kärki, Toivo (Topi) 159
Kärkkäinen, Juha 69, 219

Laakso, Mikko-Jussi 166
Laaksonen, Jorma 76
Laasonen, Pentti 14, 17, 28
Lagerspetz, Eemil 108
Lagus, Krista 74
Lahesmaa, Riitta 162
Laitinen, Heikki 32
Lammasniemi, Jorma 49
Lang, Miika 219
Langefors, Börje 110-111
Lassenius, Casper 102
Lassila, Ora 133, 207-208, 210
Laur, Sven 156
Laurikainen, Kalervo (K.V.) 17
Laurila, Erkki 13-15, 48, 202
van Leeuwen, Jan 217
Lehto, Kari 222
Lehto, Olli 21, 28-29, 34, 203
Lemström, Kjell 159
Lepistö, Timo 197
Leppänen, Ville 69, 148
Lilius, Johan 108
Lindelöf, Ernst 222-223

- Linnainmaa, Seppo 54, 85
Lokki, Olli 19, 35-36
Lokki, Tapio 144
Lonka, Pekka 107
Louhivaara, Ilppo Simo 14, 19, 31, 34
Lounasmaa, Olli 36, 186-190
Lukka, Markku 46
Luukkainen, Matti 167
Lyytinen, Heikki 190
Lyytinen, Kalle 34, 112, 114-118, 171, 183, 208-209, 223, 230
Lähdesmäki, Harri 162
- Maanavilja, Aimo 183
Maanavilja, Olavi 216
Mahler, Gustav 118
Majaranta, Päivi (Curly) 142, 221, 225
Malaska, Pentti 46
Malinen, Pekka 39
Malmi, Lauri 140, 166, 194, 208-209, 224
Manner, Jukka 108, 132
Mannerheim, Carl Gustaf Emil (Marski) 210
Mannila, Heikki 31, 38, 49, 96, 121-123, 125, 127, 130, 183, 188, 202-203, 207-210, 215, 218, 220, 223-224, 230
Martikainen, Olli 133
Marttiin, Pentti 113
Mathiassen, Lars 112
Matsui, Mitsuru 155-156
Mattila, Karita 210
Mattsson, Björn-Eric 47
McCarthy, John 71
McCulloch, Warren 71
Michelsen, Karl-Erik 195
Mielikäinen, Taneli 221
Miikkulainen, Risto 207, 210-211
Mikkonen, Tommi 98, 100, 103
Moen, Pirjo 225
Moore, Gordon E. 147
Murtagh, Fionn 180
Mustonen, Seppo 21-24, 26, 28, 34
Myers, David 183
Myllylä, Risto 202
Myllymäki, Petri 76, 80, 90, 201
- Myrberg, Pekka 14
Mäkelä, Matti 216
Mäkinen, Erkki 69, 100, 224
Mäkinen, Matti 188
Mäkinen, Veli 69, 161
Männistö, Tomi (Tomppa) 100
Mäntylä, Martti 38, 188, 200, 202, 215, 223, 226
- Nakajima, Tatsuo 180
Nardelli, Enrico 180
Naur, Peter 92
Neittaanmäki, Pekka 46, 172, 200, 202
Neuhold, Erich J. 170
von Neumann, Janós (John) 12, 71
Neuvo, Yrjö 8, 44, 49, 104, 106-107, 109, 189, 203, 223
Nevalainen, Olli 42, 54, 69
Nevanlinna, Rolf 14, 202
Nielsen, Jakob 138
Niemelä, Ilkka 70, 76, 220
Niemi, Antti 188
Niemi, Timo 120
Niemi, Valtteri 153, 157
Niemistö, Antti 219
Niitamo, Olavi 111
Nummenmaa, Jyrki 121
Nurmi, Hannu 152
Nurmi, Otto 121
Nurmi, Petteri 137
Nurminen, Markku 46, 111, 159
Nuutila, Esko 121
Nuutinen, Risto 9
Nyberg, Kaisa 49, 153, 156-158
Nykter, Matti 162
Nykänen, Matti 121, 210
Nyström, Evert J. 14
Näätänen, Risto 189
- Oinas-Kukkonen, Harri 113, 202
Oja, Erkki 46, 72, 75-76, 78, 81, 171, 183, 188, 191-192, 203, 207-209, 223, 230
Ojala, Leo (Leksa) 107
Ojala, Timo 82
Oksanen, Kaarina 14, 19

- Orponen, Pekka 69-70, 223
Ott, Jörg 132
Oulasvirta, Antti 143
Ovaska, Eila 100
- Paakki, Jukka 49, 95-96, 139, 223, 225
Paalanen, Mikko 190
Paalasmaa, Joonas 165
Paasivaara, Maria 102
Palin, Kimmo 161
Parkkinen, Jussi 83
Pekola, Jukka 192
Peltola, Eero 21, 34, 49, 215
Peltola, Hannu 160
Penttonen, Martti 46-47, 62, 64, 69, 96, 122, 148, 223
Perko, Aarni 33, 42
Perttu, Sami 219
Pervilä, Mikko 108
Pessa, Markus 190
Pietarinen, Ilmari 215
Pietikäinen, Matti 40, 82, 84, 208
Pihlajaniemi, Taina 189
Pitts, Walter 71
Pollari-Malmi, Kerttu 121
Poppius, Uolevi 14
Poranen, Timo 225
Pulkkinen, Lea 190
Pulli, Petri 137
Pääkkönen, Jaakko 183
- Qvist, Bertil 44
- Raaheim, Arild 195
Raatikainen, Kimmo 49, 137, 223
Raento, Mika 221
Rahko, Kauko 132
Rahkonen, Esko 159
Raisamo, Roope 9, 141
Raita, Timo 69
Rajala, Teemu 166
Rantapuu, Markus 96
Rapp, Birger 183
Rautsara, Ari 216, 224
Renfors, Markku 107, 202
- Renvall, Ari 153
Reponen, Tapio 47, 113
Rintanen, Jussi 219
Rissanen, Jorma 86-88, 90-91, 170, 207, 210
Rivest, Ronald L. (Ron) 150
Rivest, Ronald R. 207
Robinson, J. Alan 217
Roos, Teemu 90
Ropponen, Janne 117
Rossi, Matti 103, 113
Rousu, Juho 161
Rybicki, Joel 219
Räihä, Kari-Jouko (Kari) 26, 94, 96, 121, 140-141, 146, 188, 202, 215, 222, 224
Räihä, Outi 100
Räikkönen, Heikki 225-226
Räikkönen, Kimi 209
Räisänen, Heikki 189
Rönkkö, Mauno 220
- Saarenmaa, Hannu 222
Saariluoma, Pertti 139
Saarinen, Markku-Juhani 157
Sahlberg, Pasi 183
Saikkonen, Heikki (Hessu) 49
Sajaniemi, Jorma (Saja) 139, 216
Sakkinen, Markku 96, 223
Salakoski, Tapio 162
Salminen, Airi 122, 139, 220
Salo, Markus 221
Salomaa, Arto 8, 41, 52, 61-65, 151-153, 158, 171, 183, 186, 189, 202-203, 210, 223, 229
Salovius, Anna 219
Sandholm, Tuomas 207-211
Santean, Lila 151
Saramäki, Tapio 107
Sarmanto, Auvo 31, 34
Sarna, Seppo 39
Sarvas, Risto 221
Saukkonen, Risto 188
Saukkonen, Samuli 40
Savioja, Lauri 144
Schmidt, Roy C. 117

- Selänne, Teemu 210
Seppänen, Veikko 167
Sere, Kaisa 97, 223-225
Sethi, Ravi 217
Shamir, Adi 150
Shannon, Claude E. 85, 87
Sharma, Awnashilal B. 40
Shenker, Scott J. 133, 206-207
Shneiderman, Ben 138
Shor, Peter 149
Sibelius, Jean 118, 210
Sihvola, Ari 201
Silvennoinen, Pekka 49
Similä, Jouni 100
Simon, Jean-Claude 170
Simula, Olli 107
Sippu, Seppo 94, 96, 121
Sirén, Jouni 221
Smolander, Kari 113
Soisalon-Soininen, Eljas 94, 96, 121, 223-224
Solin, Ulla 140
Srikant, Ramakrishnan 123
Steinby, Magnus 62
Sulonen, Reijo (Shosta) 36, 38, 54, 198
Suomi, Reima 113
Suonio, Kaarina 107
Surakka, Veikko 140-141
Sutinen, Erkki 140, 166, 202
Swanson, E. Burton 170
Syrjänen, Markku (Murkku) 36, 38, 216
Systä, Kari 98, 100
Systä, Tarja 100, 225
Sääksjärvi, Markku 45, 113, 197-198, 215
Söderlund, Hans 160
Sølvberg, Arne 112

Taatila, Vesa 195
Taipale, Jussi 161
Taivalsaari, Antero 96, 100, 220
Takala, Tapio (Tassu) 144, 167
Talvitie, Jaakko 183
Tarhio, Jorma 66, 95-96, 140, 160, 223, 225
Tarkoma, Sasu 9, 108, 137

Tauriainen, Heikki 219
Tenhunen, Hannu 202
Teuhola, Jukka 64, 69, 224
Tienari, Martti 21, 29, 85, 94, 134, 197-198, 215, 223-225, 228-229
Tikansalo, Taina 219
Tirkkonen, Olav 132
Tirri, Henry 49, 80, 90, 210
Tishby, Naftali 180
Tiuri, Martti 132, 186
Tiusanen, Mikko 222
Toivanen, Jukka 165
Toivonen, Hannu (T. T.) (Haba) 9, 123, 125, 127, 164-165, 207-208, 210, 220
Tolvanen, Juha-Pekka 113, 220
Torvalds, Linus 57, 102, 203, 209-210, 212, 219
Tšaikovski, Pjotr Iljitš 159
Tukey, John 104
Tukiainen, Markku 225
Tuominen, Jouni 219
Turakainen, Paavo 34, 41, 62
Turing, Alan 12, 59, 150
Turunen, Aimo 12
Turunen, Markku 141, 219, 221
Tyrväinen, Pasi 167
Törn, Aimo 44, 222

Uglow, Helen 195
Ukkonen, Esko 31, 66, 68-69, 85, 96, 160-161, 163, 191-192, 203, 216, 223-225

Valitutti, Alessandro 165
Valmari, Antti 133-134, 136, 220, 223, 225
Varho, Olli 14, 19-20, 41
Veijalainen, Jari 121
Venna, Jarkko 80
Verkamo, A. Inkeri 123, 125
Vihavainen, Arto 167
Vihavainen, Juha 218
Vihko, Reijo 227
Virkkunen, Juhani 85
Virtamo, Jorma 132
Virtanen, Jukka 165

- ■ ■
- Väisälä, Vilho 106
Väänänen-Vainio-Mattila, Kaisa 143
- Wallén, Johan 219
Warsta, Juhani 167
Watson, Thomas J. 17
Weiner, Peter 68
Whinston, Andrew B. 208-209
Wikla, Arto 9
Wirth, Niklaus 96
Wood, Derick 217
von Wright, Joakim 96-97
- Yamanaka, Shinya 203
Yang, Herb 180
Yli-Harja, Olli 107, 162, 220
Ylä-Jääski, Antti 108, 132
Ylönen, Tatu 121, 219
Yrjölä, Antti 183
- Zuse, Konrad 11
- Östergård, Patric 132

| | Henkilö- työvuodet | Professorit | Tohtorin- tutkinnot | Maisterin- tutkinnot | Pääaine- opiskelijat | Kv. tieteelliset artikkelit | Kokonais- budjetti |
|--|-----------------------|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Aalto-yliopisto, mediatekniikan laitos | 58 | 6 | 3 | 13 | 86 | 57 | 4,0 m€ |
| Aalto-yliopisto, tieto- ja palvelutalouden laitos | | | | | | | |
| Aalto-yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos | 118 | 13 | 9 | 41 | 117+ | 172 | 8,4 m€ |
| Aalto-yliopisto, tietoliikenne- ja tietoverkkotekniikan laitos | 115 | 9 | 8 | 56 | N/A | 177 | 8,1 m€ |
| Aalto-yliopisto, tietotekniikan laitos | | | | | | | |
| Helsingin yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos | 163 | 11 | 11 | 71 | 1584 | 198 | 11,7 m€ |
| Itä-Suomen yliopisto, tietojenkäsittelytieteen laitos | | | | | | | |
| Jyväskylän yliopisto, tietojenkäsittelytieteiden laitos | 51 | 8 | 6 | 62 | | | |
| Jyväskylän yliopisto, tietotekniikan laitos | 106 | 9 | 16 | 42 | 680 | 177 | 8,0 m€ |
| Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ohjelmistotuotannon ja tiedonhallinnan laitos | | | | | | | |
| Oulun yliopisto, tietojenkäsittelytieteiden laitos | | | | | | | |
| Oulun yliopisto, tietoliikennetekniikan osasto | | | | | | | |
| Oulun yliopisto, tietotekniikan osasto | 170 | 8 | 8 | 45 | 468 | 122 | 8,0 m€ |
| Tampereen teknillinen yliopisto, signaalinkäsittelyn laitos | | | | | | | |
| Tampereen teknillinen yliopisto, tietotekniikan laitos | 120 | 10 | 9 | 79 | 700 | 93 | 7,8 m€ |
| Tampereen yliopisto, informaatiotieteiden yksikkö | | | | | | | |
| Turun yliopisto, informaatioteknologian laitos | 60 | 5 | 7 | 70 | 1000 | 100 | 5,0 m€ |
| Turun yliopisto, johtamisen ja yrittäjyyden laitos | 30 | 4 | 3 | 38 | 171 | 47 | 2,0 m€ |
| Vaasan yliopisto, tieto- ja tietoliikennetekniikan laitos | 20 | 4 | 0 | 28 | 398 | N/A | |
| Åbo Akademi, institutionen för informationsteknologi | | | | | | | |

Suomen tietojenkäsittelytieteiden laitokset 2013. Tyhjä ruutu: laitos ei ole suostunut antamaan tietoa.

