

{MAL}

URAUTUMATTOMAT



URAUTUMATTOMAT

Urautumattomat

1. painos 2022 3500 kpl

ISBN 978-952-94-6792-1 (painettu)

ISBN 978-952-94-6802-7 (sähköinen)

Kustantaja: MAL

Taitto: Sivupainajainen Kirsi Pääskyvuori

Paino: Copy-Set Oy

URAUTUMATTOMAT

Toimittaneet Martti Annanmäki ja Ilkka Norros
MAL - Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset ry

Esipuhe	7
Matematiikka ja luonnontieteet urautumattoman kehityksen vetureina <i>Esko Juuso</i>	8

TIETEIDEN MATKASSA 11

Suomalaisen matematiikan kasvoja <i>Ilkka Norros</i>	12
Geometrisen mittateoria <i>Maarit ja Esa Järvenpää</i>	13
Laskettavuuden teoria ja tason laatoitukset <i>Jarkko Kari</i>	16
Matemaattinen fysiikka <i>Christian Webb</i>	21
Tutkimusmatka suomalaiseen fysiikan tutkimukseen <i>Antti Asikainen</i>	24
Digitalisaatio yhteiskunnan muutosvoimana 60 vuotta <i>Risto Nevalainen</i>	42
Matematiikka ylioppilastutkinnossa <i>Aatos Lahtinen</i>	52

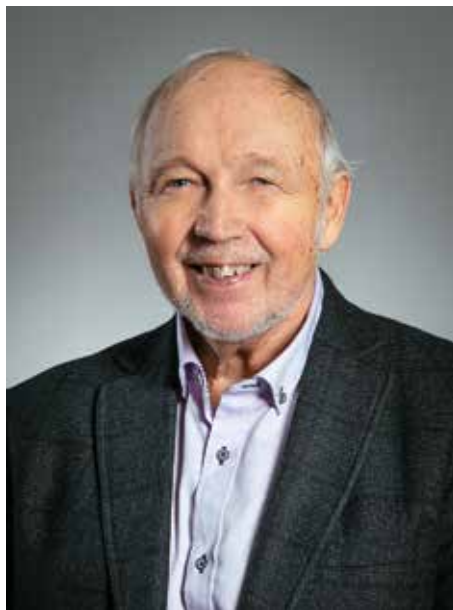
JÄSENKUNTA 57

MALin jäsenistö vuonna 2021 <i>Ilkka Norros</i>	58
Tutkimus jatkuvasta oppimisesta <i>Martti Annanmäki ja Ilkka Norros</i>	62
MALin tutkimus- ja julkaisutoiminta <i>Martti Annanmäki</i>	68

URATARINAT 73

Rio de Janeirosta Etelä-Afrikan Durbanisiin – pitkä tie ilmastonmuutoksen hillintää <i>Jaakko A. Ojala</i>	74
Opettajaksi ajautunut <i>Katri Halkka</i>	78
Seniori projektitoissa <i>Martti Annanmäki</i>	80
Dosentti Raimo Voutilaisen seikkailut vakuutusmaailmassa – hallussa vakuutusyhtiöiden perustamisen Suomen ennätys <i>Raimo Voutilainen</i>	84
Kohtalona Nokia <i>Timo Ali-Vehmas</i>	86
Maaseudun sähköistämisestä energiateknologian vientiin <i>Pentti Puhakka</i>	91
Ilkka Aaltonen loi elämänsä mieleisekseen! <i>Ilkka Aaltonen</i>	93
Näkymättömässä ja näkyvässä maailmassa <i>Aatos Lahtinen</i>	96
IBM:stä Intiaan <i>Merja Korpela</i>	100
Puurtamista yli voimien, sitkeyttä, innostusta ja ystävien tuki – ja lasikatto murtui <i>Kirsti Loukola-Ruskeeniemi</i>	104
Väestönsuojelua suomessa ja ulkomailla <i>Janne Koivukoski</i>	108
Mutkia ja mäksi IT-alan työpolulla <i>Risto Nevalainen</i>	112
Muistikirjamerkintöjä ja pohdintoja työvuosiltani puolustusvoimissa <i>Maija Lakio-Haapio</i>	116
Arkkitehdiksi pitkän kaavan mukaan <i>Pirjo Silius-Miettinen</i>	118
Opiskelemaan <i>Matti Kalliokoski</i>	122

ESIPUHE



Martti Annanmäki



Ilkka Norros

14.1.2022

Jo lähes perinteeksi muodostuneen tavan mukaan julkaisee MAL – Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset ry – 60-vuotisjuhlansa kunniaksi erityisen juhlakirjan. Edellisten juhlakirjojen tapaan kirjan tavoitteena on ylläpitää keskustelua matematiikan, fysiikan ja tietojenkäsittelytieteen merkityksestä yhteiskunnassa sekä välittää näiden alojen ammatteihin ja työhön liittyviä kokemuksia.

Juhlakirjan ensimmäinen osa **Tieteen matkassa** esittelee nykypäivän suomalaista matematiikkaa, fysiikkaa ja tietojenkäsittelytiedettä. Artikkelien näkökulmat ovat aivan erityyppisiä.

Artikkelikokonaisuus *Suomalaisen matematiikan kasvoja* tarjoaa nykymatematiikkaan kolme persoonallista näkymää, kun professorit Maarit ja Esa Järvenpää, Jarkko Kari ja Christian Webb kertovat kukin erikoisalastaan ja suuntautumisestaan siihen.

Antti Asikaisen *Tutkimusmatka suomalaisen fysiikan tutkimukseen* on puolestaan kattava katsaus yliopistojemme tämänhetkiseen fysiikan tutkimusprofiiliin. Asikainen on vuoden 2019 fysiikkaolympialaisten pronssimitalisti ja kevään 2021 ylioppilas, joka innostui kirjaamme varten käymään läpi kaikkien fysiikan laitostemme verkkosivut, jäsentämään aktiiviset tutkimusalat ja laatimaan tämän mainion yhteenvedon.

Risto Nevalainen on tietojenkäsittelyn pitkän linjan ammattilainen, jolla on monipuolinen kokemus käytännön ja tutkimuksen rajapinnan molemmilta puolilta sekä yleisemmän tason toiminnasta tietoyhteiskunnan kehittämisessä ja IT-alan standardoinnissa. Hänen laaja artikkelinsa *Digitalisaatio yhteiskunnan muutosvoimana 60 vuotta* on punnittu hahmotus koko alan historiasta ja tulevaisuudennäkymistä.

Tieteen matkassa -osan viimeinen artikkeli, professori Aatos Lahtisen *Matematiikka ylioppilastutkinnossa* kertoo ylioppilastutkintoon liittyvän matematiikan kokeen ja matematiikan osaamisen arvioinnin kehittymisestä vuosien saatossa. Ylioppilaslautakunnan pitkäaikaisena puheenjohtajana Lahtisen näköala aiheeseen on vailla vertaa.

Juhlakirjan toinen osa **Jäsenkunta** kertoo ensimmäisessä artikkelissaan tuoreet

tiedot MALin jäsenkunnan profilista. Siinä on havaittavissa pieniä kiintoisia muutoksia ja toisaalta myös kiintoisia invariantteja kuten naisten osuus jäsenistöstä. Anonyymit tiedot on poimittu TEKin jäsenrekisteristä syyskuussa 2021.

Osan seuraavassa artikkelissa esitellään tulokset kesällä 2021 tehdystä jäsenkyselytutkimuksesta ”Miten elinikäinen oppiminen on toteutunut MALin jäsenten työssä?” Jatkuva oppiminen oli vastausten perusteella toteutunut niin hyvin, että tämä inspiroi käsillä olevan juhlakirjankin nimen. Kysely tuotti myös mielenkiintoisen kokonaiskuvan siitä, millä spesifeillä tavoilla kutakin pää-tieteenalaamme edustavat vastaajat katsovat hyödyntävänsä yliopisto-opintojaan ammattityössään.

Osan lopuksi esitetään lyhyt historiikki MALin tutkimus- ja tiedotustoiminnasta. Tässä yhteydessä kerrotaan myös kaikista MALin aikaisemmista juhlakirjoista.

Juhlakirjan kolmanteen osaan **Uratarinat** on koottu jäsenten itse kirjoittamia uratarinoita, jotka on aiemmin julkaistu myös MAL-lehdessä. Niistä ilmenee vaikuttavasti, miten monenlaisia polkuja matematiikan, fysiikan ja tietojenkäsittelyn ammattilaisen työura voi kulkea – ennustamatta ja urautumatta!

Juhlakirjan nimeksi valikoitui siis URAUTUMATTOMAT. Kuten edellä vihjaistiin, nimi juontuu jäsentutkimuksen esille nostamasta jäsenkunnan jatkuvasta oppimisesta, uteliaisuudesta ja laaja-alaisesta tiedonhalusta, joita myös uratarinat kuvaavat.

Kirjan kannessa on Leonardo da Vincin piirtämä kuva Vitruviuksen miehestä. Marcus Vitruvius Pollio oli noin vuonna 80 eaa syntynyt, Caesarin armeijassa työskennellyt tykistölaitteiden suunnittelija ja rakentaja, joka omistautui myöhemmin arkkitehdin työlle. Vitruviuksen näkemys oli, että ihmisen mittasuhteet ovat verrannollisia niin hyvin laaditun temppelin kuin koko maailman makrokosmoksenkin mittasuhteisiin. Noin 1 500 vuotta myöhemmin Leonardo otti tämän näkemyksen osaksi maailmankuvaansa, johon kuului myös matematiikan arvostaminen. Ihmisen kehon mittasuhteitakin voi hahmottaa ympyrän ja neliön avulla. Mielestämme Leonardon piirtämä Vitruviuksen mies soveltuu mitä mainioimmin MALin juhlakirjan kanteen. ●

MATEMATIIKKA JA LUONNONTIETEET URAUTUMATTOMAN KEHITYKSEN VETUREINA

Luonnontieteissä erilaisia ilmiöitä kuvataan malleilla, jotka liittyvät tasapainotilaan tai ajan mukana tapahtuviin muutoksiin. Mallit rakennetaan tiettyihin toimintaolosuhteisiin ja niiden kehittämiseen on hyvin laaja menetelmävalikoima. Jo asiantuntemuksen pohjalta voidaan tehdä paljon. Eri olosuhteisiin kehitetyt mallikokoelmat pakkaavat asiantuntemusta yhteen. Datapohjaisuus on tärkeä osa, mutta ei pidä unohtaa kumuloitunutta tietämystä. Optimointi on monella tavalla olennaisessa osassa ja sen merkitys korostuu edelleen, kun pyritään hallitsemaan yhä laajempia kokonaisuuksia monitavoitteisissa ympäristöissä.

Ilmiöpohjaisissa malleissa matematiikka tukee luonnontieteellisen asiantuntemuksen käyttöä.

Tasapainotilanteiden mallit koostuvat muuttujien välisiä vuorovaikutuksia kuvaavista yhtälöistä tai moduuleista. Muuttujia voi olla paljon ja moduulit monimutkaisia. Yhtälöpohjaisessa tarkastelussa kukin vuorovaikutus rajataan vain olennaisten muuttujien välille. Epälineaarissa yhtälöryhmien simuloinneissa tarvitaan osittaisderivaattojen tai niistä muodostuvien matriisien approksimointia. Dynaamisissa malleissa tulee mukaan differentiaali- ja osittaisdifferentiaaliyhtälöitä. Yksinkertaistukset vaikuttavat soveltuvuusalueen laajuuteen. Mallien linearisointi toimintapisteen ympäristössä mahdollistaa analyyttisen ratkaisun ja tuo myös numeeriseen simulointiin erikoistapauksia, joita voidaan käyttää yksityiskohtaisten epälineaaristen mallien toimivuuden arvioinnissa. Ratkaisussa käytetään Taylorin sarjan approksimointiin pohjautuvia integointimenetelmiä, joiden valinta tehdään tarkasteltavien ilmiöiden vaatimusten pohjalta. Iterointi ja paikallisten linearisointien käyttö ovat myös käytettyjä ratkaisuja.

Älykkäät laskennalliset menetelmät tuovat mukaan ratkaisuja epälineaariseen mallinnukseen.

Hybridiratkaisuissa yhdistetään useisiin älykkäisiin menetelmiin perustuvia sovelluksia. Eri menetelmillä on omia hyviä puolia ja myös joitakin käyttöä rajoittavia tekijöitä. Asiantuntijatiedon käytössä painottuvat sumeat järjestelmät, joissa tehostetaan perinteisiä asiantuntijajärjestelmiä. Lähtötiedot käsitellään sumeuteuksella, päättelykone monipuolistuu ja vaste muodostetaan useista vaihtoehdoista täsmällistämällä. Näin voidaan tuoda yhteen erilaisia ratkaisua tukevia osatarkasteluja ja myös ristiriitaisuuksia. Kaiken perustana on silloin eri asioiden toteutumisen mahdollisuus, jota kuvataan jäsenyysasteilla. Eri toiminta-alueissa syntyy erilaisia kokonaisuuksia. Neurolaskenta pohjautui alunperin ihmisaivojen toimintamallin ja matemaattisen logiikan yhdistämiseen erilaisten neuroverkkojen rakenteissa.

Älykkäissä menetelmissä jäljitellään biologisten systeemien toimintaa tai oikeastaan toimintaa kuvaavia yksinkertaistettuja malleja. Puhutaan luonnon inspiroimista menetelmistä, kun ratkaisun etsiminen noudattaa luonnossa havaittuja mukautumismekanismeja.

Datapohjaiset ratkaisut hyödyntävät monenlaisia mallirakenteita.

Mallien toimivuus tarkistetaan vertaamalla todella tapahtuneeseen ja tässä voidaan käyttää myös suunnitelmallisia kokeita, joihin voi liittyä mallinnusratkaisuja. Kokeellinen mallintaminen nopeuttaa järjestelmien kehitystä ja virittämistä huomattavasti. Se voidaan toteuttaa useilla vaihtoehdoilla ja toisiaan täydentävillä menetelmillä. Neurolaskennassa ja neurosumeissa menetelmissä datapohjaiset ratkaisut ovat olennaisia, mutta ne soveltuvat



myös sumeiden järjestelmien sääntökantojen rakentamiseen. Regressiomallinnus toteutuu näissä ohjatun oppimisen muodossa.

Ilmiöiden käyttäytyminen voi olla erilaista eri toiminta-alueilla. Klusteroinnin tai ohjaamattoman oppimisen avulla etsitään muutujia ja niiden kokonaisuuksia, jotka jakavat data-aineiston sopiviin alueisiin tarkempaa mallinnusta varten. Klusterointiin on kehitetty laaja joukko menetelmiä. Sumea klusterointi sallii klustereiden osittaiseen päällekkäisyyden. Eri klustereissa voi olla omia paikallisia malleja. Monet ohjaamattomaan oppimiseen perustuvat neurolaskennan menetelmät sisältävät myös klusteroinnin. Datapohjaisuus korostuu syväoppimisessa, jossa käytetään yleensä usean kerroksen neuroverkkoja uusien ennustamattomien hahmojen tunnistamiseen suurista datamääristä (Big data). Koneoppiminen pohjautuu tilastotieteen menetelmiin.

Datapohjaisissa menetelmissä data-aineisto tulee kaikissa tapauksissa jakaa opetukseen, validointiin ja testaukseen. Erityisen tarpeellista on neurolaskennassa. Tilastollinen merkittävyys kuuluu myös mallien arviointiin. Syväoppimisessa nämä asiat näyttävät unohtuvan monissa tapauksissa. Vahvistusoppiminen auttaa, mutta parametrien lukumäärä on monissa tapauksissa arveluttavan korkea.

Dynaamiset mallit toteutetaan muutosta kuvavien mallirakenteiden avulla.

Ilmiöpohjaisessa dynaamisessa mallinnuksessa derivaattojen ja osittaisderivaattojen lausekkeet tuovat lisäyhtälöitä yhtälöryhmiin tai moduuleihin. Datapohjainen mallinnus perustuu staattisiin menetelmiin, joita käytetään myös dynaamisessa mallinnuksessa liittämällä mukaan dynaamisessa mallinnuksessa tarvittavat mallirakenteet. Identifiointi tuo mukaan suuren joukon mallirakenteita, joilla voidaan mallintaa toimintapisteen ympäristössä. Niillä saadaan aikaan myös yli-parametroituja malleja. Varsin yksinkertaiset rakenteet riittävät useimmissa tapauksissa ja samoja rakenteita voidaan käyttää myös älykkäiden menetelmien yhteydessä.

Optimointi on olennainen osa kaikissa datapohjaisissa ratkaisuissa.

Tilastollisessa mallinnuksessa käytettävä regressioanalyysi sisältää optimoinnin. Älykkäiden menetelmien yhteydessä optimointia käytetään rakenteiden ja parametrien virittämiseen. Erilaiset optimointialgoritmit ovat

hyvin monikäyttöisiä ja menetelmiä löytyy myös epälineaaristen mallien virittämiseen. Käytettävissä on myös erilaisia satunnais-hakumenetelmiä. Geneettiset algoritmit ja yleisemmin evoluutiolaskenta tuovat optimaalisen toteutuksen etsintään lisärakenteita, joilla voidaan nopeuttaa hakua ja samalla pitää laajaa ratkaisujoukkoa mukana. Luonnon evoluutio tarjoaa ratkaisuja, joissa voidaan verrata hyvin suurta määrää vaihtoehtoisia ratkaisuja, jotka voivat olla myös rakenteellisesti erilaisia. Monitavoiteoptimoinnin avulla voidaan virittää säätöratkaisujen tavoitteitaan ja toiminnoiltaan tasapainoisiksi. Viime aikoina erilaisten tavoitteiden yhteensovittaminen on noussut yhä keskeisemmäksi.

Tietojen merkitystasojen ymmärtäminen mahdollistaa mallirakenteiden tiivistämisen.

Tilastollisessa mallinnuksessa muuttujien normalisointi tulee yleensä välttämättömäksi. Perinteiset asiantuntijajärjestelmät perustuivat jo tietojen arvoalueiden tasojen käyttöön sääntöpohjaisessa päättelyssä. Päättelyssä tarvittavien tasojen ja sääntöjen määrää vähentyy murto-osaan käyttämällä jäsenyysfunktioita, jolloin myös päättely muuttui jäsenyysasteiden matemaattiseksi käsittelyksi, jossa voidaan ottaa huomioon epävarmuuksia ja ristiriitaisuuksia. Epälineaarinen skaalaus kehitettiin alunperin jäsenyysfunktioiden virittämiseen, mutta se avasi mahdollisuuden korvata sumeita sääntökokoelmia skaalattuja arvoja käyttävillä yhtälöillä. Yhtenäistetty merkitysten käsittely mahdollistaa kompaktin vuorovaikuusten käsittelyn. Rinnalla oleva sanallinen esitys auttaa ratkaisujen ymmärtämistä.

Muutostilanteiden tunnistaminen aikaisessa vaiheessa on mahdollista.

Kaaosteoria ja epälineaarinen dynamiikka täydentävät tätä kokonaisuutta muutostilanteiden käsittelyssä. Käytännössä toimintaolosuhteiden tunnistaminen laajentaa ratkaisujen toiminta-alueita. Poikkeavat tilanteet, anomaliat, nopeat ja hitaat muutokset vaativat toiminnan mukauttamista. Jopa vaihtelun kasvu voi olla merkki uusien ilmiöiden aktivoitumisesta. Rasituksen seurannan avulla voidaan seurata koneiden ja laitteiden kunnan kehittymistä selä operointia että kunnossapitoa varten. Rekursiivinen päivitys mahdollistaa siirtymisen samankaltaisiin tilanteisiin parametrisissa ratkaisuissa.

Urautumaton menetelmäkehitys on avainasemassa.

Tietokoneressurssien nopea kasvu tuo yksityiskohtaisen tarkastelun mahdolliseksi yhä laajempiin kokonaisuuksiin. Samalla kuitenkin ylisovituksen riski kasvaa ja on syytä pitää asiantuntemus mukana: uudetkin menetelmät ovat pääosin aikaisemmin kehitettyjen menetelmien kombinaatioita. Kehitystä voidaan jatkaa sovellusalueiden vaatimusten pohjalta. Pilvipalveluista siirrytään monissa asioissa reunalaskentaan, mikä helpottaa asiantuntemuksen mukaan ottamista.

Uudet haasteet vaativat yhä monipuolisempien kokonaisuuksien hallintaa.

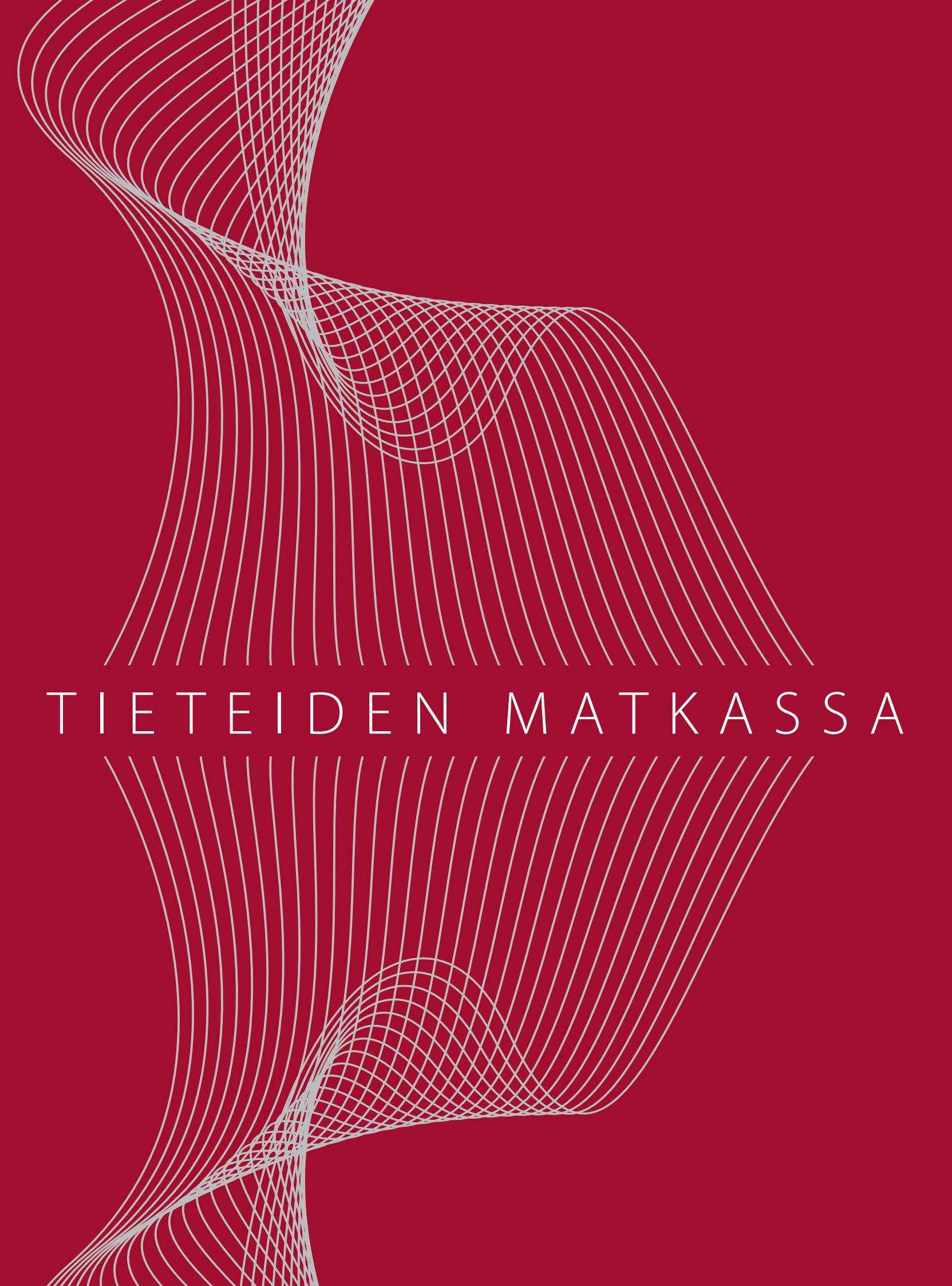
Energia on jälleen painopisteessä. Ongelmat pyritään ratkaisemaan yksinkertaisten sääntöpohjaisten ratkaisujen avulla. Yleinen vihreänä siirtymänä esitetty ratkaisu ei kuitenkaan riitä toimintaolosuhteiden vaihdellessa. Monitahoinen ongelma vaatii monipuolista energiantuotantoa, jossa on vahvoja paikallisia ja vuodenaikoihin liittyviä painotuksia. Edellä esitetystä monipuolisesta menetelmäpaletista löytyy ratkaisuja tähän.

Ilmastomuutosta pyritään rajaamaan yksinkertaisilla vihreän siirtymän säännöillä kohti hiilineutraalisuutta, mutta onko se välttämätöntä? Hiilen käyttöä on varmaankin hyvä rajoittaa, mutta tarvitaanko ehdottomuutta? Hiili integroituu monella tavalla erilaisiin ratkaisuihin. Laajasta menetelmä-kokoelmasta löytyy työkaluja syvällisempään tarkasteluun.

Skaala laajentuu sekä yhteiskunnan että yksilöiden tasolla. Päätöksenteon tukea tarvitaan mm. ilmastomuutoksen hallinnassa, vedenpuhdistuksessa, prosessien käynnissäpidossa sekä yksilöllisen hyvinvoinnin parantamisessa tasapainoisen ravinnon, liikunnan ja palautumisen yhteensovittamisen kautta.

Muutokset vaativat aikaa, joten tarvitaan elinkaarianalyysia realistisen kuvan muodostamiseen muutosten etenemisen mahdollisuuksista. Toimiakseen tämä vaatii mallien pitämisen ajan tasalla, mikä on itse asiassa digitaalisten kaksosten perusvaatimus. Urautumattomille matematiikan ja luonnontieteiden asiantuntijoille on edelleen tarjolla monipuolisia etenemisteitä, joista syntyy mielenkiintoisia uratarinoita. •

Matematiikka on luonnontieteiden ja tekniikan yhteinen kieli, joka tuo lopulta yhteen eri alojen saavutukset.

The image features a solid red background. Overlaid on this background are numerous thin, white, curved lines that flow from the top left towards the bottom right. These lines are arranged in a way that they intersect to form a series of overlapping, wavy patterns. A prominent horizontal band of these white lines runs across the middle of the image, creating a textured, almost fabric-like appearance. The lines are more densely packed in some areas, creating a grid-like effect, while in other areas, they are more spread out, following the curve of the overall design.

TIETEIDEN MATKASSA

SUOMALAISEN MATEMATIIKAN KASVOJA

Lupasin järjestää MALin juhlakirjan Tieteen matkassa -osastoon jotakin, joka kertoo tämän päivän suomalaisesta matematiikan tutkimuksesta, mutta minulle oli pitkään auki, miten sen tekisin. Objektiivisen kokonaiskuvan antaminen vaatisi eri luokan panostuksen, käytännössä tekijäkollektiivin, jossa yhdistyisi monipuolista eri alojen tuntemusta ja yhteen kokoavaa näkemyksellisyyttä. Ja vielä olisi hyvä haalia numerofaktoja professoreiden ja tutkijoiden määristä ja jakautumisesta alueittain, niin erikoisaloittain kuin maantieteellisestikin.

Kun ajattelen suomalaisen matematiikan kehittymistä opiskeluaajoistani 70-luvun alusta nykypäivään, päälimmäisenä piirteenä mieleeni tulee tutkimustasolla harrastettujen matematiikan alojen moninaisuuden kasvu ("tutkimustasolla" tarkoitan uusien, kansainvälisissä tieteellisissä lehdissä julkaistavien tulosten tuottamista). Samaan aikaan kun luonnon monimuotoisuus on pelottavasti köyhtymässä, matematiikan puutarhat kukoistavat entistä rikkaampina, eivätkä niiden kasvussa tule fyysiset rajat vastaan tulevaisuudessaan.

Päädyin valaisemaan matematiikkamme nykyisiä kasvoja pienellä otoksella niistä monista aloista, joilla tälläkin hetkellä aktiiviset tutkijat ovat saavuttaneet kauniita tuloksia. Seuraavien kolmen pienoisarikkelin kirjoittajia pyysin esittelemään vapaamuotoisesti itsensä ja erikoisalansa noin neljällä sivulla. Kiitän heitä näistä erinomaisista teksteistä.

Maarit (s. 1968) ja **Esa** (s. 1967) **Järvenpää** ovat matemaattikopariskunta, jolla monet tutkimuksetkin ovat olleet yhteisiä. Heidän erikoisalansa on geometrinen mittateoria, ja he ovat nykyään Oulun yliopiston professoreja.

Jarkko Kari (s. 1964) on matematiikan professori Turun yliopistossa. Hänen alaansa on laskettavuuden teoria, erityisesti tason laatoitusten yhteydessä.

Christian Webb (s. 1984) tutkii Helsingin yliopistossa matemaattista fysiikka tenure track -apulaisprofessorina.

Muistutan vielä, että nykymatematiikkamme kirjo riittäisi moniin vastaaviin kolmikielisiin; olisin voinut valita vaikkapa kolmikot {stokastiikka, algebrallinen topologia, optimointi} tai {kvasikonformikuvaukset, inversio-teoria, lukuteoria}, jne.

Suomalaisen matematiikan monimuotoisuus on siis kasvanut aktiivisesti tutkittujen alojen määrällä mitattuna. Toisaalta Maarit ja Esa Järvenpää toteavat kirjoituksensa lopulla aiheellisesti, ettei itse tutkijoiden ja opiskelijoiden monimuotoisuus ole vieläkaan sillä tasolla, mitä 2020-luvulla voisi edellyttää.

Esimerkiksi matematiikan tutkijakunta on perinteisesti ollut erittäin miesvaltainen ja on sitä edelleen varsin huomattavasti. On kuitenkin ollut ilo havaita, että sukupuolten epäsymmetria on alkanut tasoittua tällä vuosituhannella. Toivotaan kehityksen etenevän tähän suuntaan. Kun pyysin parilta kollegalta ideoita juhlakirjalupaukseni lunastamiseksi, yksi minulle ehdotettu ja sinällään erinomainen idea oli, että pyytäisin parin sivun juttuja kymmeneltä erilaisilla matematiikan aloilla toimivalta naispuoliselta tutkijalta. Sain pitkän nimelistankin keiltä voisi kysyä, suurin osa varsin nuoria. Tämä urakka jäi minulta tekemättä. Kerron kuitenkin asian tässä, koska sen pelkkä mahdollisuuskin valaisee tasa-arvotilanteen kohentumista - takavuositkymmeninä tällaista listaa olisi ollut aivan mahdotonta koota. ●

GEOMETRINEN MITTATEORIA

Maarit ja Esa Järvenpää

Matematiikka oli **Maaritista** kiinnostava kouluaine, mutta ei ainoa sellainen. Matematiikan yliopistopinnot olivat houkutteleva vaihtoehto, koska yliopistoon oli mahdollista päästä ylioppilastodistuksen perusteella. Sellonsoitto vei vielä tuolloin runsaasti aikaa eikä pääsykokeisiin valmistautuminen tuntunut mielekkäältä ajankäytöltä. Siis miksipä ei matematiikan opiskelijaksi? Perustutkinnon valmistumisen jälkeen kysymys kuului: miksi ei matematiikan jatko-opiskelijaksi? Ja tohtoritutkinnon valmistuttua relevantti kysymys oli: miksi ei tutkijaksi? Maarit on matematiikan tutkija, koska ei missään vaiheessa löytänyt vastausta kysymykseen: miksi ei?

Maarit kirjoitti ylioppilaaksi Mikkelin Lyseon lukiosta. Hän valmistui filosofian kandidaatiksi, lisensiaatiksi ja tohtoriksi Jyväskylän yliopistosta. Väitöskirjan ohjaajana oli professori **Pertti Mattila**.

Esa opiskeli fysiikkaa ja matematiikkaa Jyväskylän yliopistossa, tavoitteenaan fysiikan tutkijan ura. Nämä aineet kiinnostivat jo lukiossa. Vähitellen matemaattisten käsitteiden lainalaisuudet alkoivat kuitenkin kiinnostaa enemmän kuin luonnon lainalaisuudet. Joskus edellisten perustelut oli myös helpompi omaksua kuin jälkimmäisten.

Esa kirjoitti ylioppilaaksi Kaurialan lukiossa Hämeenlinnasta. Pääaineenaan fysiikka hän valmistui filosofian kandidaatiksi ja lisensiaatiksi Jyväskylän yliopistosta. Filosofian tohtoriksi hän väitteli Helsingin yliopistossa. Matematiikan väitöskirjan ohjaajana oli professori **Antti Kupiainen**.



Fraktaalit

Tutkimme joukkojen ja mittojen eli massa-jakaumien geometriaa. Monet tutkimuskysymyksistämme liittyvät fraktaaleihin, jotka ovat joukkoja tai mittoja, joiden rakenteessa on loputtomasti yksityiskohtia. Mikäli fraktaaleja tutkittaessa käytettävissä olisi rajattomasti suurentava mikroskooppi, niiden rakenteesta löytyisi rajattomasti säröjä, kulmia, mutkia, kiemuroita jne. Toisinaan samat rakenteen yksityiskohdat toistuvat kaikissa mittakaavoissa, toisinaan yksityiskohdat esiintyvät satunnaisesti. Yleisesti hyväksyttyä matemaattista fraktaalien määritelmää ei tunneta.

Benoit Mandelbrot (1924-2010) otti käsitteen fraktaali käyttöön 1970-luvulla. Nimi pohjautuu latinan sanaan fractus, joka tarkoittaa murtunutta. Ensimmäiset fraktaalit löydettiin 1800-luvun loppupuolella, vaikka nimitystä fraktaali ei vielä tuolloin käytetty. Niiden avulla osoitettiin paikkansa pitämättömiksi joitakin aiemmin tosina pidettyjä matemaattisia uskomuksia, ja tuolloin fraktaaleja pidettiin lähinnä harvinaisina erikoistapauksina. **H. Poincaré** (1854-1912) kirjoitti: "Aikaisemmin uusi funktio keksittiin johonkin käytännön tarpeeseen; tänään niitä keksitään nimenomaan siksi, että niillä voidaan osoittaa edeltäjiemme ajattelun puutteet eikä niistä koskaan saada johdetuksi mitään muuta." [1] Poincaré kuitenkin erehtyi: Matemaattisen teorian kehittymisen kannalta fraktaalit osoittautuivat tärkeiksi. Epätavallisten erikoistapausten tutkimus johti 1900-luvun erään yleisimmän matemaattisen teorian, mitta- ja integraaliteorian, syntyyn. Siitä kehittyi myöhemmin fraktaaligeometria.

Rakenteen runsaasta yksityiskohdista johtuen perinteiset geometrian työkalut eivät sovellu fraktaalien tutkimiseen. Dimensio ja mitta ovat tärkeimpiä fraktaalimatematiikan työkaluja, ja ne liittyvät toisiinsa. Intuitiivisesti on selvää, että janan dimensio eli ulottuvuus on yksi, neliön kaksi ja kuution kolme. Janaa voidaan mitata yksiulotteisella mitalla eli pituusmitalla, neliötä kaksiulotteisella mitalla eli pinta-alamitalla ja kuutiota kolmiulotteisella mitalla eli tilavuusmitalla. Koska fraktaalien dimensio ei ole tyypillisesti kokonaisluku, dimension ja mitan välinen yhteys ei ole intuitiivisesti yhtä suoraviivainen.

Fraktaalidimensiota laskettaessa tiettyä kokoa pienemmät joukon epäsäännöllisyydet jätetään aluksi huomioimatta. Näin saatujen mittaustulosten käyttäytymistä tarkastellaan, kun fraktaalien hienorakennetta huomioidaan yhä tarkemmin. Tämä periaate voidaan muuttaa matemaattiseksi lausekkeiksi eri tavoin. Fraktaalimatematiikassa onkin useita erilaisia

dimension käsitteitä, jotka voivat antaa samalle fraktaalikonstruktiolle eri arvoja. Yksi käytetyimmistä dimensioista on Hausdorffin dimensio, joka on nimetty **Felix Hausdorffin** (1868-1942) mukaan. Mikäli joukon Hausdorffin dimensio on s , osoittautuu, että on olemassa s -ulotteinen mitta, nk. Hausdorffin mitta, jota käyttäen joukkoa voidaan mitata. Tässä s ei välttämättä ole kokonaisluku eikä joukon s -ulotteinen Hausdorffin mitta ole välttämättä positiivinen ja äärellinen, se voi olla myös nolla tai ääretön.

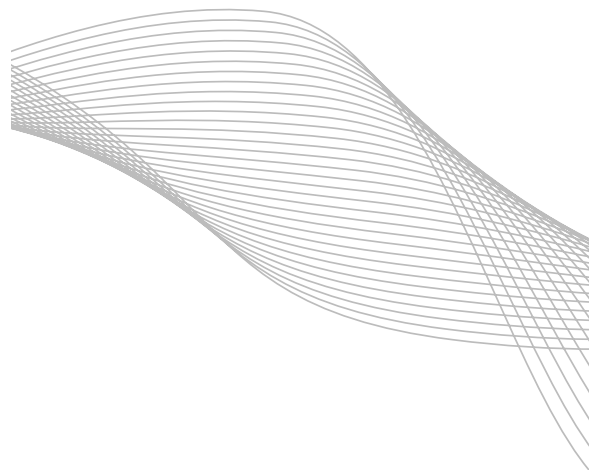
Eräs tunnetuimmista fraktaaleista on Cantorin joukko, joka on nimetty **Georg Cantorin** (1845-1918) mukaan. Joukon konstruointi aloitetaan suljetusta yksikköjanasta $[0,1]$, jonka keskeltä poistetaan kolmannes. Jäljelle jäävät suljetut välit $[0,1/3]$ ja $[2/3,1]$. Seuraavaksi molemmista näistä väleistä poistetaan keskeltä kolmannes, jolloin jäljelle jää neljä suljettua väliä, joiden pituus on $1/9$. Seuraavaksi näiden neljän välin keskeltä poistetaan jälleen kolmannes, ja näin jatketaan loputtomasti. Prosessia, jossa edellisen vaiheen konstruktiovälin keskeltä poistetaan kolmannes, toistetaan siis äärettömän monta kertaa. Fraktaalien geometriaa tutkittaessa ratkaisevaa on ymmärtää, mitä löytyy äärettömyydestä. Tätä ei voi tehdä tietokonetta käyttäen: simulaatioissa toistoja on aina äärellinen määrä. Tärkeimmät työkalumme ovatkin kynä ja paperi.

Paljonko tilaa tarvitaan neulan kääntämiseen?

Ääretöntä tutkittaessa intuitio voi harhauttaa: matemaattinen havainto voi olla yllättävä ja intuition vastainen. Tarkastellaan esimerkkinä nk. neulankääntöongelmaa, jonka esitti Sōichi Kakeya (1886-1947) vuonna 1917. Hän kysyi, kuinka paljon tarvitaan tilaa, kun käännetään neulaa 360 astetta tasolla, ts. mikä on pinta-alaltaan pienin mahdollinen tasojoukko, jossa yksikköjana voidaan kääntää 360 astetta. Yksikköjanan voi kääntää $1/2$ -säteissä ympyrässä, joka pinta-ala on $\pi/4 \approx 0.785$. Vuonna 1921 **G. Pal** (1881-1946) osoitti, että tasasivuinen kolmio, jonka korkeus on yksi ja jonka pinta-ala on $1/\sqrt{3} \approx 0.577$, on pienin ns. konvekssi joukko, jossa kääntäminen onnistuu. Konvekssi joukko sisältää minkä tahansa kahden pisteensä välisen janan.

Vuonna 1928 **A. S. Besicovitch** ratkaisi neulankääntöongelman odottamattomalla tavalla osoittamalla, että neulan voi kääntää pinta-alaltaan mielivaltaisen pienessä joukossa, ts. olipa ε kuinka tahansa pieni positiivinen luku, on mahdollista konstruoida pinta-alaltaan ε :ia pienempi joukko, jossa neulan voi

Ääretöntä tutkittaessa intuitio voi harhauttaa: matemaattinen havainto voi olla yllättävä ja intuition vastainen.



kääntää. Besicovitch oli jo vuonna 1920 julkaissut matemaattisen tuloksen, jota käyttäen neulankääntöongelma oli mahdollista ratkaista, mutta tuolloin hän ei vielä tuntenut Kakeyan kysymystä. Jos kääntöprosessin ei tarvitse olla jatkuva, neulan voi kääntää nollamittaisessa joukossa, ts. on olemassa nollamittainen joukko, joka sisältää yksikköjanaan jokaiseen mahdolliseen suuntaan. Tällainen joukko on fraktaalit. Mikäli avaruus on korkeampiulotteinen, kääntäminen onnistuu jatkuvasti nollamittaisessa joukossa. Osoitimme tämän yhdessä **T. Keletin** ja **A. Máthén** kanssa [4].

Muita ongelmia: satunnaiset peitteet, fraktaaliperkolaatio

Viime aikoina olemme tutkineet mm. satunnaisia peitejoukkoja ja fraktaaliperkolaatiota. Satunnaisen peitejoukon määrittelyn lähtökohta on joukkojono, jonka alkioita siirrellään satunnaisesti. Peitejoukko koostuu niistä pisteistä, jotka kuuluvat äärettömän moneen siirrettyyn joukkoon. Tutkimme satunnaisen peitejoukon kokoa, kun mittana käytetään Hausdorffin dimensiota. Yhdessä **D.-J. Fengin** ja **V. Suomalain** kanssa löysimme Hausdorffin dimension kaavan tapauksessa, jossa oletukset ovat verraten väljät [3].

Mandelbrot esitteli fraktaaliperkolaation turbulenssin mallina 1970-luvulla. Se on satunnainen joukko, jota on tutkittu paljon eri yhteyksissä. Osoitimme äskettäin yhdessä **Z. Buczolicin**, **T. Keletin** ja **T. Pöyhtärin** kanssa, että fraktaaliperkolaatio on melkein varmasti suoristumaton eli kaikki suorat leikkaavat sen pituudeltaan nollamittaisessa joukossa. Sama pätee myös riittävän säännöllisille käyrille [2].

Fraktaaleja on joka puolella

Fraktaalimatematiikan tuloksia ja metodeja sovelletaan monella tieteenalalla. Yhteydet useaan matematiikan alaan, esimerkiksi todennäköisyysteoriaan, harmoniseen analyysiin, lukuteoriaan, geometriseen mitta-teoriaan, dynaamisten systeemien teoriaan ja ergoditeoriaan, ovat tiiviit. Oma motivaatiomme ei niinkään perustu mahdollisiin sovelluksiin, vaan pikemminkin siihen, että tieto itsessään on arvokasta.

Nykyään tehdään myös fraktaalimaiheista kuvataidetta tietokoneita käyttäen. Meille matemaatikkoina fraktaalien kauneus merkitsee pikemminkin matematiikan kauneutta, jota kirjailija **Yoko Ogawa** kuvaa mainiosti kirjassaan *Professori ja taloudenhoitaja*. Alla oleva lainaus on ote kirjan nimihenkilöiden,

matematiikan professorin ja hänen taloudenhoitajansa, keskustelusta:

”Voiko matemaattisia todistuksia arvioida kauneuden mukaan?”

”Tottahan toki.” Professori nousi seisaalleen, kurkisti tiskeihin päin kääntyneisiin kasvoihini ja lausui painokkaasti: ”Todella oikeaan osuva todistus on samaan aikaan sekä täydellisen tiukka ja kiinteä että joustava. Nämä yhdistyvät toisiinsa ristiriidattomasti. Todistuksia, jotka eivät ole virheellisiä mutta ovat silti meluisia, sottaisia ja hermoille käyviä, on vaikka kuinka. Ymmärrätkös? Tosin matemaattisen kauneuden ilmaiseminen on vaikeata, samalla tavalla kuin on mahdotonta selittää, minkä vuoksi tähdet ovat kauniita.”

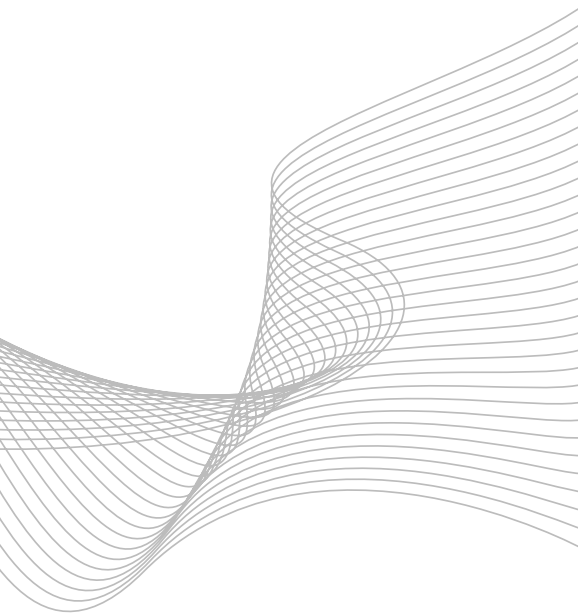
Matematiikan kauneuden ilmaiseminen on tosiaan vaikeaa. Kuvataiteen ja musiikin kauneudesta voi nauttia puhtaasti aistikokemuksena, analysoimatta teosten rakennetta ja tuntematta historiaa, kun taas matematiikan kauneus on teorian ja todistusten kauneutta. Pohjimmiltaan taiteessa ja matematiikassa kauneus on oivallusten kauneutta: Matemaattisista oivalluksista nauttiminen edellyttää analysointia ja matematiikan kielen ymmärtämistä.

Monimuotoisuus ylös!

Lopuksi haluaisimme kiinnittää huomiota tärkeään asiaan: Matematiikka on vanhimpia tieteenaloja. Pitkästä historiastaan huolimatta sen diversiteetti, tutkijoiden ja opiskelijoiden monimuotoisuus, ei ole sillä tasolla, mitä 2020-luvulla voisi edellyttää. Olemmeko tietoisia niistä asenteistamme ja oman ajattelumme vinoumista, jotka ylläpitävät nykyistä tilannetta? Vai sivuutamme asian olankohautuksella ja toteamalla, että kaikilla on samat mahdollisuudet ja opinnoissa ja uralla eteneminen on vain itsestä kiinni? •

Lähteet:

1. C. B. Boyer. Tieteiden kuningatar. Suom. Kimmo Pietiläinen. Art House, 1994.
2. Z. Buczolic, E. Järvenpää, M. Järvenpää, T. Keleti and T. Pöyhtäri. Fractal percolation is unrectifiable. Adv. Math. <https://doi.org/10.1016/j.aim.2021.107906>.
3. D.-J. Feng, E. Järvenpää, M. Järvenpää and V. Suomala. Dimensions of random covering sets in Riemann manifolds. Ann. Probab. 46, 2018, pp 1542-1596. <https://doi.org/10.1214/17-AOP1210>.
4. E. Järvenpää, M. Järvenpää, T. Keleti and A. Máthé. Continuously parametrized Besicovitch sets in $\mathbb{R}^n$. Ann. Acad. Sci. Fenn. Math. 36, 2011, pp 411-421. <https://doi.org/10.5186/aasfm.2011.3639>.
5. Y. Ogawa: Professori ja taloudenhoitaja. Suom. Antti Valkama. Tammi, 2016.



LASKETTAVUUDEN TEORIA JA TASON LAATOITUKSET

Jarkko Kari



Kävin kouluni Luumäellä Etelä-Karjalassa ja kirjoitin ylioppilaaksi pienestä Taavetin lukioista 1983. Isäni oli lukion rehtori ja pitkän matematiikan opettaja, ja lisäksi äitini opetti matematiikkaa luokallamme yläasteella. Sainkin matematiikkakärpäsen puraisun jo kotona. Osallistuin myös lukion matematiikkakilpailuihin ja olin mukana Suomen matematiikkaolympialaisjoukkueessa. **Matti Lehtisen** ja **Juha Oikkosen** vetämä olympiavalmennus oli upea kokemus.

Tietokoneisiin ja ohjelmointiin hurahdin kesällä 1980, kun koulullemme hankittiin ABC 80 -merkkisiä mikrotietokoneita, joita pääsin testaamaan. Lukion jälkeen lähdin opiskelemaan Turun yliopistoon tietojenkäsittelyoppia, mutta matematiikan kurssit ja erityisesti **Timo Neuvosen** algebran opetus pitivät otteessaan niin, että vaihdon jo ensimmäisen lukukauden lopussa pääaineekseni matematiikan. Erityisesti pidin tietojenkäsittelyn matemaattisesta teoriasta, ja onnekseni laitoksellamme oli professorina alan ehdottomiin kärkinimiin kuuluva akateemikko **Arto Salomaa**. Tein Salomaan ohjauksessa ensin pro gradu tutkielman soluautomaateista, ja jatko-opintojen päätteeksi vuonna 1990 väittelin algoritmisesta ratkeamattomuudesta soluautomaattien teoriassa.

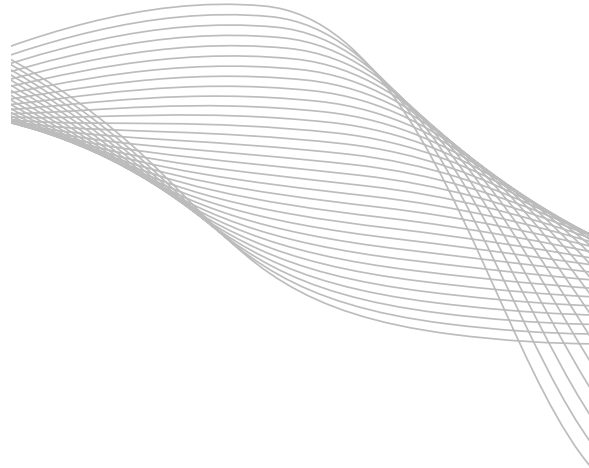
Väittelyn jälkeen olin tutkijana Salomaan projekteissa ja Suomen Akatemian nuorempana tutkijana omassa tutkimusprojektissani. Teoreettisen tietojenkäsittelyn ohessa kehitelin myös erikoisen kuvanpakkausalgoritmin, jonka seurauksena muutin vuonna 1995 Atlantaan käytännön algoritmikehitystyöhön matemaatikko **Michael Barnsleyn** perusta-

massa yhtiössä Iterated Systems Inc. Barnsley tuli aikoinaan tunnetuksi kuvien fraktaalipakkauksesta ja yhtiöönsä hän palkkasi nuoria matemaatikoita sitä kehittelemään. Firman palaverissa mittateoria, topologia ja algebra pyörivät tauluilla, mutta mielestäni varsin vähän niistä lopulta siirtyi kehitettyihin konkreettisiin algoritmeihin. Kehitystyö piti sisällään runsaasti testaamista, vertailua ja parametrien säätämistä.

Alle kahdessa vuodessa kiipesin sitten takaisin norsunluutorniin ottamalla vastaan tenure track professuurin Iowan yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksella. Vuonna 2000 sain matematiikan professuurin kotilaitoksellani Turun yliopistossa, ja tässä työssä toimin yhä tänäkin päivänä. Kiertomatkan käytännön insinööritöiden ja tietojenkäsittelyopin kautta takaisin matematiikan laitokselle oli antoisa, mutta se sai minut myös entistä enemmän arvostamaan puhtaan matematiikan kauneutta. Myös tietojenkäsittelyopin eleganteimmat ja pysyvimmat saavutukset laskettavuuden teoriassa ovat oleellisesti matemaattisia.

Algoritminen ratkeamattomuus

Algoritminen ratkeamattomuus on laskettavuuden teorian keskeinen käsite, joka pohjautuu **Kurt Gödelin** ja **Alan Turingin** urauurtaviin töihin 1930-luvulla. Kyse on siis siitä, että monet hyvin määritellyt ja luonnolliset algoritmiset tehtävät ovat sellaisia, että niitä ei todistettavasti voi ratkaista millään tietokoneohjelmalla.



Emme lainkaan piittaa siitä, kuinka nopea tai hidas algoritmi on, kunhan algoritmi aina taatusti palauttaa ennemmin tai myöhemmin oikean vastauksen.

Kuuluu esimerkiksi ratkeamattomasta tehtävästä on *Diofantoksen yhtälöiden* ratkaiseminen. Diofantoksen yhtälö on kokonaislukukertoiminen usean muuttujan polynomiyhtälö, jolle etsitään ratkaisua kokonaislukujen joukosta. Siis vaikkapa yhtälö $x^2y + xz + y^2z = 2$, jolla on ainakin ratkaisu $x=1, y=2, z=0$ tai $x=1, y=2, z=0$, tai yhtälö $2x^2 + 4xy = 7$, jolla ei ole kokonaislukuratkaisua, koska yhtälön vasen puoli on kaikilla muuttujien kokonaislukuarvoilla parillinen. *Hilbertin kymmenes ongelma* vuodelta 1900 kysyi, kuinka voidaan päätellä, onko annetulla Diofantoksen yhtälöllä ratkaisua. Halutaan siis algoritmi, joka saa syötteenään Diofantoksen yhtälön, ja joka palauttaa ”kyllä” tai ”ei”-vastauksen riippuen siitä, onko yhtälöllä ratkaisua (positiivinen syöte) vai ei (negatiivinen syöte). Emme lainkaan piittaa siitä, kuinka nopea tai hidas algoritmi on, kunhan algoritmi aina taatusti palauttaa ennemmin tai myöhemmin oikean vastauksen.

Ilmeinen idea olisi sijoittaa muuttujille kokonaislukuarvoja yksitellen, kunnes löydetään lukuyhdistelmä, joka toteuttaa yhtälön. Tämä on helppo toteuttaa niin, että kaikki lukuyhdistelmät tulevat kokeiluiksi ennemmin tai myöhemmin, joten menetelmä antaa oikean ”kyllä”-vastauksen, jos ratkaisu on olemassa. Mutta entä negatiiviset syötteet, ts. yhtälöt, joilla ei ole ratkaisua? Ehdotettu menetelmä ei koskaan anna ”ei”-vastausta, vaan se jatkaa loputtomasti kokeillen yhä uusia lukuyhdistelmiä. Menetelmä ei siis ole toimiva algoritmi vaan niin sanottu *puolialgoritmi*: se antaa oikean vastauksen positiivisissa tapauksissa, mutta jatkaa loputtomasti laskentaa negatiivisten syötteiden tapauksessa. Itse asiassa tilannetta ei ole mahdollista korjata: **Yuri Matiyasevich** osoitti vuonna 1970, että algoritmia ei ole olemassa, eli että Hilbertin kymmenes ongelma on ratkeamaton. Kyse ei ole siitä, että tietokoneemme eivät olisi riittävän kehittyneitä tai ohjelmoijamme tarpeeksi fiksuja, vaan kyseessä on matemaattinen fakta: algoritmi johtaisi loogiseen ristiriitaan. Tulos pohjautuu **Alan Turingin** ratkeamattomuustodistukseen, joka puolestaan muistuttaa **Georg Cantorin** kuuluisaa *diagonaalargumenttia* reaalilukujen joukon ylinumeroituvuudelle.

Cantor näytti, kuinka jokaisesta numeroituvasta listasta reaalilukuja voidaan muodostaa sellainen reaaliluku, joka eroaa jokaisesta listan luvusta jossain desimaalissa. Turingin argumentissa näytetään vastaavalla diagonaalipäätelyllä, kuinka voidaan muodostaa sellainen algoritmien kysymys, jonka vastaus eroaa jokaisen algoritmikandidaatin antamasta vastauksesta jollain syötteellä. **Matiyasevich** sitten demonstroi, kuinka Turingin

ratkeamaton kysymys on laskennallisesti ekvivalentti Hilbertin ongelman kanssa.

On hyvä huomata, että negatiivisille syötteille - siis Diofantoksen yhtälöille ilman kokonaislukuratkaisua - ei voi olla olemassa edes puolialgoritmiä; ts. menetelmää, joka pystyisi päättämään jokaisesta negatiivisesta syötteestä, että sillä ei ole ratkaisua. Puolialgoritmit sekä positiivisille että negatiivisille syötteille voitaisiin nimittäin yhdistää yhdeksi toimivaksi algoritmiksi, joka suorittaa puolialgoritmeja rinnakkain kunnes toinen niistä antaa vastauksen. Nimi puolialgoritmi on siis hyvin perusteltu: kaksi puolikasta muodostaa kokonaisen.

Edelleen nähdään, Gödelin epätäydellisyyslauseen hengessä, että mikään äärellinen aksioomajoukko ei voi erotella negatiivisia Diofantoksen yhtälöitä positiivisista. Toisin sanoen on olemassa negatiivisia Diofantoksen yhtälöitä, joita ei ole mahdollista todistaa negatiivisiksi; niillä ei vain ilman mitään hyvää perusteltavaa syytä satu olemaan kokonaislukuratkaisua. Edellä totesimme, että yhtälöllä $2x^2 + 4xy = 7$ ei ole ratkaisua siitä hyvästä syystä, että luku 7 ei ole parillinen, mutta vastaava *ad hoc* päättely ei voi toimia yleisesti kaikille negatiivisille syötteille. Ja miksi tällaisia hankalia tapauksia on välttämättä olemassa? Ilman niitä saisimme toimivan puolialgoritmin negatiivisille yhtälöille, joka luettelee jossain järjestyksessä todistuksia, kunnes se löytää toimivan todistuksen annetulle yhtälölle. Ja kuten yllä todettiin, puolialgoritmiä ei ole negatiivisille yhtälöille olemassa, joten todistuksiakaan ei niille kaikille voi olla olemassa.

Algoritmisessa ratkeamattomuudessa viehättää sen absoluuttisuus: mikään teknologinen kehitys ei tule koskaan muuttamaan ratkeamattomia ongelmia ratkeaviksi. Kyse on hyvin perustavanlaatuisesta käsitteestä. Siinänsä ei ole yllättävää, että jotkut algoritmiset kysymykset ovat ratkeamattomia - erilaisia algoritmijahan on kuitenkin ”vain” numeroitava määrä. Hämmästyttävämpää on mielestäni kuitenkin se, että voimme matemaattisesti osoittaa monia varsin luonnollisia kysymyksiä ratkeamattomiksi.

Tason laatoituksista

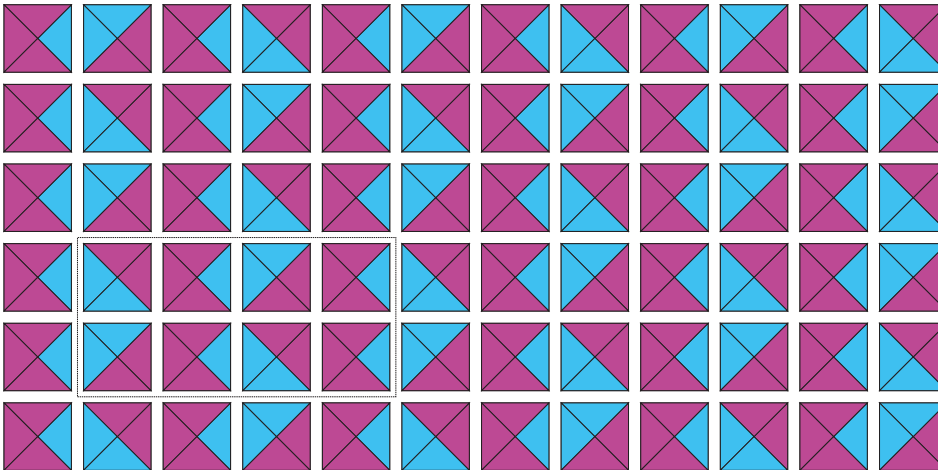
Itse olen tutkinut ratkeamattomuutta mm. soluautomaateissa ja näihin läheisesti liittyvissä tason laatoituksissa. Laatoitusten teoriaa voidaan tarkastella monesta näkökulmasta, ja laatoituksia on kovin monen tyyppisiä (enkä täällä tarkoita kylpyhuoneen kaakelointia vs. pihakivetyksiä). Laskettavuuden näkökulma helpottuu, kun unohdetaan

laattojen geometriset muodot ja keskitytään laattojen sijoittelun sisältämään informaatioon. Loogikko **Hao Wang** formuloi laatoituskysymyksiä jo 1960-luvun alussa käyttäen neliölaattoja. Wangin laatta on yksikköneliö, jonka sivut on väritetty. Laattajoukko on äärellinen kokoelma erilaisia käytettävissä olevia Wang laattoja. Laatoilla on tarkoitus laatoittaa ääretön taso siten, että vierekkäisten laattojen kohdakkain osuvien sivujen tulee olla saman väriset. Laatat toimivat siis kuin palapelin palat, joissa sivun väri määrittää naapuripalojen yhteensopivuuden.

Jokaisesta laattajoukon laatasta on käytettävissä ääretön määrä kopioita, joten laatat eivät taatusti lopu kesken. Laattoja ei saa kääntää eikä pyörittää, vaan jokainen laatta tulee asettaa siinä asennossa kuin se on laattajoukossa annettu. Esimerkiksi, jos laattajoukko sisältää kolme laattaa



niin mm. seuraava (samana äärettömyyteen toistuva) jaksollinen laatoitus on mahdollinen:



Tämä laatoitus on jaksollinen, sillä samat laatat toistuvat aina kahden yksikön välein pystysuunnassa. Laatoitus toistuu samana myös vaakasuunnassa.

Sanomme laatoitusta *jaksolliseksi*, jos jokin yhdensuuntaissiirto jättää laatoituksen muuttumattomaksi. Sanomme sitä *vahvasti jaksolliseksi*, jos tällaisia siirtoja on sekä vaaka- että pystysuunnassa. Tällöin laatoitus itse asiassa koostuu jonkun suorakulmion toistoista vaaka- ja pystysuunnassa; yo. esimerkissämme katkoviivalla merkitty 4×2 kuvio toistuu läpi laatoituksen. On varsin helppo nähdä, että jaksollisesta laatoituksesta voidaan "leikata ja liimata" -tekniikalla aina rakentaa vahvasti jaksollinen laatoitus.

Wang oli erityisesti kiinnostunut *domino-ongelmasta*, joka pyytää menetelmää, jota käyttäen voitaisiin päätellä, onko tason laatoitus mahdollista annetulla laattajoukolla. Tämä on siis algoritmisen kysymys. Wang oli hyvin tietoinen puolialgoritmista domino-ongelman negatiivisille syötteille; siis laattajoukoille, joilla tasoa ei voi laatoittaa. Hänen puolialgoritminsa yrittää laatoittaa yhä suurempia neliöitä, ja jos lopulta päädytään $n \times n$ neliöön, jota ei ole mahdollista laatoittaa, tiedetään, että kyseinen laattajoukko ei laatoita koko tasokaan. Helpohko kompaktisuus-päätelmä osoittaa, että jos kaiken kokoiset neliöt voidaan laatoittaa, niin koko ääretön tasokin on mahdollista laatoittaa. Näin ollen puolialgoritmi osaa palauttaa oikean vastauksen tarkalleen kaikilla negatiivisilla syötteillä. Mutta positiivisissa tapauksissa puolialgoritmi jatkaa loputtomasti yhä suurempien neliöiden laatoittamista eikä tiedä, milloin se voisi lopettaa ja todeta, että koko tasokin voidaan laatoittaa.

Toisaalta meillä on myös yksinkertainen puolialgoritmi niiden laattajoukkojen tunnistamiseksi, joita käyttäen taso on mahdollista laatoittaa jaksollisesti: luetellaan yksitellen suorakulmiokuvioita, kunnes löydetään kuvio, joka toimii vahvasti jaksollisen laatoituksen toistuvana kuviona. Meillä on siis käytettävissä kaksi puolialgoritmia: toinen laattajoukoille, jotka eivät laatoita tasoa lainkaan ja toinen joukoille, jotka laatoittavat tason jaksollisesti. Wang uskoi - virheellisesti, kuten osoittautui - että ne yhdessä muodostavat algoritmin domino-ongelman ratkaisemiseksi. Toisin sanoen hän monien muiden tapaan arveli, että jokaisella laattajoukolla toinen puolialgoritmeista antaisi vastauksen. Kuitenkin vuonna 1964 Hao Wangin oppilas **Robert Berger** esitti väitöskirjassaan laattajoukon, joka laatoittaa tason, mutta ei pysty laatoittamaan sitä jaksollisesti. Laattajoukkoja, joilla on tämä ominaisuus, kutsutaan *jaksottomiksi*.

Jokaisesta laattajoukon laatasta on käytettävissä ääretön määrä kopioita, joten laatat eivät taatusti lopu kesken.

Materiaaleissa molekyylit tai atomit liittyvät toisiinsa kuin kolmiulotteisen palapelin palaset.

Jaksoton laattajoukko siis pakottaa laatoitukset olemaan ilman toistuvaa jaksoa. Tällainen joukko putoaa kahden edellä kuvaillun puolialgoritmin väliin: kumpikaan niistä ei anna tällaisella syötteellä vastausta. Berger itse asiassa todisti vahvemman tuloksen: domino-ongelma on ratkeamaton!

Bergerin jaksoton laattajoukko sisältää 20426 Wang-laattaa. Oleellista toki ei ole laattojen suuri määrä vaan se, että jaksoton laattajoukko ylipäättään on olemassa. Myöhemmin keksittiin yhä pienempiä jaksottomia Wang-tiilien joukkoja. Minäkin osallistuin kisaan esittämällä vuonna 1996 uuden algebrallisen menetelmän jaksottomuuden takaa-miseksi, ja löysin 14 Wang-laatan jaksottoman joukon. Tässä laattojen värit esittävät lukuja ja laatat liittyvät luvut algebrallisesti yhteen. Näin voidaan myös antaa uusi, algebrallinen todistus domino-ongelman ratkeamattomuudelle. Hyvin pian **Karel Culik** löysi menetelmälläni vielä pienemmän 13 laatan joukon, joka pitikin ennätystä aivan viime vuosiin asti. Vuonna 2015 ranskalaiset tutkijat löysivät tietokonehakua käyttäen 11 Wang-laatan jaksottoman joukon, ja sama tietokonehaku osoitti, että pienempää ratkaisua ei ole - siis *Game Over* tämän kisan osalta.

Pienempiä jaksottomia laattajoukkoja on olemassa, jos Wang-laattojen sijaan hyväksytään monimutkaisemmat geometriset muodot. Epäilemättä kuuluisin on **Roger Penrosen** kahden laatan jaksoton joukko. Monet ovat varmaan ihailleetkin Penrosen laattoja Keskuskadun pinnassa Helsingissä.

Jaksottomat laattajoukot raivasivat tietä *kvasikiteiden* löytymiselle kaksi vuosikymmentä myöhemmin. Kideopin perinteinen oletamus oli kiteiden jaksollisuus, mutta esimerkiksi Penrosen laatoituksissa esiintyy

ilman jaksollisuutta kiteille tyypillisiä pitkän etäisyyden korrelaatioita. Vuonna 1982 **Daniel Shechtman** havaitsi vastaavan ilmiön alumiinin ja mangaanin seoksessa: aineen diffraktiokuvio oli toisaalta pistemäinen, todistaen pitkän etäisyyden korrelaatioista, mutta toisaalta kuvion kiertosymmetria oli yhteensopimaton jaksollisuuden kanssa. Tästä kvasikiteen löytymisestä Shechtman palkittiin kemian Nobelilla vuonna 2011. Nykyään kvasikiteet ovat aktiivisen tutkimuksen kohde materiaalitieteessä.

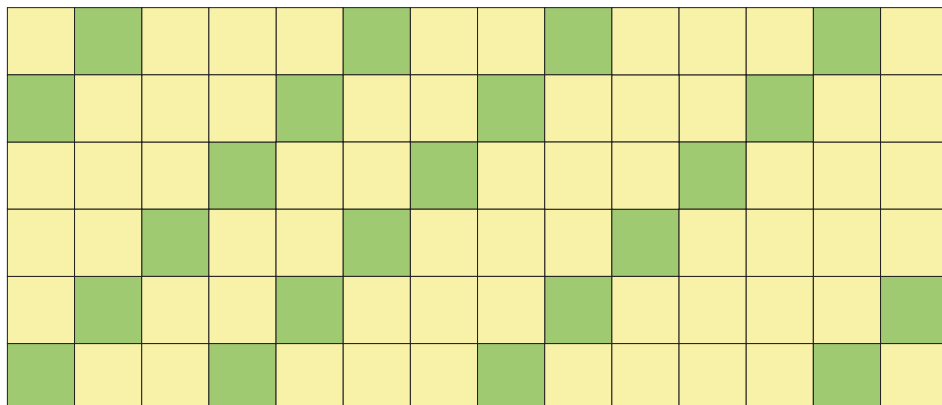
Kuviokompleksisuus

Materiaaleissa molekyylit tai atomit liittyvät toisiinsa kuin kolmiulotteisen palapelin palaset. Laatoitukset ovat vastaava - toki yksinkertaistettu - malli kahdessa ulottuvuudessa. Edellä kerroin Wang-laatoista, mutta sama teoria voidaan formuloida käyttäen *sallittuja paikallisia kuvioita*. Tässä muotoilussa laatat ovat sallittuja $n \times m$ -ruudukon värityksiä, kuvioita, joillain kiinnitettyillä luvuilla n ja m . Esimerkiksi voisimme sallia 2×2 -kuviot



Kaikki muut 2×2 -kuviot ovat kiellettyjä. Laatoitus on nyt sellainen äärettömän ruudukon väritys, eli *konfiguraatio*, jossa ei esiinny kiellettyjä kuvioita. Mihin hyvänsä kohtaan laatoitusta katsomme, näkemämme $n \times m$ -kuvion tulee olla sallittu.

Yllä olevat kuviot laatoittavat tason esimerkiksi seuraavaksi konfiguraatioksi, jossa esiintyy vain sallittuja 2×2 -kuvioita (kuvassa on toki vain äärellinen osa ääretöntä konfiguraatiota):



Jokainen Wang-laattojen joukko on mahdollista muuntaa tähän uuteen formalismiin, joten on olemassa jaksottomuuden pakottavia sallittuja kuvioita.

Vastaavasti Bergerin ratkeamattomuustuloksen perusteella ei ole olemassa algoritmia, joka päättelisi annetuista sallituista kuvioista, onko olemassa yhtäkään laillista laatoitusta, vai onko jokaisessa tason väri-tyksessä väistämättä mukana kielletty kuvio.

Uusi formulointimme vastaa ehkä kiteiden rakennetta ilmeisemmällä tavalla kuin Wang-laatoitukset. Molekyylit kiinnittyvät toisiinsa paikallisiksi kuvioiksi, ja kiteessä esiintyy vain tiettyjä, molekyyliden rakenteiden sallimia paikallisia kuvioita. Domino-ongelman ratkeamattomuus alleviivaa kiderakenteen ennustamisen vaikeutta: vaikka tiedetään mahdolliset paikalliset rakenteet, on algoritmisesti mahdotonta päätellä, muodostuuko niistä kide.

Viime aikoina olen pohtinut laatoitusongelmia ns. *matalan kompleksisuuden* tapauksissa, joissa sallittujen $n \times m$ -kuvioden lukumäärä on suhteellisen pieni, korkeintaan nm. Yllä olevassa esimerkissämme sallittuja kuvioita on 4, eli juurikin nm kappaletta. Esimerkkilaatoituksemme näillä kuvioilla on diagonaalin suuntaan jaksollinen. **Maurice Nivat** esitti vuonna 1997 otaksuman, että matalan kompleksisuuden laatoitukset ovat väistämättä aina jaksollisia.

Tämä *Nivat'n otaksuma* on yhä todistamatta. Olemme onnistuneet osoittamaan ainoastaan, että jos annetut nm kuviota mahdollistavat jonkin laatoituksen, ne välttämättä sallivat myös jaksollisen laatoituksen. Toisin sanoen, jaksottomien laattajoukkojen kompleksisuus ei voi olla näin matala. Edellä esitettyjen puolialgoritmien avulla saammekin sitten domino-ongelman ratkaistuksi matalan kompleksisuuden tapauksessa: jos syötteenä on korkeintaan nm kappaletta sallittuja $n \times m$ -kuvioita, algoritmi ratkaisee, onko laatoitus mahdollinen.

Mielenkiintoinen kysymys onkin nyt, onko kompleksisuusraja nm paras mahdollinen. Onko algoritmia, joka ratkaisee domino-ongelman tapauksissa, joissa annettuna syötteenä on vaikkapa $nm+1$ sallittua $n \times m$ -kuviota?

Lopuksi

Tie jaksottomista laattajoukoista kvasikiteiden kautta Nobelin palkintoon on hieno esimerkki puhtaan matematiikan ennalta arvaamattomista sovelluksista. Kunhan tarkasteltavat matemaattiset objektit ovat riittävän yksinkertaisia määritelmiltään, on väistämätöntä, että ne mallintavat ennemmin tai myöhemmin jotain muissa yhteyksissä käyttökelpoista tilannetta. Toinen keskeinen tutkimusaiheeni, soluautomaatit, on tästä myös hyvä esimerkki. Kun laatoitukset ovat staattisia konfiguraatioita, soluautomaatit ovat puolestaan niiden dynaamisia versioita, joissa ruudut vaihtavat värejään riippuen niitä ympäröivästä kuvioista. **John Conwayn** *Game-of-Life* on varmaan monelle tuttu esimerkki soluautomaatista. Soluautomaatit toimivat diskreetteinä malleina moninaisille luonnontieteiden järjestelmille, joissa suuri määrä yksinkertaisia osasia yhteistyössä luo kompleksisuutta. Toki tärkeintä minulle on, että soluautomaattien matemaattinen teoria itsessään on eleganttia ja täynnä hienoja todistuksia, aivan kuten laatoitustenkin teoria. •

Kirjallisuutta

Michael Baake ja Uwe Grimm. *Aperiodic Order: A Mathematical Invitation*. Cambridge University Press, 2013.

Robert Berger. The undecidability of the domino problem. *Memoirs of the American Mathematical Society* 66, 1966.

Branko Grünbaum ja G.C. Shephard. *Tilings and Patterns*. Ensimmäinen painos: W.H. Freeman, 1987; toinen painos: Dover Publications, 2016.

Jarkko Kari. A small aperiodic set of Wang tiles. *Discrete Mathematics* 160, ss. 259-264, 1996.

Jarkko Kari. Theory of cellular automata: A survey. *Theoretical Computer Science* 334, ss. 3-33, 2005.

Jarkko Kari. Low-complexity tilings of the plane. arXiv:1905.04183, 2019.

MATEMAATTINEN FYSIIKKA

Christian Webb



Minun oli varsin vaikea valita fysiikan ja matematiikan välillä, koska olin hyvin kiinnostunut kummastakin.

Tykkäsin matematiikasta ja laskemisesta ihan pienestä pitäen. Vaikka pärjäsinkin varsin hyvin matematiikassa koulussa, huomasin vasta lukiossa (joka kävin Helsingin Matematiikkalukiossa), että olen erityisen kiinnostunut matematiikasta, ja ehkä haluaisin opiskella sitä enemmänkin. Kävin lukion viimeisenä vuonna joitakin matematiikan kursseja Helsingin yliopistolla, mutta päädyin kuitenkin aloittamaan opintoni TKK:lla teknillisessä fysiikassa vuonna 2003. Huomasin, että vaikka olin hyvin kiinnostunut fysiikasta, halusin opiskella myös enemmän matematiikkaa, joten aloitin seuraavana syksynä myös matematiikan opinnot Helsingin Yliopistolla.

Opintojeni loppuvaiheessa kävin läpi erilaisia vaihtoehtoja sille mitä tekisin valmistuttuani, mutta mikään muu ei tuntunut yhtä houkuttelevalta kuin opintojen jatkaminen. Minun oli varsin vaikea valita fysiikan ja matematiikan välillä, koska olin hyvin kiinnostunut kummastakin. Fysiikan puolella olin kiinnostunut kvanttikenttäteorioista, mutta minusta vaikutti, että matematiikassa oli ehkä mielenkiintoisempia tutkimusryhmiä. Tutkituani tarkemmin mahdollisia tutkimusryhmiä pääkaupunkiseudulla, huomasin, että yksi johtavista matematiikan tutkimusryhmistä oli professori **Antti Kupiaisen** johtama matemaattisen fysiikan tutkimusryhmä Helsingin Yliopistolla. Minun onnekseni siellä oli tilaa jatko-opiskelijalle, ja aloitin siellä jatko-opintoni vuonna 2008.

Jatko-opintojen loppupuolella (väitteenlin keväällä 2013) olin melko pessimistinen

tulevaisuudestani matematiikan parissa. Koin, että vaikka sain erinomaista ohjausta, ja projektin aihepiiristä olisi voinut tehdä ensiluokkaisen väitöskirjan, olin onnistunut vain keskinkertaisesti projektissani. Lisäksi perhesyistä en voinut lähteä post dociksi ulkomaille arvostettuun yliopistoon, kuten monet tuntemani tuoreet tohtorit, joten uskoin, että joutuisin pian siirtymään muihin tehtäviin. Päätin kuitenkin, että jatkan matematiikan parissa niin kauan kuin saan post doc -paikkoja pääkaupunkiseudulta.

Vuonna 2014 siirryin Aalto-yliopiston stokastiikan ja tilastotieteen ryhmään ensin professori **Lasse Leskelän** ohjaamaksi post doc -tutkijaksi, ja sitten professori **Kalle Kytölän** ohjaamaksi post dociksi. Aallossa minusta kehittyi itsenäinen ja riippumaton tutkija. Löysin omia tutkimusaiheita, jotka herättivät kiinnostusta myös kansainvälisesti, ja päädyin tekemään yhteistyötä muutaman eri alan johtavan huipun kanssa. Tämän myötä onnistuin myös saamaan rahoitusta Suomen Akatemialta akatemian tutkijatohtorin muodossa - tämä oli minulle kriittisen tärkeää, että pystyin jatkaa tutkijana kehittymistä, ja lopulta saada tenure track apulaisprofessoruurin. Tämä professuuri oli sovelletun matematiikan apulaisprofessuuri ensin Åbo Akademiassa vuonna 2020, ja vuonna 2021 siirryin matemaattisen fysiikan apulaisprofessoriksi Helsingin Yliopistoon.

E erityisen tärkeää tutkimukseni kehityksessä on ollut sekä professori Kupiaisen ohjaus väitöskirjavaiheessa että yhteistyöni professori **Eero Saksmanin** (Helsingin Yliopisto)

kanssa - erityisesti väitöskirjani jälkeen. Kummaltaakin heistä minulle on välittynyt kuva matemaattisen monipuolisuuden tärkeydestä. Yhdeksi keskeiseksi teemaksi tutkimuksessani onkin muodostunut yritys löytää yhteyksiä näennäisesti täysin riippumattomien ongelmien välille.

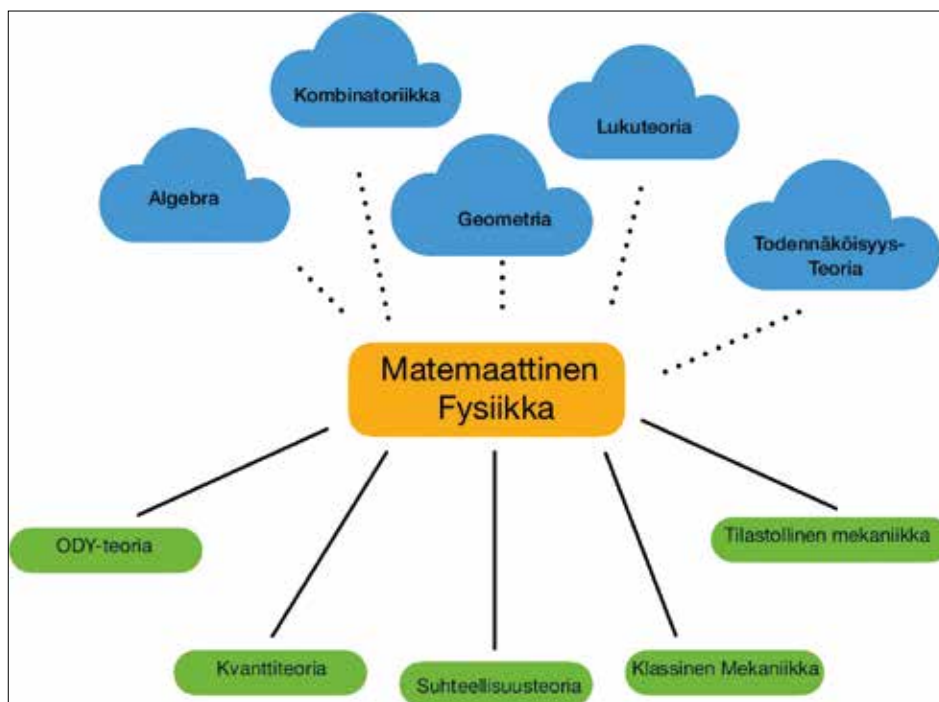
Mitä on matemaattinen fysiikka?

Oma alani on siis matemaattinen fysiikka. Eri-tyisesti olen ollut kiinnostunut kysymyksistä, jotka koskevat todennäköisyysteoriaa ja analyysiä - näistä aloista hyviä yleisteoksia ovat [3] ja [4]. Matemaattinen fysiikka on hyvin laaja ala ja sillä on yhteyksiä moniin muihin matematiikan aloihin. Karkeasti ottaen, matemaattinen fysiikka on matematiikan ala,

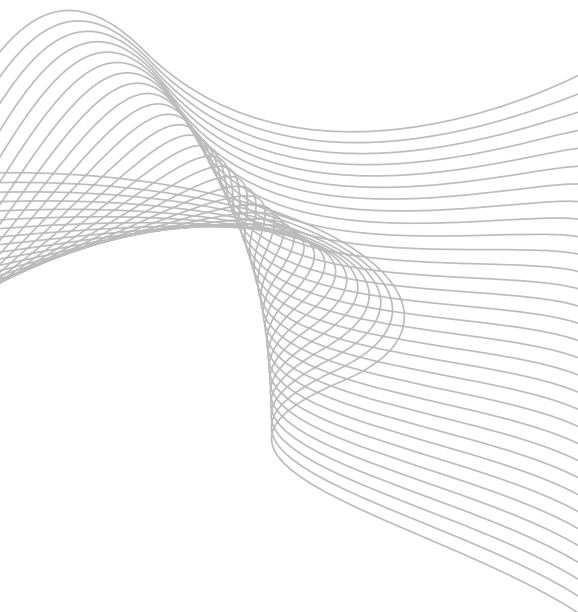
jolla pyritään tutkimaan fysiikkaan liittyviä ongelmia matemaattisen täsmällisesti. Tämä eroaa esimerkiksi teoreettisesta fysiikasta siinä, että teoreettisessa fysiikassa saatetaan käyttää approksimaatioita tai analogioita, joita ei kyetä perustelemaan matemaattisen täsmällisesti.

Perinteisiä matemaattisen fysiikan tutkimusaiheita ovat klassinen mekaniikka, osittaisdifferentiaaliyhtälöt, kvanttiteoria, suhteellisuusteoria ja tilastollinen mekaniikka. Nämä aiheet toki liittyvät tiivisti yhteen, ja modernissa matemaattisessa fysiikassa tutkitaan kysymyksiä, jotka ovat tärkeitä myös monilla muilla aloilla - esimerkiksi erilaiset analyysin, algebran, kombinatoriikan ja lukuteorian kysymykset ovat usein esillä modernin matemaattisen fysiikan tutkimuksessa.

Yhdeksi keskeiseksi teemaksi tutkimuksessani onkin muodostunut yritys löytää yhteyksiä näennäisesti täysin riippumattomien ongelmien välille.



Kuva 1. Matemaattisen fysiikan perinteiset osa-alueet, ja matematiikan aloja, jotka ovat tärkeitä modernissa matemaattisessa fysiikassa.



Usein myös vaikeimmat matemaattisen fysiikan kysymykset voivat olla hyvinkin syvällisiä kysymyksiä myös jollakin muulla matematiikan alalla. Hyvä esimerkki tästä liittyy Na-vier-Stokes-yhtälöihin. Nämä yhtälöt ovat osittaisdifferentiaaliyhtälöitä, jotka kuvaavat nesteen virtausta – eli niiden tutkiminen on hyvin perustavanlaatuinen kysymys matemaattisessa fysiikassa ja osittaisdifferentiaaliyhtälöiden teoriassa. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole kyetty osoittamaan matemaattisen täsmällisesti, että kaikilla alkuarvoilla näillä yhtälöillä on olemassa sileä ratkaisu. Tämän ongelman tärkeyttä sekä matemaattisessa fysiikassa että osittaisdifferentiaaliyhtälöiden teoriassa kuvaa, että se on nimetty yhdeksi seitsemästä Clay Mathematics Institutin Millennium-ongelmasta – kunkin ongelman ratkaisusta on luvattu miljoonan dollarin palkinto. Toinenkin näistä seitsemästä ongelmasta koskee matemaattista fysiikkaa, nimittäin kvanttikenttäteoriassa tärkeän Yang-Mills-teorian olemassaolon todistaminen.

Toinen osoitus siitä, että matemaattinen fysiikka on hyvin tärkeä osa nykymatematiikkaa, on matemaattisten fyysikoiden osuus Fieldsin mitalin palkinnonsaajista. Tämän vuosituhannen puolella tämän ”Matematiikan Nobel-palkinnon” on saanut moni matemaatikko, jota voisi kutsua matemaattiseksi fyysikoksi: mm. **Andrei Okounkov, Wendelin Werner, Stanislav Smirnov, Cédric Villani, Artur Avila ja Martin Hairer**.

Vaikka läheinen yhteys fysiikkaan ja luonnon perimmäisen olemuksen ymmärtäminen oli se, mikä sai minut kiinnostumaan matemaattisesta fysiikasta, nykyään arvostan alassa eniten sen monipuolisuutta. Saan jatkuvasti opetella jotain täysin uutta, ja tutkimusprojektini saattavat koskea (ainakin näennäisesti) aivan riippumattomia asioita.

Olen tutkinut esimerkiksi analyyttisessä lukuteoriassa tärkeää **Riemannin** zeta-funktiota [5] (tutkimme **Eero Saksmanin** kanssa, kuinka tämä funktio käyttäytyy satunnaisen pisteen ympäristössä), suuria satunnaismatriiseja [2] (osoitimme **Tom Claeysin, Benjamin Fahsin ja Gaultier Lambertin** kanssa, että tiettyjen satunnaismatriisien satunnaiset ominaisarvot eivät voi poiketa tietyistä deterministisistä arvoista kovinkaan paljoa) sekä kvanttikenttäteorioita [1] (osoitimme **Roland Bauerschmidtin** kanssa, että tietyllä parametriarvolla bosoninen kvanttikenttäteoria, joka tunnetaan sine-Gordon mallina, on eräässä mielessä ekvivalentti fermionisen kvanttikenttäteorian kanssa).



Kuva 2. Esimerkki logaritmisesti korreloituneesta satunnaiskentästä. Tällaisia satunnaiskenttiä esiintyy lukuteoriassa, satunnaismatriisien teoriassa ja tilastollisessa mekaniikassa.

Hämmästyttävintä minulle on, että näissä eri ongelmissa on kuitenkin paljon yhteistä, ja yhdessä projektissa oppimani asia saattaa osoittautua hyödylliseksi jossain aivan muualla. Toinen matemaattisen fysiikan hienous on sen laajuus – jos kyllästyn yhteen aiheeseen, voin siirtyä johonkin aivan muuhun. Tällä hetkellä olen erityisen kiinnostunut palaamaan kvanttikenttäteorian opiskeluun, mutta minulla on myös suunnitelmassa opiskella jotain hieman soveltavampaa ja opetella paremmin käyttämään numeerisia menetelmiä - matemaattisessa fysiikassa on monia kysymyksiä, jotka ovat yksinkertaisesti liian vaikeita juuri nyt, ja myös simulaatiot ovat hyödyllisiä. •

Viitteet

1. R. Bauerschmidt and C. Webb. The Coleman correspondence at the free fermion point. Preprint: arXiv:2010.07096.
2. T. Claeys, B. Fahs, G. Lambert, and C. Webb. How much can the eigenvalues of a random Hermitian matrix fluctuate? *Duke Math. J.* **170**(9): 2085–2235. (Preprint: arXiv:1906.01561).
3. O. Kallenberg. Foundations of modern probability. Third edition. *Probability Theory and Stochastic Modelling*, 99. Springer, Cham, 2021.
4. M. Reed and B. Simon. Methods of modern mathematical physics. *IV. Academic Press*, New York – London.
5. E. Saksman and C. Webb. The Riemann zeta function and Gaussian multiplicative chaos: statistics on the critical line. *Ann. Probab.* **48**(6): 2680–2754 (Preprint: arXiv:1609.00027).

Matemaattisen fysiikan hienous on sen laajuus – jos kyllästyn yhteen aiheeseen, voin siirtyä johonkin aivan muuhun.

TUTKIMUSMATKA SUOMALAISEEN FYSIIKAN TUTKIMUKSEEN

Mitenkä Suomessa luonnosta tieteillään? Kysymys on mainio, mutta pari kuukautta sitten en olisi ehkä siihen osannut vastata. Toteutin kuitenkin viime kuukausina suuren tutkimusmatkan, jossa kartoitin fysiikan kenttää melko laajasti. Seuraava teksti esittää parhaani mukaan raapustamani kartan yksiulotteisessa muodossa.”

Yhtä suurta hanketta, Helsinki Institute of Physics, lukuun ottamatta suurempi kartta hyppii maantieteellisesti melko vähän. Otetaan nyt alkuun kuitenkin pikainen katsaus saatuihin havaintoihin:

Ensinnäkin varsin yllättävää oli, kuinka paljon fysiikan tutkimusta Suomessa tapahtuu. Tutkimusryhmiä löytyy varsin kiitettävä määrä kahdeksasta yliopistosta, sekä kourallisesta ulkopuolisia tutkimuslaitoksia. Toki ongelmaksi koosteessa on koitunut määrittää raja fysiikan ja etenkin tekniikan tutkimuksen välille, koska jälkimmäinen on vain sovellettua ensimmäistä.

Isoimpana yllätyksenä matkalla tuli se, että materiaalfysiikkaa tutkitaan ja paljon – lähes jokaisesta yliopistosta löytyy useampia materiaalfiysikkoryppäitä. Yksi osasy on varsin ymmärrettävä: teollisuus elää erilaisista aineista, joten taloudelliselta puolelta löytyy vahvaa tahtoa edistää tutkimusta. Aineiden puolella törmää varsin usein tällä hetkellä suuressa nosteessa olevaan grafeeniin, sekä muihin hieman kummallisempiin hiilen esiintymismuotoihin. Noste toki on tässä yhteydessä varsin huono termi, koska kaksiulotteinen grafeeni syrjäyttää varsin vähän ympäröivää ainetta.

Optiikkaa ja fotonikkaa, valon tutkiskelua, toteutetaan keskitetympin etenkin Tampereen ja Itä-Suomen yliopiston voimin – vaikka toki muualtakin löytyy näihin ryhmiä. Joensuussa fysiikka tieteenalana on jopa pistetty kokonaan fotonikan tutkimuslaitoksen alle.

Etenkin Helsingin, Turun, Oulun ja Aalto-yliopiston yhteistyönä tapahtuu paljon avaruuden tutkimusta. Mukana puuhissa on usein myös Ilmatieteen laitos. Suomalaiseen tapaan

puheenaiheeksi nousee usein sää, mutta nyt pitää tarkentaa avaruussäähän. Kauempaan avaruuteen tapahtuva havainnointi toteutetaan lähinnä suurempien kansainvälisten yhteistyöhankkeiden kautta, ja Suomella on oma osuutensa havaintojen tulkinnasta.

Hiukkasfysiikka ja ydinfysiikka painottuu Helsinki-Jyväskylän akselille, jokseenkin tuossa järjestyksessä. Tästä tulee varsin pian tarkempaa selvitystä.

Kosmologia pyrkii soveltamaan kauemmas ulottuvan avaruusfysiikan sekä havaintoja selittäessään, miten tähän tilanteeseen nyt sitten tarkalleen ollaan päädytty. Suomalaisilla on suurennuslasin alla esimerkiksi maailmankaikkeuden ihmeellinen hurahdus erittäin pienestä huomattavan vähemmän erittäin pieneksi.

Jos sanan eteen laittaa sanan kvantti, se kuulostaa hienommalta. Kvanttifysiikan kvanttitutkimusta Kvantti-Suomessa kvanttitoettaa vahvasti etenkin Aalto-yliopisto, jonka tutkimus esimerkiksi kehittää kvanttietokoneita. Tutkimus menee toki etenkin täällä paljolti teknologian rajapinnalle, mutta tämä teknologia on erittäin vahvasti suoraan naimisissa fysiikan kanssa.

Viimeaikaisista suomalaisista fysiikan hi-teistä löytyy kvanttilomittuneita rumpuja ja neutronitähtien kvarkkiainetta, mutta suurin osa tieteen kehityksestä tapahtuu pienissä määrissä poissa parrasvaloista. Suomalaiset tutkimusryhmät vierailevat toisinaan lehti-otsikoissa, mutta erityisen merkittävää on vahva läsnäolo merkittävässä kansainvälisissä projekteissa ja julkisen huomion ulkopuolelle jäävät jatkuvat pienet askelet kohti hieman parempaa ymmärrystä. Sitähän se suurimmalta osin on.



Suomalaisilla on suurennuslasin alla esimerkiksi Maailmankaikkeuden ihmeellinen hurahdus erittäin pienestä huomattavan vähemmän erittäin pieneksi.



Helsinki Institute of Physics

Fysiikan perustutkimus on edennyt viime vuosisatoina sellaiseen vaiheeseen, että esimerkiksi hiukkasfysiikan pohjimmaisten teorioiden kokeellinen todentaminen – tai Karl Popperin hengessä kumoaminen – ei tapahdu enää kotoisissa pikkulaboratorioissa. Eksoottisempien hiukkasten ominaisuuksien määrittäminen vaatii ensiksi näiden hiukkas-ten syntyä, mihin tarvitaan korkeaenergisii törmäyksiä. Mikäli näiden törmäysten tuotok-ista halutaan tietääkin jotakin, tarvitaan huomattava määrä tarkkoja sensoreita ja kykyä yhdistellä sensoreilta saatu data. Jotta merkityksetön datajoukko muuttuu tieteellistä teoriaa tukevaksi tai heikentäväksi näytteeksi, täytyy tietää, mitä mikäkin teoria oikeastaan ennustaa tällaisessa tilanteessa, mikä ei ole aivan yksinkertaista tämän päivän teorioiden kanssa.

Jo näin paljon yksinkertaistettuna prosessi vaatii järkyttävän määrän työtä, minkä vuoksi maailman perustavanlaatuisimmat kokeet ovat valtavia kansainvälisiä yhteistyörupeamia. Lukija todennäköisesti arvaakin, mihin ollaan menossa. Keski-Euroopassa on maan alla 27 kilometriä pitkä, kylmä, ympyrän muotoinen putki, jossa kulkee protoneja, ja joskus myös raskaampia ytimiä, melko haipakkaa. Putken nimi on Large Hadron Collider (LHC), eli hieman vapaammin suomennettuna Suuri Hadroninröysäyttävä. Putken on maan alle pykännyt Eurooppalainen Ydinfysiikan Tutkimusorganisaatio CERN, jonka jäsenmaista yksi on Suomi.

Suomen osallistuminen CERNin tutkimukseen on pistetty Helsinki Institute of Physicsin, lyhyemmin HIP, vastuulle. Nimi

on historiallisia peruja 1990-luvulta. Nykyään tutkimuslaitokseen kuuluu Helsingin yliopiston, Aalto-yliopiston ja Säteilyturvak-keskuksen lisäksi pääkaupunkiseudun ulko-puolelta Jyväskylän ja Tampereen yliopistot sekä Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. HIPin johtajana toimii tällä hetkellä **Katri Huitu**, ja tutkimuskohteet ulot-tuvat muuallekin kuin CERNiin.

CMS

Palatkaamme hadroninröysäytinputkeen. LHC:n varrella on neljä ilmaisinasemaa, joissa vastakkain kulkevia hiukkaskimppuja asetetaan törmäyskurssille. HIP osallistuu näistä kahden tutkimukseen: Compact Muon Solenoid (CMS) ja A Large Ion Collider Experiment (ALICE). Suomalaisen läsnäolo CMS:n toi-minnassa on sen verran merkittävä, että yksi HIPin neljästä laajemmasta ohjelmasta, CMS Programme, on omistettu kokonaan kokeelle ja sen ympärillä tapahtuvalle toiminnalle. Ohjelmaa johtaa **Kenneth Österberg** Helsingin yliopistosta.²

Helsingin yliopiston **Mikko Voutilaisen** johtama projekti osallistuu suoraan CMS-ko-keeseen. Vaikka CMS:ssä ei ole vuoden 2018 jälkeen räsähdellyt protoneja tai lyijy-ytimiä, edellisen ajokerran data-analyysi jatkuu. Suomalaisilla on merkittävä osuus esimerkiksi Jet Energy Correctionissa. Kun kvarkit eroavat törmäyksen pakottamina kolmen eri värin yhdistelmistään, täytyy syntyä uusia kvarkkeja, joihin tuoreet sinkkukvarkit voivat liittyä. Näin kaikki lopulliset kvarkkiyhdistelmät ovat värittömiä. Tämän kvarkkipariutumisen ja -kolmikoitumisen myötä törmäyksissä syntyy ”jet”-nimellä ristittyjä hiukkasryöppyjä.



Antti Asikainen on Mikkelin lukion ensimmäinen opiskelija, joka pääsi MIT:hin. Kuva Aino Asikainen.

Kokeissa saavutetun datan analysointi vallalla olevien teorioiden valossa vaatii huomattavan määrän numeerista laskentatehoa, jota CERNin jäsenmaat tuottavat. Suomen laskentatehotarjonnasta CMS-kokeen kohdalla vastaa Tier-2 projekti, jota johtaa **Tomas Lindén**. Laskentaa tapahtuu CSC IT Center for Data Science Ltd.:n ja NeIC Nordic Data Group Facilityn laitteilla.²

Kuten sanottua, hiukkasten törmäyttely on tällä hetkellä huoltokatkolla. Aikaväly on käytetty myös CMS-ilmaisimen kohdalla hyödyksi. LUTin **Panja-Riina Luukan** johtama CMS Upgrade project on hoitanut esimerkiksi sisimmän pikseli-ilmaisimen päivitystä. Törmäyksien taajuuden on suunniteltu kasvavan huomattavasti 2020-luvulla, joten ilmaisimien täytyy vastata edellistä tarkempiin mittausvaatimuksiin.

Ilmaisimien valmistettiin Suomessa Advacam Oy:n toimesta ja laadunvarmennustestausta on tehty Helsingin yliopiston Detector Laboratoryssa. Valtavasta säteilymäärästä selviämistä varten ilmaisimen säteilynkkestävyyttä on tutkittu Säteilyturvakeskuksessa.²

CMS:n yhteydessä on myös välineistö TOTEM-kokeeseen. Nimi juontuu varsin ilmiselvästi sanoista: "TOTAl cross section, Elastic scattering and diffraction dissociation Measurement at the LHC". CERNissä tutkitaan hiukkasfysiikan lisäksi sitä, kuinka kaukana lyhenne voi olla alkuperäisestä nimestä. TOTEMin tarkoitus on kartoittaa, missä tapauksessa ja miten kaksi hiukkasta tarkemmin ottaen törmää, koska kysymys itsessään ei ole niin yksinkertainen kuin vaikkapa arkimailman autokolarissa. Kyseessä on sen sijaan todennäköisyyksiin perustuva tapahtuma, missä törmäystä saattaa välittää useampikin mekanismi.

Havaintojen perusteella on lähiaikoina päätelty esimerkiksi odderon-hiukkasjoukon olemassaolo törmäyksiä välittämässä. TOTEMin ilmaisimia päivittäessä HIP on ollut mukana sekä hankinnassa, laadunvarmistuksessa että ohjelmoinnissa. HIPin projektia TOTEMissa johtaa Kenneth Österberg.²

Ydinaineohjelma

Mitenkäs sitten se ALICE? Raskaiden ionien rysäyttämiseen painottuva koe menee HIPin taksonomiassa Nuclear Matter Programmen, eli ydinaineohjelman alle. Ohjelmaa johtaa Jyväskylän yliopiston **Ari Jokinen**. Ydinaineohjelma ylipäättään painottuu hyvin vahvasti Jyväskylän yliopistoon.

ALICE-projektia Suomen osalta johtaa **Samu Räsänen** Jyväskylän yliopistosta. ALICE:n pääpaino on lyijyssä, törmäyksissä joko toisen

lyijyn tai protonin kanssa. Ydinten törmätessä paine ja lämpötila ovat riittävän korkeat, jotta kvarkit unohtavat hetkeksi aiemmin mainitun absoluuttisen vaatimuksen värittömyydestä. Protonit, neutronit ja mesonit hajoavat rakennusosasiinsa. Tällöin vapautuneet kvarkit ja gluonit muodostavat kvarkki-gluoniplasmaa. Tällainen aineen olomuoto vallitsi pian alkuräjähdyksen jälkeen, joten tutkimuksella on suora vaikutus kosmologiaan. Jotta kvarkki-gluoniplasman käyttäytymistä voidaan teoreettisesti ennustaa, täytyy tuntea sen ominaisuuksia. HIP on viime aikoina ollut mukana analysoimassa koedatasta aineen viskositeettia.

ALICE:n laitteiston kehittäminen on myös tärkeä osa projektia. Tästä tuoreimpana esimerkkinä on Jyväskylän yliopiston johtama Fast Interaction Triggerin eli FITin toteuttaminen. Liipaisimen avulla ALICE:n ilmaisimilla on riittävä nopeus vastata ensi vuonna alka-vaan korkeampaan törmäystahtiin.²

Nuclear Matter Programmen alle osuu myös CERNin ISOLDE-kokeeseen osallistuva projekti, jota johtaa Jyväskylän yliopiston **Janne Pakarinen**. Isotope mass Separator On Line DEvice tuottaa suuria määriä erilaisia ytimiä ampumalla protoneja tarkoin valittuihin maaliaineisiin, ionisoimalla syntyneet atomit ja erottelemalla ionit massan ja varauksen suhteen avulla.

HIPin tutkijat ovat olleet muun muassa mukana tutkimassa Tallium-186-isotoopin viritystiloja tutkimalla sen hajoamista. Tutkimuksessa käytettiin apuna SPEDE-elektronispektrometriä, joka on isoilta osin Jyväskylän yliopiston aikaansaannosta. On hienoa, että Atlaksen ja Isolden tavoin myös suomalaisen taruston hahmot ovat edustettuna laitteiston nimissä. HIPin tutkijat ovat olleet mukana myös epäsymmetristen, eli ihanan vakavasti "päärynämuotoisten" Radon-ydinten havainnoissa.²

Siirryttäen sitten ainakin hetkeksi pois CERNistä. Toinen kansainvälinen yhteistyö, jossa HIP on mukana, on Saksassa rakenteilla oleva Facility for Antiproton and Ion Research in Europe eli FAIR. FAIRissa tuotetaan uusia ytimiä törmäyttämällä raskaita ioneja ja anti-protoneja. HIPin FAIR-projektin johdossa on Jyväskylän yliopiston **Tuomas Grahn**.

Yksi isoista FAIRin tehtävistä on aineen isotooppien ominaisuuksien kartoitus. HIPin porukan vastuulla on kaksi aluetta isotooppi-
taulukosta: tina-100-iona neutroniluvultaan pienemmät, sekä isotoopit, joiden neutroniluku on lähellä 126:tta. Tina-100-ionin lähi-
maastossa erityisen kutsuttavia ovat ytimet, joissa on protoneja ja neutroneja saman ver-
ran ($N=Z$). Symmetriasta johtuen näiden ydin-

ten rakenne on ydinfysiikassa suuri mielenkiinnon kohde.²

Teoriaohjelma

HIPin tutkimukseen sisältyy myös täysin teoreettinen puoli. Projektit on jaettu Jyväskylän, Helsingin ja Tampereen yliopiston välille, ja kattavat kaikkea inflaatiokosmologiasta kvanttikromodynamiikkaan ja topologisen aineen tutkintaan. Teoriaohjelmaa johtaa **Kari Rummukainen** Helsingin yliopistosta.²

Palataan erittäin korkeaenergiisiin törmäyksiin, joita esimerkiksi CERNissä tutkitaan. Näissä energialukemissa tapahtuvien prosessien ymmärrys on harvemmin suoraan sovellettavissa mihinkään teolliseen tuotteeseen. Kyse on lähinnä teoreettisesta tutkimuksesta, jonka pohjimmaisena tarkoituksena on selvittää universumin todellista luonnetta. Yhdessä fysiikan alassa korkeaenergistien prosessien ymmärrys on kuitenkin välttämätöntä: kosmologiassa. Varhaisessa maailmankaikkeudessa vallitsi valtavat paineet ja lämpötilat, jolloin erittäin korkean energian vuorovaikutukset olivat arkipäivää. Tässä kohtaa pitää tuki muistaa, että kosmologia on samalla tavoin ala, jonka arvo, ainakin toistaiseksi, tulee puhtaasti ihmiskunnan ymmärryksen kasvattamisesta.

HIPin teoreettista kosmologiaprojektia johtaa **Sami Nurmi** Jyväskylän yliopistosta. Yksi projektin tutkimuskohteista on hiukkasfysiikan teoreettinen käyttö kosmisen inflaation tutkimuksessa. Kyseessä ei siis ole banaanin hinnan nousu, vaan vastasyntyneen universumin onnistunut pyrkimys olla jotakin suurempaa. Maailmankaikkeus laajeni paljon, ja nopeasti. Laajennuksen aiheuttava syy on kuitenkin vielä hyvin epäselvä, ja seuraukset samoin hämärän peitossa. Viime vuonna Nurmen johtama ryhmä on tarkastellut esimerkiksi teoriaa, jonka mukaan Higgsin kenttä voisi olla inflaation aiheuttaja. Merkittävimmät havainnot menevät kuitenkin seurausten puolelle: kenttä pystyi aiheuttamaan pienen skaalan epätasaisuuksia, jotka laajenemisen myötä omaksuivat suuremman mittakaavan. Ryhmän laskujen mukaan näin käy mustien aukkojen kohdalla yhden inflaatioteorian mukaan.

Kosmologiaprojektin alle osuu myös pimeän aineen tutkimusta. Laskelmien mukaan galakseissa pitäisi olla enemmän massaa kuin taivaankannen suora tähyäminen antaa ymmärtää. Massa pitäisi polkaista jostakin, ja Nurmen projekti tutkii, voisivatko ennen inflaatiota muodostuneet, ja inflaation myötä universumiin levittyneet mustat aukot selittää ongelman ainakin osittain.²

Toinen teoriaohjelman alle asetettu projekti on **Aleksi Vuorisén** johtama: ”High Energy Phenomenology in the LHC Era” -projekti. Fysiikan fenomenologiaa ei tule sekoittaa filosofiseen näkemykseen, joka painottaa kokemuksen merkityksestä. Sen sijaan kyseessä on teorioiden seurausten selvittämistä erinäisiin tilanteisiin.

Yksi projektin merkittävistä viimeaikaista havainnoista liittyy neutronitähtiin; erittäin tiiviisiin kappaleisiin, joista ei ihan löytynyt sitä jotain erityistä, mitä mustilta aukoilta vaaditaan. Hyvänä puolena on, että neutronitähtiä on paljon helpompi havainnoida ulkopuolelta. Projektin tutkijat olivat mukana antamassa teoreettista näyttöä sille, että suurimpien neutronitähtien ydin on erittäin todennäköisesti kvarkkiainetta. Kyseessä on ainetta, jossa korkea paine on vapauttanut hiukkaset väritysvaativuorovaikutuksesta. Jos tämä kuvaus kuulostaa tutulta, hyvä. Aiemmin mainittu kvarkki-gluoniplasma on yksi esimerkki kvarkkiaineesta. Neutronitähtien kohdalla kyse on kuitenkin paljon kylmemmästä variantista.

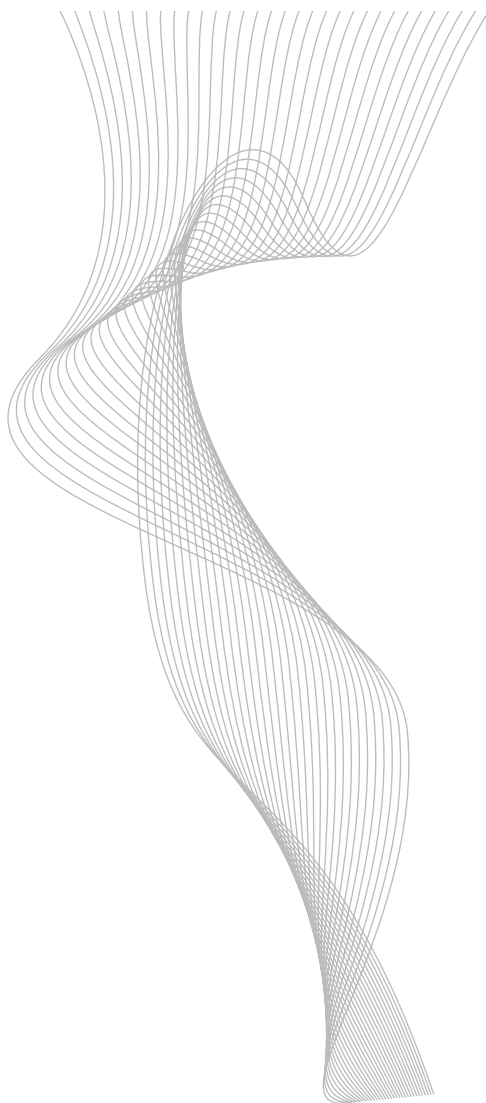
High Energy Phenomenology -projektiin kuuluu myös muuta teoreettista tutkimusta vahvaan vuorovaikutukseen liittyen. Ryhmä on esimerkiksi ennustanut kvarkkiaineen viskositeettia sekä lämmön- ja sähköjohtavuutta.²

Hyvin samoissa piireissä, vahvan vuorovaikutuksen parissa, pyörii Jyväskylän yliopiston **Tuomas Lapin** johtama ”QCD and Strongly Interacting Gauge Theory” -projekti. Ryhmä tuottaa teoreettista tulkintaa niin LHC:n kuin Brookhavenissa sijaitsevan Relativistic Heavy Ion Colliderin tutkimukseen, sekä auttaa teoriapuolessa tulevien CERNin ja Brookhavenin suunnitteilla olevissa kiihdyttimissä.

Projektin hampaissa on teoreettinen puoli siitä, mitä TOTEMissa testataan kokeellisesti: miten hiukkaset ovat esimerkiksi protoneissa sijoittuneet, ja miten tämä jakauma ilmenee törmäyksissä. Törmäyksiä mallinnetaan partoneiksi ristityillä osilla. QCD-projekti on muodostanut partonien jakaumaa kuvastavan EPS09-funktion, jota on lainattu yli tuhat kertaa muissa julkaisuissa. Projektin alla on myös kvarkki-gluoniplasman ominaisuuksien kartoittamista teoreettisesti.²

Teoriaohjelman neljäntenä projektina on Tampereen yliopiston **Teemu Ojase**n johtama ”Designer Topological Matter”. Vanhan vitsin myötä monelle ensimmäinen mielikuva topologiasta lienee se, että kahvikuppi on donitsi. Topologiassa ei puhuta lainkaan mittakaavoista, pelkästään rakenteista. Johtuen energian kvantittumisesta, eli vain tiettyjen

Fysiikan fenomenologiaa ei tule sekoittaa filosofiseen näkemykseen, joka painottaa kokemuksen merkityksestä.



arvojen saavuttamisesta, tietyt ominaisuudet säilyvät, kunhan rakenteiden pääpiirteiset muodot eivät muutu. Aineita, joille tämä pätee, kutsutaan topologisiksi aineiksi.

Erilaisilla topologisilla aineilla on monia jännittäviä ominaisuuksia. Yksi näistä on suprajohtavuus. Ojasen projekti, yhdessä Aalto-yliopiston kokeellisten fyysikoiden kanssa, onnistui toteuttamaan ja havaitsemaan kaksiulotteista suprajohtavuutta. Projektiin sisältyy kokeiden selittämisen lisäksi puhtaasti teoreettista uusien aineiden etsintää.²

Technology programme

HIPin neljäs pääohjelma on teknologia-ohjelma, jota johtaa Helsingin yliopiston **Filip Tuomisto**.

Tampereen yliopiston **Roel Pietersin** johtama "Robotics and AI for Monitoring and Intervention" etsii ratkaisuja kahteen eri ongelmaan. Ensimmäinen ongelma on, että ALICE:n ilmaisinten kuntoa on hirmuisen hankala tarkistaa. Tähän vaivaan projekti valmistaa nauhamaista robottia, joka kykenee pujottelemaan ilmaisinten välissä vaivatta ja toteuttamaan tarkastukset ilman vaatimusta purkaa ilmaisimia näkyville. Toinen ongelma on, etteivät robotit yleensä tiedä mihin tarttua. Tätä ratkotaan tekoälyn keinoin.²

Hiukkasia törmäyttävän putken ei aina tarvitse olla ympyrä. Hyviä puoli ympyränmuotoisessa kiihdyttimessä on kyky potkaista hiukkasiin hiukkasen lisää vauhtia useammalla ohituskierröksellä. Haittapuolia on synkrotronisäteilynä tunnettu ilmiö: kiihtyvässä liikkeessä olevat varatut hiukkaset säteilevät energiaa pois putkessa viuhuessaan. Säteilynä menetetty teho kasvaa vauhdin kasvaessa. Liike-energia kasvu vauhdin myötä on hukatehon kanssa yhtä suurta, mutta liike-energia on myös suoraan verrannollinen massaansa. Tämän vuoksi LHC:n kaltaiset laitokset toimivat paremmin elektronia huomattavasti raskaampien protonien kiihdyttämisessä; potkuista saadaan jotain irtikin.

Entä, jos haluaa sitten törmäyttää elektroneja ja niiden antihhiukkasia, positroneja? Kannattaa pitäytyä maltillisemmissa energioissa, tai sitten hankkia mutkattomampi kiihdytin. CERNissä on valmisteilla jälkimmäinen: CLIC, eli Compact Linear Collider.

Koska hiukkaset kulkevat kiihdyttimen läpi vain kerran, niitä täytyy potkia lujaa, jotta törmäyksissä päästään korkeisiin energioihin. Potkiminen tehdään suurilla sähkökentillä, jotka taas aiheuttavat salamointia. Tällaisia sähkökentän läpilyöntejä tapahtuu myös kiih-

dyttimen verrattain hyvässä tyhjiössä, mikä haittaa kiihdyttimen toimintaa. Tähän ongelmaan pyrkii vastaamaan Helsingin yliopiston **Flyura Djurabekovan** johtama "Accelerator Technology: Materials" -projekti. Ryhmän tutkimuskohteena on, miten sähkökenttiä luovien radiotaajuuskammioiden materiaalit vaikuttavat läpilyöntien yleisyyteen.²

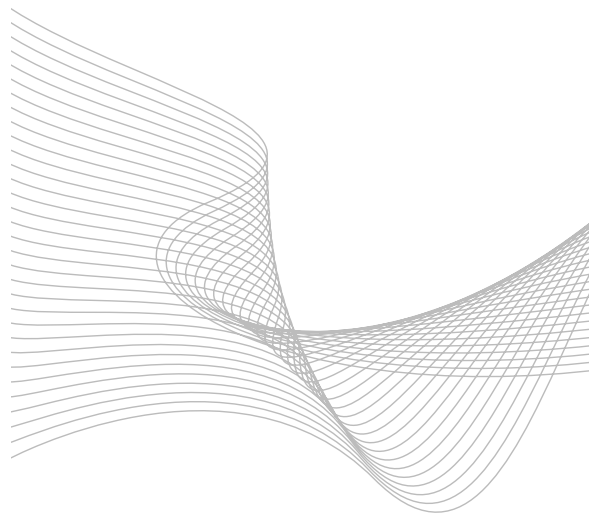
Tietokonekerroskuvaus on laajalti käytetty tapa selvittää ihmiskehon rakenne laskemalla jokaisen kohdan kyky vaimentaa röntgensäteilyä. Huono puoli metodissa on, että selvittämistä varten sitä röntgensäteilyä pitää kohdistaa kehoon. Mitä tarkempi kuva halutaan, sitä enemmän, ja useammasta kohdasta, säteilyä pitää tuutata kehon läpi. Säteilyturvakeskuksen **Teemu Siiskosen** johtama "Radiation Metrology for Medical Applications" (RADMED) pyrkii kehittämään keinoja minimoida säteilyannos ilman, että diagnoosit kuitenkaan menevät mönkään. Projekti hyödyntää hiukkaskiihdyttimien ilmaisimiksi kehitettyjä tarkkoja fotonintunnistimia.

Toinen säteilyturvallisuuden parissa toimiva projekti on **Peter Dendoovenin** johtama "Radiation Safety Research and Development" (RADAR). Tässä vaiheessa en edes tiedä, onko nimen tarkoitus olla lyhenne annetuista sanoista. Säteilyturvakeskuksen GOSSER II -projektin tavoitteena on ydinjätteen loppusijoitus. Loppusijoitusta varten halutaan tarkat tiedot sijoitettavasta jätteestä. Tiedon keräämiseen HIP osallistuu kahdella menetelmällä: jätteen gammasäteilyn mittaamisella (PGET) sekä neutronisäteilyn mittaamisella (NPAR). Dendoovenin projektiin sisältyy myös ilman radioaktiivisuuden mittausta sekä gamma-säteilykuvantamista.

Kolmas säteilyturvallisuusprojekti on "Radiation Detection for Safety, Security and Safeguards (RADSAFE)", jota johtaa **Paul Greenlees** Jyväskylän yliopistosta. Ryhmä laajentaa tutkimuskäyttöön luotuja säteilymittaustapoja yleisempään käyttöön. Tavoitteena on laajentaa säteilyturvallisuutta vaativien toimijoiden turvaverkkoa siten, että käytössä on useampi mittaustapa.

René Bès Helsingin yliopistosta johtaa "X-Ray Spectroscopy for Materials in Extreme Conditions (XTREME)" -projektiä. Kaksi tapaa aineen ominaisuuksien kartoittamiseen on mitata, minkä taajuista säteilyä se absorboi tai lähettää paljon. Röntgenaaltotaajuuksilla näitä menetelmiä kutsutaan nimillä X-ray absorption spectroscopy (XAS) ja X-ray emission spectroscopy (XES). XTREME kehittää näiden menetelmien käytettävyyttä olosuhteissa, joissa on paljon säteilyä.

Tietokonekerroskuvaus on laajalti käytetty tapa selvittää ihmiskehon rakenne laskemalla jokaisen kohdan kyky vaimentaa röntgensäteilyä.



Muut projektit

HIPin tutkimukseen kuuluu muutama muikin projekti, jotka eivät ole mukana missään suuremmassa ohjelmassa. Yksi niistä on CLOUD eli Cosmics Leaving Outdoor Droplets, jota johtaa **Markku Kulmala** Helsingin yliopistosta. Projekti pyrkii selvittämään, miten kosminen taustasäteily vaikuttaa ilmakehän ilmiöihin. Ionisoiva säteily esimerkiksi aiheuttaa tiivistymistä ja jääkiteiden muodostusta ilmassa. Projekti tutkii ilmiöitä laboratorioolosuhteissa, tarkoituksenaan selvittää sitä kautta suuren mittakaavan käyttäytymistä.²

Hetki sitten puhuin siitä, miten universumissa pitäisi olla enemmän ainetta pitämässä galakseja kasassa. Suuremmassa mittakaavassa edessä on kuitenkin täysin päinvastainen ongelma: galaksien loitoneminen toisistaan kiihtyy selittämättömällä tavalla. Vastaukseksi on kehitetty pimeä energia, joka aiheuttaa loitonemisen kiihtymistä. Jotta pimeän energian luonteesta voidaan arvailla enempää, täytyy loitonemisen luonne selvittää mahdollisimman tarkasti. Tähän tehtävään on valjastettu European Space Agency (ESA) ensi vuonna kiertoradalle ampuma Euclid-luotain. HIPin vastuu luotaimessa on lähinnä data-analyysipuolella: kerätystä datasta muodostetaan funktio, joka kuvaa galaksien sijaintien avaruudellista jakaumaa. HIP pitää viime kädessä huolen, että funktion muodostava koodi toimii, kuten pitää. Lisäksi toteutetaan rankkaa lukujen murskaamista IT Center of Sciencen koneilla Kajaanissa.²



HELSINGIN YLIOPISTO

Helsingin yliopisto

HIPin lisäksi Helsingin yliopiston fysiikan laitoksen tutkijoita osallistuu esimerkiksi Suomen Akatemian sekä vaatimattomasti nimetyn Finnish Center for Excellencen projekteihin. Kumpulalaisten kiinnostus keskittyy eritoten avaruuteen, materiaaleihin sekä aiemmin paljolti käsiteltyihin kosmologiaan ja hiukkasfysiikkaan.

Avaruuden lähes täydellisessä tyhjiössä on varsin vähän liikettä vastustavia voimia. Tämän takia, jos satut pääsemään maata kiertävälle radalle ilmakehän yläpuolella, olet maata kiertävällä radalla. Viimeisen noin 60 vuoden aikana on pistetty paljon tavaraa kiertoradalle, joten avaruusromu alkaa koitua ongelmaksi.

Olisi melko hyvä, jos laitteet saataisiin pois radaltaan elinkaarensa lopussa.

Helsingin yliopiston avaruusfysiikan ryhmä johtaa "Finnish Centre of Excellence in Research of Sustainable Space"-projektia, joka pyrkii pitämään avaruuden käyttökelpoisena vastaisuudessaakin. Helsingin yliopiston lisäksi projektissa ovat mukana Turun yliopisto, Aalto-yliopisto sekä Ilmatieteen laitos, joista viimeinen on keksinyt mahdollisen ratkaisun äsken mainittuun ongelmaan. Jos satelliitin perään vapauttaa pitkän johtimen, maan magneettikentässä syntyvät pyörrevirrat jarruttavat kiertolaisen takaisin pinnalle. Projekti myös tutkii, miten avaruudessa vallitseva säteily vaikuttaa teknologiaan.

Helsingin yliopiston avaruusfysiikan ryhmä on suuri, ja mukana varsin monessa projektissa. Johtavassa asemassa ovat lähinnä **Minna Palmroth** ja **Emilia Kilpua**. Suuressa määrässä projekteja ovat mukana etenkin Ilmatieteen laitos ja Turun Yliopisto. Esimerkki tutkimuksen kohteesta on avaruussää: Aurinko on kuuma, joten siitä ryöppyää hiukkasia melko kaoottisesti. Ryhmä pitää yllä tietokantaa tällaisista ryöpyistä, sekä analysoi niitä useassa projektissa.

CERNissä varattuja hiukkasia pidetään pyörimisliikkeessä magneettikenttien avulla. Vastaavalla tavalla Maan magneettikenttään voi jäädä hiukkasia kiertoradoille. Tästä johtuen maan magneettisen päiväntasaajan suuntaisesti kulkee kaksi ionikehää, joita kutsutaan Van Allenin vyöhykkeiksi. Myös näiden vyöhykkeiden käyttäytymisen tutkiminen on ryhmän agendalla.

Avaruusfysiikan ryhmän lisäksi taivaista on kiinnostunut astrofysiikan ryhmä. Ryhmä tutkii yksittäisten tähtien magneettisuutta sekä tähtienvälistä avaruutta.

Tähtien ja planeettojen ytimissä virtaa plasmaa. Plasmassa kulkee varattuja hiukkasia, joten tämän virtauksen pyörteet, niin kutsutut dynamot, synnyttävät magneettikenttiä. Yksi Astrofysiikan ryhmän tutkimuskohteista on luoda dynamoteorian pohjalta laskelmia ja simulaatioita ja peilata niitä havaittuun magneettiseen aktiivisuuteen. Raskaisiin simulaatioihin laskentatehoa tarjoaa jälleen CSC.

Aurinkokunnan tasolla astrofysiikan ryhmä tutkii valon käyttäytymistä planeettojen kaasukehissä sekä asteroidien kiertoratoja. Havaintoja ryhmä saa European Southern Observatorysta (ESO), joka sijaitsee Euroopan hieman kaukaisemmassa eteläpäädyssä Chilessä, sekä ESan satelliiteista.

Tähtien syntymekanismi on pääpiirteittäin hyvin selkeä: kaasua kasaantuu gravitaation vaikutuksesta. Fysiikka vain ei tieteen-

Viimeisen noin 60 vuoden aikana on pistetty paljon tavaraa kiertoradalle, joten avaruusromu alkaa koitua ongelmaksi.

alana edelleenkin tyydy tällaiseen suurpiirteiseen käsitykseen. Jälleen kerran tarvitaan dataa, jota analysoidaan ja verrataan teorian ennustuksiin. Tätä avaruusfysiikan ryhmä toteuttaa tähtienvälisestä avaruudesta havaitun aineen rakenteen pohjalta. Datan lähteitä ovat ESO, Planck-satelliitti sekä Herschel-satelliitti.

Askelta suuremmassa mittakaavassa ryhmä tutkii galaksien elinkaarta. Jälleen kerran pääpaino on teoreettisessa mallinnuksessa ja numeerisissa simulaatioissa.

Helsingin yliopistossa harrastetaan myös materiaalfysiikkaa. Yksi materiaalfysiikan tutkimusryhmistä on ”Helsinki Accelerator Laboratory”, jonka alle sijoittuu kourallinen kohteita. Kehittyneet materiaalit, eli materiaalit, joiden ominaisuudet ovat jollakin tavalla erikoislaatuja, ovat laboratorion hampaissa. Materiaalfysiikan kutsuttavimpia puolia on emergenssi erinäisissä tilanteissa: mikroskooppiset (erittäin pienen mittakaavan) ilmiöt toimivat makroskooppisten (suuremman mittakaavan, tässä tapauksessa mitattavien) havaintojen selittäjinä. Ryhmän kehittyneiden aineiden tutkinta tapahtuu ruohonjuuritason tasolla; atomista ylöspäin.

On olemassa eräs teknologia, jonka kannattavuus saavutetaan parinkymmenen vuoden päästä samalla tavoin kuin salilla käyminen aloitetaan huomenna: fuusiovoima. Laitetaan vety-ytimiä lämpöliikkeen avulla törmäyskursseille, jolloin syntyy heliumia. Ytimet ovat lopussa tiukemmin kasassa kuin alussa, joten energiaa vapautuu, ja paljon. Melko simppele idea, mutta toteutus ei niinkään. Yksi ongelma on, että voimalan kamion seinien täytyy kestää pitkän aikaa tätä valtavaa energiaryöppyä. Accelerator Laboratory vastaa tähän haasteeseen tutkimalla simulaatioiden avulla, mitkä materiaalikandidaatit kestävät parhaiten hiukkaspommitusta.

Materiaalfysiikot, kuten eräs toinen aineista kiinnostunut ihmisryhmä, puhuvat joskus kovista aineista. Termin merkitys toki erii ryhmien välillä: materiaalfysiikassa esimerkiksi metallit ja keraamiset aineet ovat kovia. Pehmeitä aineita taas ovat sellaiset, joiden muotoa saa helposti muutettua, kuten orgaaniset aineet. Biofysiikkaa ja pehmeitä aineita Helsingin yliopistossa tutkii **Ippo Vattulaisen** johtama ryhmä.

Avaruusfysiikan kohdalla mainitsin fysiikan pyrkimyksistä laajentaa teorian suuntaa antavista kuvauksista tarkemmiksi ennustuksiksi. Tavoite on luoda teorioita yksinkertaisemmasta käyttäytymisestä, ja tarkistaa, johtavatko nämä teorat monimutkaisissa systeemeissä todellisuutta vastaaviin havaintoihin. Vattulaisen ryhmän tutkimusmenetelmissä painottuu nimenomaan las-

kennallinen mallintaminen muiden ryhmien kokeisiin liittyen. Tutkimuksen kohteita ovat lähinnä lipidikalvot.

Noin sata vuotta sitten alettiin huomata, että vuorovaikutukset ilmenevät luonnossa pieninä paketteina, eikä niinkään jatkuvana virtana. Tätä vuorovaikutusten laskettavuutta kutsutaan kvanttittumiseksi. Havainnosta seurasi lopulta mieltä vaivaava, mutta tehtyjä kokeita erittäin hyvin selittävä teoria, kvanttimekaniikka. Teoria antoi tilaa klassisessa mielessä absurdeille ilmiöille, kuten aineen aaltoluonne, hiukkasten ominaisuuksien väistämätön epätarkkuus ja täysin vastukseton johdin.

Kvantittuminen on sisällytetty hyvin onnistuneesti suurimpaan osaan tunnetuista vuorovaikutuksista, mutta ei aivan kaikkiin. Standardimalli, joka koostuu sähköheikon sekä vahvan vuorovaikutuksen kvanttikenttäteorioista, vastaa erittäin hyvin havaintoja yksittäisestä hiukkasesta kokonaiseen ytimeen ja kvarkki-gluoni-plasmasta klassisiin systeemeihin. Ongelmia syntyy kuitenkin meille kaikille varsin tutun ilmiön, painovoiman, kanssa.

Helsingin yliopiston **Antti Kupiaisen** matemaattisen fysiikan ryhmä on ollut mukana ratkaisemassa tätä ongelmaa, tai ainakin hieman muokattua versiota tästä ongelmasta: Viime vuonna yhdessä ranskalaisten fyysikkojen kanssa on luotu matemaattisesti toimiva pohja kaksikulotteiselle gravitaation kvanttikenttäteorialle.

Kvanttitason informaatioteoriaa puolestaan tutkii HELTEQ-ryhmä, jota johtaa Helsingin yliopistosta käsin **Sabrina Maniscalco**. Ilmeisimpiä sovelluksia löytyy kvanttietokoneista.



Aalto University

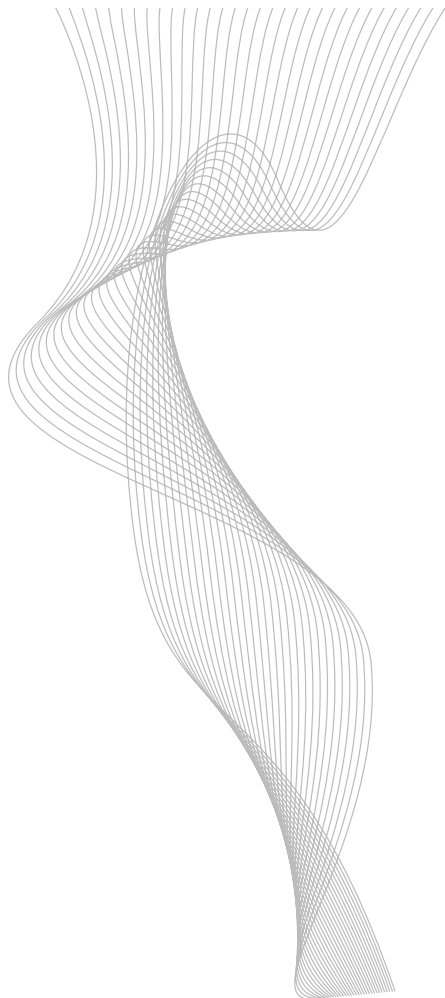
Aalto-Yliopisto

Puhutaan hieman lisää kvanttittumisesta. On päivänselvää, että tällainen teoria, hienoinen määrä mielikuvitusta ja huomattava määrä soveltavaa tutkimusta, johtaa valtavaan kattaukseen kehittyneitä sovelluksia. Kehitettävää kuitenkin vielä riittää.

Aalto-yliopistossa sovelletun fysiikan laitos tutkii kvanttimekaniikkaa lähinnä soveltavalla otteella, mutta mukaan mahtuu myös perustutkimusta.

Kvanttimekaniikan mukaan jotkut hiukaset pyörivät, mutta eivät oikeasti, mutta

Mikroskooppisen ja makroskooppisen välissä sijaitsee mesoskooppiseksi kutsuttu alue, jolla on suuri merkitys muun muassa pienten sensorien toiminnassa.



tietyt osat niiden käyttäytymisestä ovat hyvin samanlaisia kuin pyörimisliikkeessä. Tätä yksinkertaisuudessaan kutsutaan spiniksi. Liikkuvat varaukset taas vuorovaikuttavat magneettisesti, ja sama pätee spinillisiin, tavallaan pyöriin varattuun hiukkasiin.

Sebastian Van Dijken johtaa "Nanomagnetics and Spintronics (NanoSpin)" -tutkimusryhmää, joka tutkii sovelluksia nanotason magnetismille. Kehittämällä tapoja kontrolloida ilmiötä ryhmä luo uusia menetelmiä esimerkiksi tietokoneteknologiaan ja kognition tutkimukseen.

Kun lämpötila on matala, systeemissä on vähän energiaa hiukkasta kohden. Tällöin hiukkasilla on kvanttittumisen myötä rajattu määrä tiloja, joissa ne voivat olla. Rajoittuneisuus aiheuttaa todella eksoottista käyttäytymistä. Tämän vuoksi fyysikkoja on pitkään kiinnostanut tutkia ainetta erittäin alhaisissa lämpötiloissa. Jäätävyydessään Aalto-yliopisto on kunnostautunut senkin verran, että matalimman lämpötilan maailmanennätys vuodelta 1999 on edelleen yliopiston hallussa.

Tällä hetkellä kylmäpäistä "Microkelvin Investigations (μKI)" -tutkimusryhmää johtaa **Juha Tuoriniemi**. Ryhmän hampaissa on ennen kaikkea toiseksi kevyin alkuaine helium. Oikeissa olosuhteissa kvanttimekaniikka sallii nesteen vastuksettoman virtauksen supranesteenä. Tällaista ilmiötä ryhmä pyrkii havaitsemaan jäähdetyistä helium-3-isotoopeista.

Toinen heliumia koskeva tutkimus liittyy heliumkristalleihin. Tarkemmin ottaen ryhmä tutkii helium-3- ja -4-isotoopeista koostuvien kristallien muotoa ja muodostumista alhaisissa lämpötiloissa.

Joskus vaaditaan tarkkuutta. "Atomic Scale Physics" -tutkimusryhmä tarjoaa sitä. Ryhmä pystyy mittaamaan ja kontrolloimaan alhaisen lämpötilan systeemejä atomitasolla.

Helium-3 voi toimia kylmässä myös supranesteenä. Tämän tavanomaisesta nesteestä huomattavasti poikkeavan litkun käyttäytymistä tutkii **Vladimir Eltsov** johtama "Topological Quantum Fluids (ROTA)". Johtuen matemaattisten kuvasten samankaltaisuudesta, kokeet kylmällä supranesteellä antavat merkittäviä tuloksia myös muihin systeemeihin, kuten mustiin aukko-

hin tai jo aiemmin mainittuihin topologiaan suprajohteisiin.

Tutkimusryhmä "Theory of Quantum Matter (TQM)" keskittyy ennen kaikkea juuri topologiseen aineeseen, jota lähestyn teoreettisesta vinkkelistä.

Jose Ladon johtama tutkimusryhmä "Correlated Quantum Materials (CQM)" pyrkii teoreettisesti selittämään emergenttejä ilmiöitä materiaaleissa. Yksi mielenkiinnon kohde on vain yhden atomin paksuiset grafeenilevyt, joissa hiiliatomit ovat kuusikulmaisessa hunajakennomuodostelmassa. Kun tällaisia kaksikulotteisia levyjä asettaa päällekkäin siten, että levyjen välillä on pienoinen kulma, noin $1,1^\circ$ "magic angle", saadaan aikaan sekä esteettisiä kuvia että suprajohtavuutta.

Mikroskooppisen ja makroskooppisen välissä sijaitsee mesoskooppiseksi kutsuttu alue, jolla on suuri merkitys muun muassa pienten sensorien toiminnassa. Tällä mesoskooppisella alueella temmeltää **Jukka Pekolan** johtama tutkimusryhmä "Pico - Quantum Phenomena and Devices". Ryhmä luo esimerkiksi termodynamiikan sovelluksia skaaloissa, joissa ei enää voida puhua klassisesta lämpöopista.

Termodynamiikan kanssa teoreettisempaa työtä tekee **Tapio Ala-Nissilän** tutkimusryhmä: "Multiscale Statistical and Quantum Physics (MSP)". Ryhmä laajentaa lämpöoppia pienempiin, ja sitä kautta epäintuitiivisesti monimutkaisempiin systeemeihin. Tutkimuksen alla on esimerkiksi diffuusio. Ryhmän agendalle kuuluu myös polymeerien sekä metallihiukkasten käyttäytyminen.

Statistisen fysiikan kanssa pyörii myös "Complex Systems and Materials (CSM)" -ryhmä, jonka tutkimuskohteet ovat varsin laajat: magnetismista virtauksiin, joissa ei enää tarvitse huomioida joka kohdassa yksittäisiä hiukkasia.

PICOn kanssa vastaavien aiheiden kanssa työskentelee myös **Christian Flindtin** johtama "Quantum Transport (QT)" -ryhmä. Kvanttilaitteiden teoreettisen tutkimuksen lisäksi ryhmän agendalla on muun muassa sellainen eriskummallinen ilmiö kuin lomittuminen. Yksinkertaistettuna: johtuen säilymislaeista, kuten pyörimismäärän säilyminen, kahdesta hiukkasesta voidaan joskus var-

masti sanoa, että ne esimerkiksi ”pyöriivät” vastakkaisiin suuntiin. Kvanttimekaniikka on kuitenkin luonteeltaan todennäköisyyksiin perustuva, joten ilman mittausta ei voida tietää, kumpi pyörii mihinkin suuntaan. Ol- laan kummallisessa tilanteessa, jossa toisen hiukkasen spinin mittaaminen antaa varman tiedon myös toisesta hiukkasesta. Mutta tämä toki kuulostaa aivan turhalta spekulatiolta, jota ei voida ikinä toteuttaa ainakaan makro- skooppisessa mittakaavassa.

Mika Sillanpään ryhmä ”Quantum Nano- mechanics” on toteuttanut lomittumista makroskooppisessa mittakaavassa. Kaksi suprajohtimilla kytkettyä rumpua, joiden koko mitataan mikrometreissä, on saatu värähtelemään lomittuneesti. Mikrometrit saattaa kuulostaa pieneltä, mutta verrattuna aiemmin tutkittuihin kvanttitason ilmiöihin, skaala on järkyttävän iso. Myös tulos itsessään on järkyttävän iso, ja ryhmän kokeet ovat saavuttaneet suurta kansainvälistä huomio- ta. Sillanpään ryhmän muuhun tutkimukseen sisältyy erittäin vähähäiriöiset vahvistimet ja kvanttitason akustiikka.

Huomattavaa mediahuomiota saanut kvanttimekaniikan nouseva sovellus on kvanttietokoneet. Lomittuneita tiloja, qu- bitteja, hyödyntävät koneet voisivat ratkoa tiettyjä ongelmia huomattavasti tavallisia tietokoneita tehokkaammin, mutta kvantti- tietokoneiden rakentaminen on osoittautunut melko hankalaksi ja tarkkuutta vaativaksi puuhaksi. Tätä rupeamaa edistää **Mikko Möt- tösen** johtama tutkimusryhmä ”Quantum Computing and Devices (QCD)” (älä sekoita kvanttikromodynamiikkaan). Ryhmä kehit- tää kvanttietokoneisiin vaadittavia kompo- nentteja sekä edistää teoreettista ymmärrystä kvanttimekaniikasta.

Perustavanlaatuisemmalla tasolla kvantti- tietokoneteknologiassa työskentelee **Sorin Paraoanun** johtama ”Superconducting Qu- bits and Circuits QED (KVANTTI)”. En edes kysy, miten nimi taipuu lyhenteeksi. Aiem- min sivuttujen aiheiden lisäksi asialistalle kuuluu esimerkiksi Casimir-ilmiö, jossa va- rauksettomat levyt vuorovaikuttavat sähkö- magneettisesti.

KVANTTI:n kaltaisen ryhmien tuloksia hyödyntää esimerkiksi **Pertti Hakosen** joh- tama ”Quantum Circuits and Correlations (NANO)”. Ryhmän aikaansaannoksiin kuuluu erittäin herkkä yhden elektronin transistori sekä matalan häiriön kvanttivahvistin.

Optiikka on varsin kauan sovellettu ala. Esimerkiksi silmälaseja on käytetty mahdol- lisesti yli neljäentuhatta vuotta. Etenkin viime vuosisatoina kehittynyt teoreettinen ymmär- rys valon käyttäytymisen taustalla on taannut

sen, että optiikan kehittäminen jatkuu tähän päivään. Yksi kehitystä edistävä ryhmä on **Matti Kaivolan** johtama ”Optics and Photo- nics”, jonka lautaselta löytyy polarisaatiota, valon vuorovaikutusta aineen kanssa sekä diffraktion kanssa kikkailevat aineet.

Aalto-yliopistossa fysiikan laitoksella toteutettavaan tutkimukseen sisältyy myös materiaalfysiikkaa sekä energiateknologiaa. Toki on melko hankalaa sanoa, missä kohdin raja etenkin kvanttimekaniikan ja siitä emer- gentin materiaalitieteen välillä kulkee. Sovi- taan nyt, että se on suunnilleen näillä main.

Jo aiemmin mainittu grafeeni on ylipää- tään laajasti tutkimuksen kohteena. **Jouko Lahtisen** johtama ”Surface Science” -ryhmä tutkii sen lisäksi muita 2-ulotteisia materiaa- leja, pyrkimyksensä laajentaa – no – ymmär- rystä pinnoista. Yksi tutkituista ilmiöistä on adsorptio, eli aineen tarttuminen pintoihin.

Pinnoilla työskentelee myös **Adam Fos- terin** johtama ”Surfaces and Interfaces at the Nanoscale”. Tutkimuskohteista löytyy kitkan selittäminen rajapintojen mikroskooppisella tarkastelulla, sekä etenkin biologian kannalta mielenkiintoinen aihe: aineen järjestäytymi- nen isommiksi kokonaisuuksiksi.

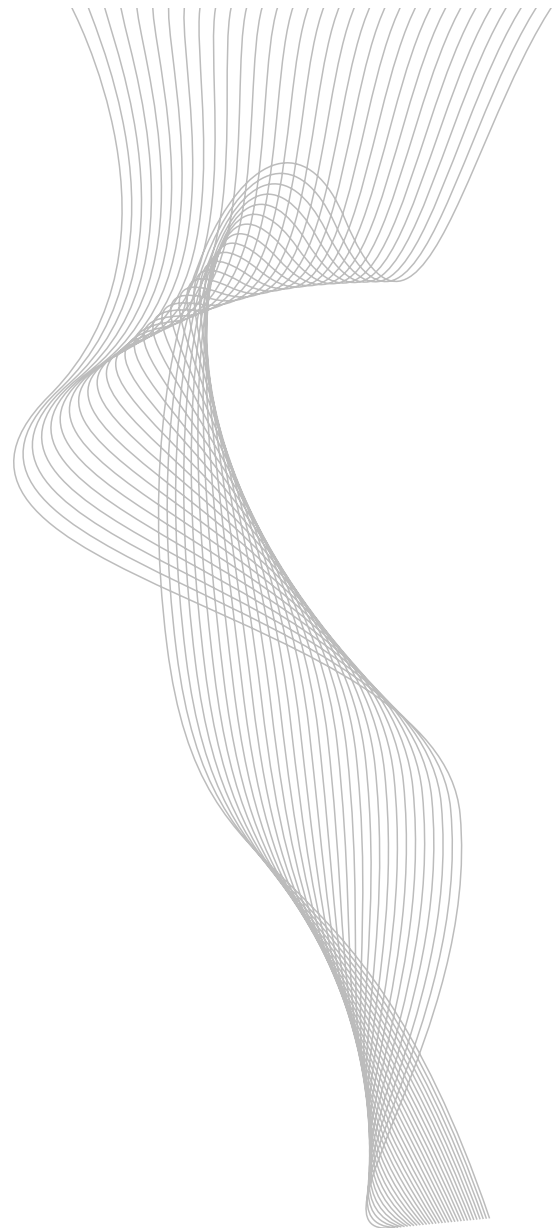
Olli Ikkala taas johtaa ”Molecular Mate- rials (Molmat)” -ryhmää, joka toteuttaa keinotekoisesti juuri tällaista järjestäytymis- tä. Ikkalan ryhmän tutkimukseen kuuluu muun muassa myös hiilestä muodostettuja nanoputkia, käytännössä putkeksi kaarrettuja grafeenilevyjä.

Hiilen nanoputkista puheen ollen: **Esko Kauppisen** johtama ”Nanomaterials (NMG)” on myös kiinnostunut moisista pikkuputki- loista. Tarkemmin ottaen kiinnostus koh- distuu siihen, miten niitä voitaisiin aerosoli- synteisillä rakentaa.

Materiaalitieteet tarvitsevat data-analyysi- menetelmiä. Näitä kehittää ”Computational Electronic Structure Theory (CEST)”. Isossa osassa on viime vuosina valtavirtaan nousseen koneoppimisen hyödyntäminen analyysissa.

Siirrytään materiaalfysiikassa erääseen varsin tuttuun ilmiöön, jonka seurauksia ainakin armeijassa pääsi kokemaan vähän liikaakin: kastumiseen. Jos on sateessa il- man minkäänlaista suojaa, kastuu. Mikäli asiaa lähtee tarkemmin tutkimaan, löytää pienemmällä tasolla varsin mielenkiintoista fysiikkaa. **Robin Rasin** johtama ”Soft Matter and Wetting” -tutkimusryhmä kehittää muun muassa vettä hylkiviä materiaaleja. Metsäläis- kansallemme ei liene hankala kuvitella, mihin tällamoisia voisi käyttää.

Lopuksi vielä energiateknologiasta. Aalto-yliopisto kantaa kortensa kekoon myös fuusiovoiman kehittämisessä. Suurin ongelma



toimivan fuusioreaktorin tiellä on energiaa tuottavan plasman hallitseminen. Ratkaisussa keskiössä on suprajohteiden, ja sitä kautta plasmaa kontrolloivien magneettikenttien, kehittäminen. Tässä auttaa aiemmin käsitelty materiaalfysiikan tutkimus. Keskeistä on myös parantaa ymmärrystä plasman käyttäytymisestä. Jälkimmäistä toteuttaa **Matthias Grohnin** johtama ”Fusion and Plasma Physics” -ryhmä. Plasman oikkuilun ennustamiseen ryhmä käyttää niin kokeita kuin teoreettista mallinnusta.

Vanhempaa ydinvoiman muotoa, fissiota, taas edistää **Andrea Sandin** johtama ”Nuclear Materials and Engineering” (NuME), jonka pääasiallisena agendana on selvittää säteilyn vaikutusta materiaaleissa.

Uusiutuvia energiamuotoja taas kehittää **Peter Lundin** johtama ryhmä ”New Energy Technologies (Renewable)”. Tutkimus painottuu aurinkoenergiaan, matalassa lämpötilassa toimiviin kiinteän aineen polttokennoihin sekä uusiutuvien energianjakelujärjestelmien parantamiseen.



Jyväskylän yliopisto

Keskellä Suomea, Jyväskylässä, sijaitsee yliopisto, jossa tutkitaan fysiikkaa. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella, Jyväsjärven paremmalla puolella, tutkimuskohteina ovat nanofysiikka, kiihdytinfysiikka, ydinfysiikka, kosmologia ja hiukkasfysiikka.

Kokeellinen nanofysiikka

Ilari Maasilta johtaa ”Thermal Nanophysics” -tutkimusryhmää, joka kehittää mittaustapoja lämmönjohtamisen määrittämiseen nanotasolla. Tähän ryhmä käyttää lapsityövoimaa: kineettisiä induktanssi-ilmaisimia (kinetic inductance detector, KID). Tämän projektin nimekkäin yhteistyökumppani lienee NASA. Avaruusteknologiassa etenkin ilmakehään palaamista varten lämmönjohtavuus on varsin keskeistä tuntea. Ryhmä tutkii myös suprajohtavuutta, sekä osallistuu soveltavampaan tutkimukseen.⁷¹

Myös Jyväskylän yliopistosta löytyy hii-
lestä muodostettuja nanoputkia tutkiva ryhmä, **Markus Ahlskogin** johtama ”Molecular

Technology”. Ero Aalto-yliopistossa tarkasteltaviin putkiloihin on ilmiselvä: Jyväskylän yliopiston nanoputket ovat on AD-MWNT, eikä SWNT. Jos tuosta ei vielä jostakin syystä ymmärtänyt, voin toki avata hieman. AD-MWNT on lyhenne sanoista: ”Arc-Discharge synthesized Multi-Walled NanoTubes”, eli kyseessä on moniseinäisiä, sisäkkäisiä putkia, joita syntyy, kun kahden kaasussa olevan grafiittiputken välinen jännite purkautuu valokaarena. Näiden ominaisuuksista erityisesti kiinnostaa sähkönjohtavuus.⁷¹

Jussi Topparin johtama tutkimusryhmä leikkii biologisen järjestäytymisen kanssa. Luonnon kuuluisin itsejärjestäytyvä rakenne, DNA, tarjoaa tähän huikkeitä mahdollisuuksia. Mielenkiintoinen työkalu materiaalfysiikassa on DNA-origamimenetelmä, jossa yksittäinen molekyyli taitellaan origamin tavoin haluttuun muotoon. Topparin ryhmä on ollut mukana kehittämässä tämän menetelmän sovellusta, DNA-avusteista litografiaa, jolla pystyy luomaan tarkkoja metallirakenteita nanomittakaavassa.⁷¹

Topparin ryhmän tutkimuksen alla ovat myös polaritonit, jotka ovat standardimallista emergenttejä hiukkasia. Polaritonit mahdollistavat molekyylien muokkaamisen valon avulla.

Jyväskylän yliopistossa kvanttietokoneiden kehitystä edistää **Juha Muhosen** johtama ”Hybrid Quantum Technologies in Silicon” -tutkimusryhmä. Nimensä mukaisesti ryhmän tarkempana tutkimuskohteena on puolijohdeteollisuudesta varsin tuttu pii. Piihin upotettujen ylimääräisten elektronien spinejä on mahdollista käyttää kvanttietokoneiden qubitteinä.

Idea on muutoin mainio, mutta informaatiota on verrattain hankala kaivaa ulos näistä spinitiloista. Ryhmä on ottanut tehtäväkseen luoda mekanisme, joilla piipohjaiset qubitit saadaan muutettua hyödynnettäväksi tiedoksi.⁷¹

Markku Katajan ryhmä ”Complex Materials” tutkii bentoniittia, eli eräänlaista savea. Saven tutkimus ei ehkä itsessään kuulosta hirveän hohdokkaalta, mutta tässä tapauksessa sovellukset ovat todella merkittävät: Bentoniittia aiotaan käyttää ydinjätteen loppusijoittamisessa säiliöiden rakennusaineena. Ryhmän kontolla on siis varmistaa, että bentoniitti kestää ajan hammasta vuosituhansia, suojaten ulkomaailmaa vaaralliselta jätteeltä. No nyt alkoi kuulostaa hieman hienommalta puuhalta.

Tutkimusmenetelmänä käytetään etenkin aiemmin mainittua tietokonekerroskuvausta. Tällä nähdään esimerkiksi rakenteen pienien poikkeamien aikakehitys, sekä reagointi

lämpötilan muutoksiin. Työn toivottu lopputulema on toimiva malli bentoniitin toistaiseksi vähän kartoitetuille ominaisuuksille. Tämän perusteella voitaisiin toteuttaa laskelmat sijoittamisen turvallisuudesta.⁷¹

Laskennallisella puolella nanotieteissä työskentelee **Hannu Häkkisen** johtama "Computational Nanoscience". Ryhmän hampaissa on monolayer-protected metal clusterit eli monen metalliatomin kimput, joita ympäröi joukko hiiliketjuja. "Moni" tarkoittaa tässä tapauksessa parhaimmillaan useaa sataa. Käytössä oleviin keinoihin kuuluvat nykyajan muotisanat: koneoppiminen ja Monte Carlo -menetelmä.⁷¹

Tiiviin aineen fysiikkaa teoreettisella puolella Jyväskylän yliopistossa edistää **Tero Heikkilän** johtama "Condensed Matter Theory". Tutkimuskohteista löytyy materiaalfysiikassa melko muodikkaaksi päätyneet grafeenilevyt, sekä muut suprajohteet. Ryhmä myös tutkii polaritoneja teoreettisesta vinkkelistä.⁷¹

Toinen teoriaryhmä on **Robert van Leeuwenin** johtama "Quantum Many-Body Theory". Nimensä mukaisesti joukko tutkii useamman hiukkasen välisiä interaktioita. Ryhmä esimerkiksi mallintaa molekyyliä tavalla, joka huomioi atomiydinten mahdollisen liikkumisen.⁷¹

Pekka Koskinen johtaa "Low-dimensional Nanomaterials Modelling" -ryhmää, jonka viimeaikaisiin aikaansaannoksiin kuuluu grafeenilevyn takominen valon avulla. Kohdistamalla vihreän laserin pulsseja grafeenilevyyden, pystytään siihen luomaan rosoja, jotka lujittavat muutoin taipuisaa atominpaksuista levyä.⁷¹

Jyväskylän yliopistolta löytyy vielä yksi materiaalfysiikan teoriaryhmä, **Mihail Silaevin** johtama "Superconducting Spintronics", joka tutkii spinitiloja suprajohteissa. Luomalla liitoksia suprajohteen ja magneettisen metallin kanssa pystytään jollakin ilveellä toteuttamaan spinipumppausta laserilla. Tarkempaa selitystä tämän merkityksestä, kuten monesta muustakin asiasta saa etsiä joltakulta hieman fiksummalta.⁷¹

Kiihdytinlaboratorio

Hiukkasten rysäyttely on varsin hedelmällistä puuhaa, vaikka sillä ei pääsisikään kokeellistamaan pohjimmaisten teorioiden rajoja. Jyväskylän yliopiston tiloissa on hiukkaskiihdytin, jonka tutkimus painottuu ydinfysiikkaan, mutta käyttöä löytyy myös materiaalfysiikan puolelta. Kiihdytinlaboratoriota johtaa **Paul Greenlees**.⁷¹

Ydinspektroskopiaan keskittyvä "Nuclear Spectroscopy" -tutkimusryhmä on ollut jo pa-

riin otteeseen esillä HIP:n projekteissa. Aiemmin kerrotun lisäksi ryhmän kontrolle kuuluu Jyväskylän kiihdyttimen laitteiston kehitys. Ylpeydenaiheisiin kuuluu maailmanluokan massaseparaattori MARA (Mass Analysing Recoil Apparatus). Ryhmä käyttää myös omaa kiihdytintä tutkiakseen ytimiä, joiden neutroni- ja protonilukema täsmää ($N=Z$).⁷¹

Jyväskylän IGISOL-laitosta (Ion Guide Isotope Separation On-Line) operoi "Exotic Nuclei and Beams" -tutkimusryhmä. Nimen mukaisesti ryhmän tutkailussa on vähemmän tuttuja ytimiä: palladiumin isotooppikirjo, titaanin, vanadiumin, kromin ja koboltin useaneutroniset isotoopit ja niin edespäin. Isotooppikartan ominaisuuksien järjestelmällinen täydennys antaa hyvää osviittaa siitä, kuinka läheltä teoreettiset mallit liippaavat todellisuutta.

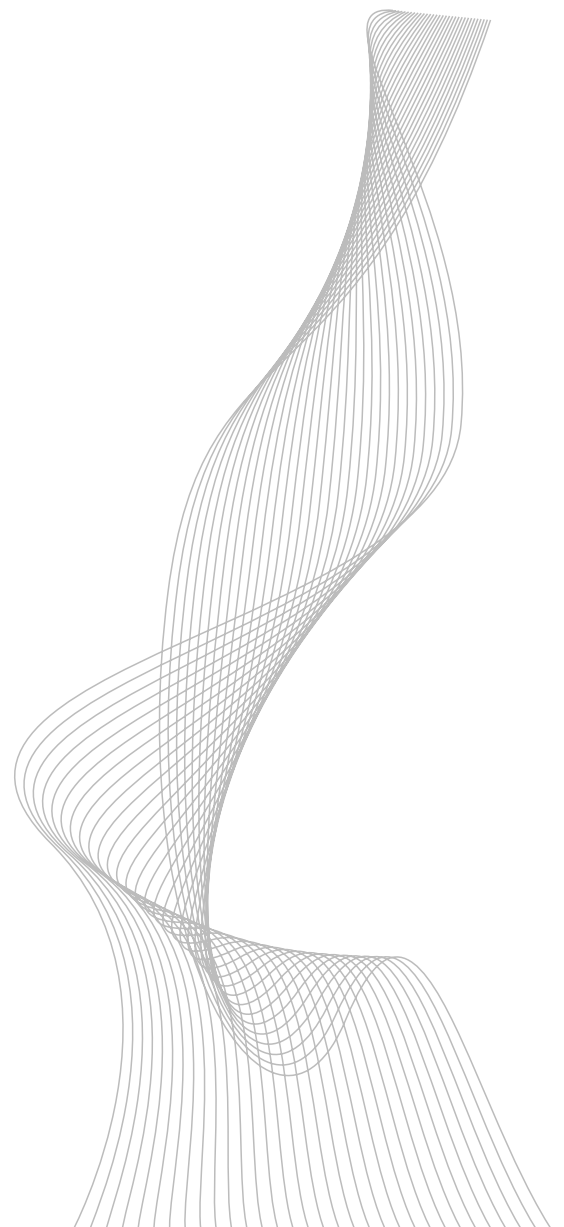
Ryhmän viimeaikaisiin saavutuksiin kuuluu lähes samamassaisten nikkeli-58- ja rauta-58 ydinten erittely lentoaikaan perustavalla erottelijalla. Massaero on vain 70 000-osa ydinten massasta.⁷¹

Välineurheiluun Jyväskylässä keskittyy **Wladyslaw Trzaskan** johtama "Instruments and Methods in Nuclear, Particle and Astroparticle Physics" -ryhmä. CERNin ja Jyväskylän kiihdyttimen lisäksi porukka on mukana parissa muussakin projektissa, mutta ne ovat melko underground.

Neutriinot ovat harmillisen hankalasti havaittavia hiukkasia. Ne eivät vuorovaikuta juurikaan muiden hiukkasten kanssa; jokainen sekunti sinunkin tärykalvoillesi osuu miljardeja havainnollistuksia lävitsesi kulkevista neutriinoista, joiden lukumäärä on vastaavaa luokkaa. Tietyllä, melko mitättömällä todennäköisyydellä, neutriino kommunikoi kohtaamansa aineen kanssa heikon vuorovaikutuksen välityksellä. Jos halutaan saada merkittävä määrä havaintoja, tarvitaan laajoja tilavuuksia kärkevästi neutriinon kanssa keskustelemaa ainetta.

Hilkulla oli, että Suomen Pyhäsalmen kaivokseen olisi saatu kansainvälisesti merkittävä laitteisto, jolla olisi tutkittu CERNistä matkalle lähteneitä neutriinoja. Hanke kuitenkin peruuntui ja tutkimusryhmien keskittyminen siirtyi Euroopan ulkopuolisiin projekteihin osallistumiseen.

Tällaista laitteistoa rakennetaan tällä hetkellä Etelä-Dakotassa. DUNE, eli Deep Underground Neutrino Experiment, vertailee Fermilabin kiihdyttimessä syntyviä neutriinoja matkan eri vaiheissa, tarkoituksenaan ymmärtää paremmin hiukkasten identiteettikriisiä: neutriinot tapaavat spontaanisti vaihtaa matkatessaan tyyppiä. Outoa ilmiötä kutsutaan neutrinioskillaatioksi. DUNEn



tärkeimpiä tehtäviä on selvittää, miten tämä oskillaatio eroaa neutriinon ja mahdollisten antineutriinon välillä.

Instruments and Devices -ryhmä on mukana myös Kiinassa järjestettävässä JUNO-kokeessa (Jiangmen Underground Neutrino Observatory).⁷⁸

Jouni Suhosen johtaman "Nuclear Structure and Nuclear Processes" -ryhmän kiikarissa on eräs prosessi, josta neutriinoita ei löydy: neutriinon kaksoisbeetahajoaminen (0ν-DBD). Ilmiön havainnointi antaisi paremman pohjan neutriinon massojen määrittämiselle.

Myös eräs pimeän aineen kandidaatti on Suhosen ryhmän tutkimuksen alla: pelkästään heikon vuorovaikutuksen ja gravitaation välityksellä vuorovaikuttavat hiukkaset (Weakly Interacting Massive Particle, WIMP).⁷¹

Ydinfysiikka on siitä kummallisessa jaksassa, että yhtälö ydinten ominaisuuksiin vaikuttaviin vuorovaikutuksiin: vahva, heikko ja sähkömagneettinen vuorovaikutus on tällä hetkellä erittäin tarkka, mutta yhtälöstä ei mitenkään saa ydinten ominaisuuksia aivan itsestäänselvästi. Yhtälöstä löytyy nimittäin melko monta termiä, jotka alkavat kunnolla pistää laskimet solmuun etenkin hiukkasäärän kasvaessa. Tämän vuoksi, vaikka ydinfysiikan pohjimmainen teoria on varsin hyvissä kantimissa, tarvitaan edelleen huomattavasti työtä, jotta ydinten käyttäytymistä voisi ymmärtää hyvin.

Tähän tehtävään vastaa **Markus Kortelaisen** johtama ryhmä "Global Properties of Nuclei", joka kehittää ytimistä energiatiheysfunktioita (EDF). Kunnianhimoisena tavoitteena on löytää kaikille ytimille universaaleja, globaaleja malleja.⁷¹

Ioneita kiihdyttimen tarpeisiin tuottaa **Hannu Koiviston** johtama "Ion Sources" -ryhmä. Yksi esimerkki laitteistosta on raskaita ioneita tuottava HIISI, jonka nimen takana lieenee jotain seuraavaa: Heavy Ion (I jostakin) Source (toinen I jostakin). Porukan työn alle kuuluu myös plasmakokeet.⁷¹

Sekä elektroniikka että materiaalitiede pohjautuvat lopulta mikroskooppisiin ominaisuuksiin. Säteilyllä on taipumusta muuttaa näitä mikroskooppisia ominaisuuksia. Korkeasäteilyisessä ympäristössä, kuten vaikka avaruudessa, halutaan käyttää laitteita, jotka kestävät säteilyä. Näiltä osin esimerkiksi ESA:n ja NASA:n apuna toimii **Heikki Ket-tusen** ja **Arto Javanaisen** johtama "RADiation Effects Facility" (RADEF) tutkimalla laboratoriossa tuotetun säteilyn vaikutusta laitteisiin.⁷¹

Materiaalifysiikkaan kiihdytintä käyttää **Timo Sajavaaran** johtama "Accelerator Based Material Physics". Yksi ryhmän puuhista on atominpaksuisten pinnoitteiden luominen.⁷¹



**TURUN
YLIOPISTO**

Turun yliopisto

Myös Suomen Turku on koti mielenkiintoiselle tutkimukselle. Turussa tuijotellaan taivaita, toteutetaan toistuvaksi teemaksi tullutta materiaalfysiikan tutkimusta sekä kvanttimekaniikan kehittämistä.

Avaruustutkimuksessa Turun yliopisto on monessa mukana, mutta johtoasemassa se on kansainvälisessä "SERPENTINE"-projektissa (Solar Energetic Particle Analysis platform for the Inner Heliosphere). Jätän nimen kommentoinnin nyt väliin. Projekti tutkaillee auringon lähettämiä korkeaenergisii hiukkasia. Jokin toistaiseksi tuntematon mekanismi kiihdyttää auringosta ryöpyäviä hiukkasia relativistisiin nopeuksiin. Puhutaan siis yli kymmenesosasta valonnopeutta, mikä on, tieteellisin termein, melko haipakkaa. Projektin tavoitteena on valottaa taustalla vaikuttavia mekanismeja, sekä kartoittaa tietokantaa korkeaenergisistä purkauksista.

Seppo Mattilan ja **Rubina Kotakin** johtama "Research on stellar explosions" -ryhmä tutkii supernovia sekä galaksien keskellä tapahtuvia ilmiöitä. Klassisessakin gravitaatiossa, kun vaikkapa tähden gravitaatiokenttä heikkenee siitä loitotessa, saattaa painovoima olla havaittavasti vahvempi planeetan lähipuolella kuin kauemmalla puolella, mikä venyttää planeettaa aavistuksen verran. Ilmiötä kutsutaan vuorovesivoimaksi, koska Kuun painovoimakenttä varsin osuvasti aiheuttaa vuorovedet.

Vuorovesivoima on sitä vahvempi, mitä lähempänä kappaletta ollaan. Tämän vuoksi se on erityisen merkittävä mustien aukkojen läheisyydessä, koska ne ovat yllättäen varsin pieniä suhteessa massaansa. Kun tähdet sattuivat kohdalleen, mustan aukon vuorovesivoima venyttää huomattavasti ohikulkevia tähtiä, mikä saa tähdet sinkauttamaan relativistisia hiukkasia. Tällaisia tapahtumia tutkimusryhmä pyrkii hyödyntämään kartoittaessaan galaksien keskustojen rakennetta.

Korkeaenergistä astrofysiikkaa tutkii kolmaskin porukka: "High Energy Astrophysics". Tämän ryhmän huomio keskittyy paljolti neutronitähtiin. Esimerkkejä tutkimuskohteista ovat vahvasti magneettisten neutronitähden ympärille syntyvät kertymäkiekot, sekä aineen leviäminen neutronitähden pinnalla tällaiseen törmätykseen.

Yksi Turussa kvanttifysiikkaa tutkiva ryhmä on **Jyrki Piilon** johtama "Non-Marko-

vian processes and complex systems”. Ryhmä porautuu teoreettisesti kvanttitasoon systeemeihin, jotka omaavat aikakehityksessään jonkinlaista muistia, eli ovat epämarkovilaisia. Kvanttimekaniikka on luonteeltaan todennäköisyyksiin perustuva, mutta markovilaisissa prosesseissa nämä todennäköisyydet riippuvat vain nykytilanteesta. Esimerkiksi Monopoli-lautapelissä seuraava sijainti määräytyy markovilaisen prosessin mukaan nykyisestä sijainnista ja nopanheiton tuloksesta. Epämarkovilaisessa prosessissa taas aikakehitykseen vaikuttaa muitakin tekijöitä, kuten systeemin aiempi historia.

Kalevi Kokko johtaa ”Quantum mechanical simulations of matter”-ryhmää, joka kehittää materiaalfysiikkaa kvanttitasoon simulaatioiden avulla. Yksi esimerkki sovelluksista on ääriolosuhteisiin suunniteltujen materiaalien luominen.⁸³

Tällä hetkellä enemmän pääkaupunkiseudulla vaikuttava, aiemminkin mainittu **Sabrina Maniscalco** on vuoden alkupuolelle asti tutkinut Turussa kvanttimekaanista nopeusrajaa (Quantum speed limit), joka nimensä mukaisesti kertoo, kuinka nopeasti siirtymä kahden kvantisoidun energiatilan välillä voi tapahtua.

Kvanttimekaniikan ensimmäisiä suuria saavutuksia oli vetyatomin kuvaaminen. Takaisin näille juurille tutkimusta vie **Sergey Vasiliev**in ”Turku Atomic Hydrogen”-ryhmä, joka toimii Turun Wihurin fysiikantutkimuslaboratoriossa. Yksi tutkimuskohteista on gravitaation vaikutus atomiskaalalla hyvin alhaisen lämpötilan vedyssä.

Wihurissa työskennellään myös magnetismin ja suprajohtavuuden kanssa. Suurimmassa osassa sovelluksista on tällä hetkellä käytössä perinteisiä suprajohteita, jotka suprajohtavat lämpötilan ollessa korkeintaan muutama kelviniä (palttiarallaa -270°C). **Petriina Paturin** ryhmä kuitenkin tutkii korkean lämpötilan suprajohteita. Tässä asiayhteydessä ”korkea lämpötila” tarkoittaa yli -198,5°C, suoranaista pätsiä. Rajapyykki on muotoutunut puhtaasti käytännön syistä: kyseessä on typen kiehumispiste. Tätä korkeammat lämpötilat voidaan

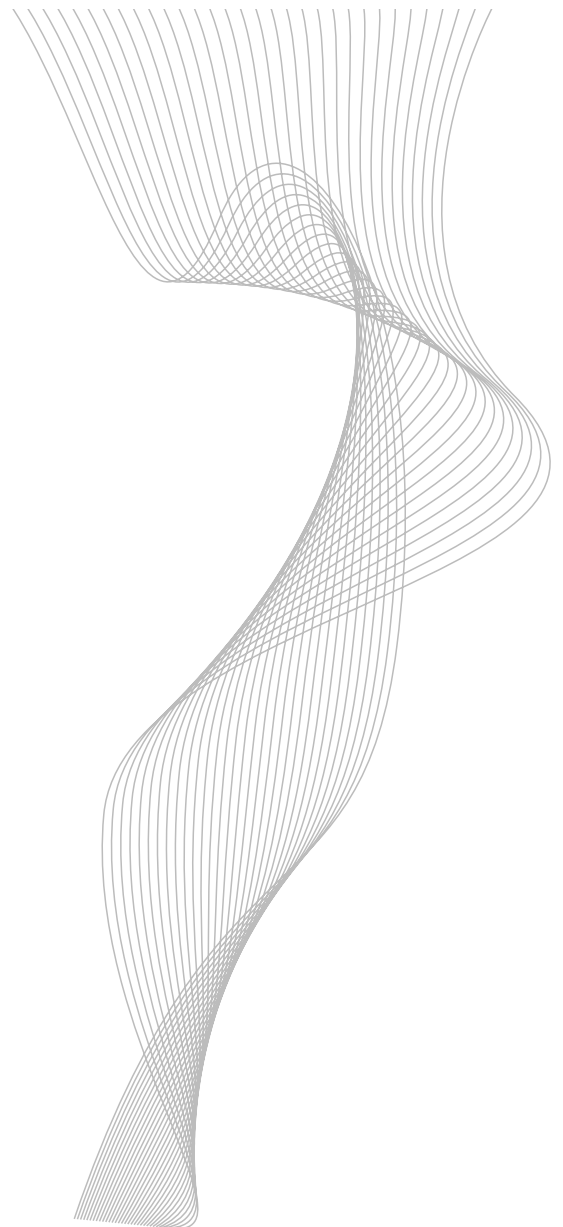
siis saavuttaa tyypijäähdytyksellä, mikä on huomattavasti taloudellisempaa, kuin tämän hetkinen heliumjäähdytys.

Teoriapuolella korkean lämpötilan suprajohtavuus on melkoinen graalin malja, mutta tuloksia tuottava tutkimus tehdään toistaiseksi kokeellisesti. Paturin ryhmän kokeet kohdistuvat sellaiseen yhdisteeseen kuin $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6 + x(\text{YBCO})$, joka suprajohteena ylittää korkean lämpötilan rajan peräti 15 asteella. Yksi mielenkiintoinen tutkittu ilmiö on flux pinning, käännettäköön vaikkapa vuolukitukseksi. Suprajohteessa pystyy tiettyyn rajaan asti muodostumaan mielivaltaisesti vastuksettomia pyörrevirtoja, jotka taas vastustavat magneettivuon muutoksia. Tällä saadaan aikaan esimerkiksi leijumista.

Edwin Kukkin ryhmä tutkii aineen reagoitua ultravioletti- ja röntgensäteilyyn molekyyllitasolla spektroskopian menetelmin. Kyseessä ei ole mitään aivan turhaa näpertelyä, koska perustavanlaatuisellakin rakennekartoituksella on varsin suoria sovelluksia etenkin syövän sädehoidossa, mihin osa tutkimuksesta keskittyy.

Kun asettaa piihilaan (tai vastaavaan puolijohdehilaan) yksittäisiä atomeja, joilla on viisi tai kolme ulkoelektronia, ydinten välille jää vapaita elektroneja, sekä elektronialijäämiä, eli aukkoja. Valikoimalla, miten tämä puolijohdedouppaus toteutetaan, pystytään luomaan ehtoja virran kulkemiselle, mikä synnyttää mahdollisuuden esimerkiksi virranvahvistukseen sekä logiikkaportteihin. Löydös ei ole ollut mitenkään merkityksetön; viimeisen reilun puolen vuosisadan aikainen pienelektronikan vallankumous on elänyt ja hengittänyt puolijohteita.

Pekka Laukkasen johtama ryhmä ”Studies on surfaces of semiconductor crystals” kehittää puolijohdeteknologiaa tutkimalla fysikaalisia ilmiöitä puolijohteiden pinnoilla. Esimerkiksi pinnalla tapahtuvat hapettumisreaktiot muokkaavat puolijohteiden ominaisuuksia ajan myötä, mikä on erityisen haitallista tarkkuutta vaativissa sensoreissa sekä laserdiodien peileissä.



Tampereen yliopisto

Seuraavaksi otamme muutaman askelen koilliseen. Tampereen yliopiston fysiikan yksikön työlle kuuluu aerosolifysiikkaa, laskennallista fysiikkaa sekä fotonikkaa.

Aerosolifysiikan laboratorion perustajan, **Jorma Keskinen** ryhmä tutkii lähinnä kokeellisin menetelmin pakokaasujen leviämistä, aerosolien muodostumista ilmakehässä sekä ihmisen tuottamissa lähteissä.

Jyrki Mäkelän ryhmä taas keskittyy tapoihin luoda nanopartikkeleita sekä pinnoitteita. Merkittävimpänä esimerkkinä toimii nesteliekki-spraymenetelmä (Liquid Flame Spray, LFS), jossa saadaan vetyliekillä polttamalla syntetisoitua eri metallien oksideja. Menetelmän tuotokset ovat merkittäviä esimerkiksi myrkyllisen jätteen poistamisessa ympäristöstä.

Miikka Del Mason ja **Topi Rönkön** ryhmät Aerosolilaboratoriossa mallintavat ihmisten luomia aerosolilähteitä ja tutkivat niiden vaikutuksia.

Matti Rissasen ryhmä tutkii radikaalien aiheuttamia nopeita kemiallisia reaktioita fysikaalisesta näkökulmasta.

Tampereen yliopistolla on oma laboratorionsa laskennalliselle fysiikalle. Tässä laboratoriossa ei tarvitse pitää valkoista takkia, koska tutkimus on täysin teoreettista. Järeimpänä koelaitteistona toimivat super-tietokoneet, jotka murskaavat lukuja simulaatioita varten. Tutkimuskohteita löytyy HIPin kohdalla kuvatusta materiaalfysiikasta kvanttimekaniikkaan ja monimutkaisiin systeemeihin.

Esa Räsänen johtama "Quantum Control and Dynamics" mallintaa muun muassa sähkönjohtamista ja kaasujen käyttäytymistä. Hieman fysiikan vierestä menee ryhmän tutkimus elävien systeemien jaksollisuuden epätarkkuudessa. Esimerkiksi sydämenlyönnit eivät satu aivan täsmällisin väliajoin. Muutama vuosi sitten ryhmä löysi vastaavanlaisesta luonnollisesta epätäsmällisyydestä osasyyn sille, miksi Jeff Porcaro gruuvaa niin järjettömän hyvin. Suurin osa tutkimuksesta kuitenkin kohdistuu hieman perusteellisempiin systeemeihin.

Fysiikan ongelmanratkaisussa on keskiössä löytää erilaisia tapoja ilmaista asioita. Yksi viime vuosisadan kauniimmista tavoista on Feynmanin polkuintegraaliformismi, vaika

se ei aivan puhtaiden matemaatikkojen mieleen olekaan⁴⁰. Formalismin keskiössä on sellainen melkoisen outo ajatus, että hiukkasen kulkee kahden paikan välissä jokaista mahdollista reittiä, ja näiden polkujen yhteisvaikutus määrittää sen, mitä todella tapahtuu.

Tapio Rantalan ryhmä "Electronic Structure Theory, Theoretical and Computational Materials Physics" hyödyntää materiaalfysiikan tutkimuksessaan polkuintegraaleja vahvasti.

Lasse Laursonin johtama "Complex Systems" tutkii yllättäen monimutkaisia materiaalfysiikan systeemejä. Yksi mielenkiintoisista suurennuslasin alla olevista ilmiöistä on "lumivyöryt", joissa kidehilan pehmittymät leviävät laajalle alueelle.

Optiikan laboratoriolle Tampereella työskentelee kymmenen ryhmää. Lähemme liikelle teoreettisimmasta.

Marco Ornigottin johtama "Theoretical Optics and Photonics" kehittää tapoja saada valo muuttamaan suuntaa itsestään. Tarkasti suunniteltu sähkömagneettisen säteilyn summa voi kuitenkin toteuttaa luonnossa poikkeuksellisen näköisiä manööverejä.

Teoreettista työtä täydentää oivallisesti **Robert Ficklerin** johtama "Experimental Quantum Optics". Puuhat tapahtuvat samojen aiheiden parissa, mutta sisältävät vähemmän puhetta ja enemmän toimintaa. Muihin tutkimuskohteisiin kuuluu valon ja aineen vuorovaikutus pinnoilla.

Tästä päästään oivasti **Mika Valdenin** johtamaan "Surfaces Science"-ryhmään. Pintoja ja etenkin niiden fotonikkaa tutkivan ryhmän lautaselta löytyy jopa keinotekoisia yhteyttämiä. Vastaavalla alalla toimii myös Humeyra Gaglyanin "Metaplasmonics"-ryhmä, joka keskittyy sensoreihin.

Valon kanssa leikkiviä virtapiirejä kutsutaan optoelektronikaksi. Aluetta tutkii myös **Mircea Guinan** johtama "Optoelectronics Research Centre". Tutkimukseen kuuluu puolijohteiden valmistusta, lasereita ja laserhoitoja sekä aurinkokennoja.

Tapio Niemen "Nanophotonics"-ryhmä valmistaa ja tutkii nanotason rakenteita. Materiaaleja optiikan tarpeisiin kehittää **Laeticia Petitin** ryhmä "Photonic Glasses Group".

Yksi asia, jota fyysikot rakastavat sydämensä pohjasta, on linearisaatiot. Kunhan liikutaan riittävän pienissä arvoissa, poikkeamat suureissa, kuten klassikkoesimerkissä voima ja kiihtyvyys, kasvavat useimmissa tapauksissa suoraan verrannollisesti. Tällaisissa olosuhteissa saadaan pääteltyä pidemmällekin vietyjä yhteyksiä vaivatta.

Optiikassa fyysikon epämukavuusalueelle siirtyy **Mikko Huttusen** ja **Godofredo Bautistan** johtama "Nonlinear optics group". Tutkimuksessa on valon käyttäytyminen esimerkiksi biologisten materiaalien kanssa. Tarkempi toiminnan kartoitus kehittää muun muassa mikroskopiaa.

Vastaavasti erittäin nopeissa prosesseissa syntyvän epälineaarisuuden kanssa temmeltää sairaan nopea "Ultrafast Photonics research group", jota johtaa **Goery Genty**.

Spektroskopiaa kehittää **Juha Toivosen** johtama "Applied Optics"-ryhmä. Tässä tapauksessa aineen rakennetta tutkitaan kohdistamalla aineeseen laserpulsseja, jotka irrottavat ulkoelktroneja. Mittaamalla aineen reagointi taajuuden mukaan saadaan selville systeemille ominaisia energioita, ja sitä kautta rakennetta.

Oulun yliopisto

Pari kymmentä kilometriä Kempeleestä pohjoiseen sijaitsee Oulun yliopisto. Siellä, luonnontieteiden tiedekunnasta, löytyy joku-
nenkin fysiikkaa tutkiva porukka. Näistä suurin osa sattuu Nano- ja molekyyliysteemien (NANOMO) yksikön alle.

Fysiikka on siitä veikeä tieteenala, että lähestulkoon mistä tahansa matematiikan alasta löytää sovelluksia fysiikkaan. Näin pätee myös informaatioteorian kohdalla. Vaikka ensi silmäyksellä kyseessä saattaisi olla pelkästään tietoteknikkojen hyödyntämää puuhastelua, informaatio on ollut keskeisessä osassa etenkin kvanttifysiikan tutkimusta, muutoinkin kuin vain kvanttietokoneisiin liittyen. Kvantti-informatiikkaa Oulussa tutkii ”Ab Initio Modeling, Theoretical Physics”-ryhmä, jota johtaa **Matti Silveri**. Nimensä mukaisesti pohjimmaisista teorioista lähtevä tutkimus kohdistuu myös suprajohteisiin.

Seuraa kemian lyhyt oppimäärä: atomiytimen ympärillä on elektroneja, jotka tietyssä mielessä kiertävät ydintä. Kvantittuminen rajaa elektronien kiertoradat yksittäisiksi orbitaaleiksi, ja elektronit tulevat keskenään niin huonosti toimeen, että samalle orbitaalille mahtuu vain kaksi elektronia.

Jos jokin ulkopuolinen vaikutus potkaisee elektronin pois sisemmältä orbitaalilta, ulommat rynnivät vapautuneelle tontille. Alempana potentiaaliin rynniminen saattaa vapauttaa riittävästi energiaa potkaisemaan toisen ulkoelektronin pois. Tätä **Lise Meitnerin** löytämää ilmiötä kutsutaan harvinaisen osuvasti löytäjänsä mukaan Auger-ilmiöksi. Useamman elektronin vapauttavia Auger-ilmiöitä tutkii **Saana-Maija Ahon** johtama ”Theory of Atomic and Molecular Physics, Physics didactics”. Nimen mukaisesti myös opettaminen on tutkimustyön alla.

Oulun yliopistolla usean atomin nanoryppäitä tutkii ”Clusters and Nanoparticles”. Ryppäiden rakenteen tutkimus tapahtuu röntgenspektroskopiolla aineen ollessa kaasuna. Kartoittaminen hyödyntää esimerkiksi sädehoitojen kehitystä.

Wei Cao johtaa ”Functional Materials”-ryhmää, joka kehittää funktionaalisia

materiaaleja. Lautaselta löytyy niin kidehiloja kuin orgaanisia materiaaleja, esimerkiksi fotosynteesin materiaalifysiikkaa selittämistä.

Oulussakin tähtytään taivaalle. Yliopiston leveyspiireillä alkavat avaruussään vaikutukset näkyä paljaalla silmälläkin, etenkin jos pääsee pakoon kaupungin valosaastetta. Revontulten lisäksi avaruusfysiikan yksikössä tutkitaan avaruussään vaikutuksia ja astronomiaa.

Ilya Usoskinin ja **Kalevi Mursulan** tutkimusryhmän ”Avaruusilmasto” tutkimuskohde suhtautuu avaruussäähän samoin kuin ilmasto säähän: tutkailun kohteena on suurempia linjoja ja pidempiä ajanjaksoja. Yksi porukan kontolla olevista projekteista, ESPERA, pyrkii selvittämään, kuinka huolissaan pitäisi olla avaruusmyrskyjen suhteen. Ryhmä päättelee auringon käyttäytymishistoriaa takautuvasti yhdistelemällä tuttua radiohiilimenetelmää ja radioaktiivisten aineiden leviämismalleja.

Ionosfäärin fysiikasta ja avaruusfysiikasta vastaa **Anita Aikion** tutkimusryhmä. Tutkimuskohteissa painottuvat varattujen hiukkasten käytös pohjoisnavan läheisessä verrattain erikoisessa magneettikentässä. Myös ionosfäärifysiikan ryhmän alle kuuluu arviointia avaruussään haittavaikutuksista.

Jürgen Schmidt ja **Heikki Salo** johtavat vanhaa kunnan astronomiaa tutkivaa ryhmää. Erityisosaamisalueelle kuuluvat pienemmistä asioista koostuvat, isompia asioita kiertävät kokonaisuudet, kuten Saturnuksen renkaat ja kaksoistähtien kertymäkiekot.

Samalla tavoin kuin elektronisidokset resonoivat oikeantaajuisten valon kanssa, atomiytimet voivat resonoida tietyn taajuisten värähtävien magneettikenttien kanssa. Ilmiötä kutsutaan ydinmagneettiseksi resonanssiksi (NMR) ja sitä hyödynnetään esimerkiksi siinä sairaalan kummallisessa ihmisen mentävässä luolassa, jota magneettikuvantamislaitteeksi kutsutaan. Toimintaperiaate on lähes täsmälleen sama kuin tietokonekerroskuvauksessa. Ydinmagneettista resonanssia tutkii Oulussa kaksi ryhmää: **Juha Vaaran** johtama teoria-ryhmä sekä **Ville-Veikko Teikin** johtama kokeellinen ryhmä.

Kokeellinen ryhmä pyrkii esimerkiksi selvittämään, kuinka hyvää puuta se on; yksi projekteista koskee lämpökäsitellyn puuaineksen ontelorakenteen määrittämistä magneettikuvantamisen keinoin.

Itä-Suomen yliopisto sekä LUT

Joensuussa fysiikan tutkimus on varsin valoisaa. Koko tieteenala on asetettu fotonikan tutkimusyhteisön alle. Monialaisessa fotonikan tutkimusyhteisössä tutkitaan myös esimerkiksi tekniikkaa ja biologiaa.

Optiikan laboratorion teoreettisimmat porukat ovat lukuisat inversio-ongelmien kanssa taistelevat ryhmät. Inversio-ongelmissa pyritään lopputuloksen perusteella päättämään, mitkä toiminnot ovat kyseisen lopputulokseen johtaneet. Tylsistymiseen asti toistettu tietokonekerroskuvaus on esimerkki tällaisesta ongelmasta; lävistäjien ominaisuuksien perusteella päätellään kaksikulotteisen alueen jokaisen kohdan ominaisuudet. Laajemmin ajateltuna koko fysiikan tutkimus on yhtä inversio-ongelman ratkaisua; havaintojen perusteella pyritään päättämään, millä tavalla luonto pohjimmiltaan käyttäytyy.

Inversio-ongelmien ratkaisu, etenkin oikeassa maailmassa, on yllättäen melko hankalaa. Pienet muutokset mitatussa datassa saattavat johtaa melko pahasti hakoteille. Ryhmien tutkimukseen kuuluu selvittää, miten tällaiset virheet saataisiin parhaiten kuriin.

Aiemminkin on puhuttu valonlähteiden summautumisesta. Samansuuntaiset sähkö- ja magneettikentät vahvistavat toisiaan, vastakkaissuuntaiset taas luonnollisesti heikentävät. Yhtäläisyyttä kentissä kutsutaan osuvasti koherenssiksi. Sinällään yksinkertaiselta vaikuttava ajatus on kuitenkin hieinan monimutkaisempi, kun kuvaan tuodaan kvanttimekaniikka sekä tosimaailma. Koherenssia sekä teoreettisesti että kokeellisesti tutkivat **Tero Setälän, Jari Turusen, Pasi Vahimaan** ja **Ari Fridbergin** ryhmät.

Fotonikan tutkimusyhteisössä spektrometriä sovelletaan useaan eri tarkoitukseen fysiologiasta tilan kolmiulotteiseen hahmotamiseen.

Valoisa ote kantaa materiaalifysiikankin puolelle. **Yuri Svirkon** ja **Alexandr Orbaztsovin** tutkimusryhmä ”Carbon Nanomaterials” käyttää eri hiilen hilojen muodostamiseen laseravustettua kemiallista kaasufaasi-

pinnoitusta. **Markku Kuittisen** johtama tutkimusryhmä taas valmistaa materiaaleja nimenomaan optiikan tutkimusta varten. **Igor Koshevoyn** johtama Organometallic Synthesis vastaavasti tutkii luminescenttejä molekyylejä.

Käydään lopuksi vielä Lappeenrannassa. LUTin fysiikan laboratoriossa tutkitaan magneettisen muotomuistin (MSM, Magnetic Shape Memory) ominaisuuksia ja sovelluksia alan uranuurtajan, **Kari Ullakon** johdolla. Ilmiö sallii materiaalien muokkaamisen magneettikenttien avulla, ja sitä hyödynnetään esimerkiksi talon omassa μ PUMP-järjestelmässä. μ PUMP annostelee nestettä nanolitran tarkkuudella – langattomasti. Magneettisen kontrolloinnin luomat mahdollisuudet tekevät laitteesta erittäin hyvin sovellettavan esimerkiksi lääketieteellisiin tarkoituksiin.

Summa summarum:

Suomesta löytyy yllättäen melko paljon tutkimuksen tekijöitä. Etenkin kokeellisella puolella painottuu CERNin, DUNen ja ESON kaltaiset suuremmat projektit, jotka vaativat kansainvälistä panosta. Näissä Suomella on erittäin hyvä jalansija.

Tieteen tekeminen, kuten moni muukin asia tässä maailmassa, on useimmiten melko banaalia puurtamista kohti isompia tavoitteita. Joskus erityinen työ ja taito palkitaan rumpujen lomittumisella tai neutronitähtien kvarkkiaineella, mutta suurin osa kehityksestä tapahtuu pienissä askelissa, poissa parrasvaloista. Vaikka fysiikan Nobeileita ei ole Suomeen sadellut, on Suomella oma asemansa huippututkimuksessa. Samalla suomalaisen fysiikan merkitys sekä kansainväliselle tiedeyhteisölle että teollisuudelle säilyy merkittävänä varman ja jatkuvan tieteen kehittämisen ja hiomisen kautta. •

Lähteet

Lähdeviitteet eivät ole aivan parhaan tavan mukaisia, ja lisäksi johtavat useimmiten vain verkkosivuille, eikä niinkään tieteellisiin julkaisuihin. Varoittavana sanana täytyy todeta, että sivustot ovat lähes poikkeuksetta joko laajemmat tai ainoastaan englanniksi. Sama pätee toki luonnollisesti julkaisuihin. Jos jokin oli jo aiempaa tai lähes yleistä tietämystä, en ole sitä minnekään viitannut. Lähteiden tarkoitus on ennen kaikkea johdattaa lukijaa vastaanottamaan sanomaa suoraan mestareilta.

1. <https://blog.hip.fi/hip-ja-higgsin-bosoni/>
2. https://www.hip.fi/wp-content/uploads/2021/04/HIP_Annual_Report_2020.pdf
3. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1140/epjc/s10052-010-1314-6.pdf>
4. <https://www.hip.fi/research/cms-programme/tier-2-operations/>
5. <https://cms.cern/news/new-paradigms-cms-phase-2-upgrades#>
6. <https://totem-experiment.web.cern.ch/>
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Parton_\(particle_physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Parton_(particle_physics))
8. <https://news.mit.edu/2010/exp-quark-gluon-0609>
9. https://converis.jyu.fi/converis/portal/detail/Publication/35871813?lang=en_GB
10. <https://alice.cern/node/8359>
11. <https://isolde.cern/history>
12. <https://isolde.cern/isolde-facility>
13. <https://link.springer.com/article/10.1140/epja/i2018-12474-9>
14. <https://fair-center.eu/en/overview-on-fair.html#c9363>
15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037026931730878X>
16. <https://phy.princeton.edu/research/research-areas/particle-phenomenology>
17. <https://www.nature.com/articles/s41567-020-0914-9>
18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037594740900709X>
19. <https://www.nature.com/articles/nphys3827>
20. <https://home.cern/science/accelerators/compact-linear-collider#:~:text=The%20Compact%20Linear%20Collider%20%28CLIC%29%20is%20a%20proposed,at%20energies%20of%20up%20to%20several%20tera-electronvolts%20%28TeV%29>
21. <https://www.hip.fi/research/technology-programme/radiation-metrology-for-applications/>
22. <https://www.hip.fi/research/technology-programme/radiation-safety-research-and-development/>
23. <https://www.hip.fi/research/technology-programme/radiation-detection-for-safety-security-and-safeguards/>
24. <https://www.hip.fi/research/technology-programme/x-ray-spectroscopy-for-materials-in-extreme-conditions/>
25. <https://www2.helsinki.fi/en/faculty-of-science/faculty/physics>
26. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html
27. <https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/finnish-centre-of-excellence-in-research-of-sustainable-space>
28. <https://blogs.helsinki.fi/spacephysics/esimerkkisivu/>
29. <http://ipshocks.fi/>
30. <https://www2.helsinki.fi/en/faculty-of-science/faculty/physics/research/particle-physics-and-astronomy/space-physics>
31. <https://www2.helsinki.fi/fi/matemaattisluonnontieteellinen-tiedekunta/tiedekunta/fysiikka/tutkimus/alkeishiukkas-ja-astrofysiikka/astrofysiikka>
32. <https://www2.helsinki.fi/fi/matemaattisluonnontieteellinen-tiedekunta/tiedekunta/fysiikka/tutkimus/alkeishiukkas-ja-astrofysiikka/astrofysiikka/tahtien-magneettinen-aktiivisuus>
33. <https://www2.helsinki.fi/fi/matemaattisluonnontieteellinen-tiedekunta/tiedekunta/fysiikka/tutkimus/alkeishiukkas-ja-astrofysiikka/astrofysiikka/planeettakunnan-tutkimus>
34. <https://www2.helsinki.fi/fi/matemaattisluonnontieteellinen-tiedekunta/tiedekunta/fysiikka/tutkimus/alkeishiukkas-ja-astrofysiikka/tahtienvälinen-aine-ja-tahtien-synty>
35. <https://www2.helsinki.fi/fi/matemaattisluonnontieteellinen-tiedekunta/tiedekunta/fysiikka/tutkimus/alkeishiukkas-ja-astrofysiikka/astrofysiikka/galaksien-synty-ja-kehitys>
36. <https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/helsinki-accelerator-laboratory>
37. <https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/helsinki-accelerator-laboratory/research/atomic-level-phenomena-in-advanced-materials>
38. <https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/helsinki-accelerator-laboratory/research/fusion-materials>
39. <https://www2.helsinki.fi/en/researchgroups/biophysics/research>
40. <https://www.quantamagazine.org/mathematicians-prove-2d-version-of-quantum-gravity-really-works-20210617/>
41. <https://qtf.fi/research/>
42. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/nanomagnetism-and-spintronics-nanospin>
43. <https://www.aalto.fi/en/otanano/record-low-temperatures>
44. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/microkelvin-investigations-mki>
45. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/atomic-scale-physics>
46. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/topological-quantum-fluids-rotar>
47. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/theory-of-quantum-matter-tqm>
48. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/correlated-quantum-materials-cqm-0>
49. https://www.nature.com/articles/nature26160?from=article_link
50. <http://lil.tkk.fi/PICO/wordpress/>
51. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/multiscale-statistical-and-quantum-physics-msp>
52. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/complex-systems-and-materials-csm>
53. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/quantum-transport-qt>
54. <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01223-4>
55. <https://www.sciencealert.com/quantum-entanglement-has-now-been-directly-observed-at-a-larger-macroscopic-scale>
56. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/quantum-nanomechanics>
57. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/quantum-computing-and-devices-qcd>
58. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/superconducting-qubits-and-circuit-qed-kvantti>
59. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/quantum-circuits-and-correlations-nano>
60. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/3749/1/Remarkable-lenses-and-eye-units-in-statues-from-the-Egyptian/10.1117/12.354722.full?SSO=1>
61. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/optics-and-photonics>
62. <https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.4.024019>
63. <https://www.aalto.fi/en/departments-of-applied-physics/surfaces-and-interfaces-at-the-nanoscale-sin>

Tieteen tekeminen, kuten moni muukin asia tässä maailmassa, on useimmiten melko banaalia puurtamista kohti isompia tavoitteita.

64. <https://www.aalto.fi/en/department-of-applied-physics/surface-science>
65. <https://www.aalto.fi/en/department-of-applied-physics/nanomaterials-nmg>
66. <https://www.aalto.fi/en/department-of-applied-physics/computational-electronic-structure-theory-cest>
67. <https://www.aalto.fi/en/department-of-applied-physics/soft-matter-and-wetting>
68. <https://www.aalto.fi/en/department-of-applied-physics/fusion-and-plasma-physics>
69. <https://www.aalto.fi/en/department-of-applied-physics/nuclear-materials-and-engineering-nume>
70. <https://www.aalto.fi/en/department-of-applied-physics/new-energy-technologies-renewable>
71. <https://www.jyu.fi/science/en/physics/current/annual-reports/jyu-physics-annual-report-2020.pdf>
72. <https://www.rsc.org/publishing/journals/prospect/ontology.asp?id=CMO:0002240>
73. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3523823/>
74. <https://www.jyu.fi/science/en/nanoscience-center/research/nanoclusters/research>
75. <https://www.jyu.fi/science/en/physics/research/infrastructures/accelerator-laboratory/nuclear-physics-facilities/recoil-separators/mara-mass-analysing-recoil-apparatus>
76. <https://www.jyu.fi/science/en/physics/research/infrastructures/accelerator-laboratory/nuclear-physics-facilities/the-exotic-nuclei-and-beams/the-exotic-nuclei-and-beams>
77. <https://www.jyu.fi/science/en/physics/research/nuclear-and-accelerator-based-physics/exotic-nuclei-and-beams>
78. <https://www.jyu.fi/science/en/physics/research/nuclear-and-accelerator-based-physics/hendes>
79. <https://www.jyu.fi/science/en/physics/research/nuclear-and-accelerator-based-physics/hendes/research/underground/emma>
80. <https://www.dunescience.org/>
81. https://en.wikipedia.org/wiki/Density_functional_theory
82. <https://accelconf.web.cern.ch/ecris2018/papers/moa3.pdf>
83. <https://www.utu.fi/en/university/faculty-of-science/physics-and-astronomy>
84. <https://serpentine-h2020.eu/project/>
85. <https://sites.utu.fi/hea/research/>
86. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021A%26A...647A..45A/abstract>
87. <https://doi.org/10.3390/e23030331>
88. <https://hturku.utu.fi/node/2>
89. <https://sites.utu.fi/wihuri/tutkimusryhmat-ja-projektit/magnetismi-ja-suprajohtavuus/>
90. <https://sites.utu.fi/wihuri/tutkimusryhmat-ja-projektit/magnetismi-ja-suprajohtavuus/suprajohteet/>
91. <https://www.utu.fi/en/people/edwin-kukk>
92. <https://www.utu.fi/en/people/pekka-laukkanen>
93. <https://doi.org/10.1016/j.japsusc.2021.150848>
94. <https://www.tuni.fi/en/about-us/physics>
95. <https://research.tuni.fi/aerosolphysics/jormakeskinen/>
96. <https://researchportal.tuni.fi/en/publications/concentrations-and-size-distributions-of-particle-lung-deposited->
97. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117069>
98. <https://researchportal.tuni.fi/en/publications/crystallographic-phase-formation-of-iron-oxide-particles-produced>
99. <https://researchportal.tuni.fi/en/publications/photocatalytic-activity-of-multicom-pound-tio2sio2-nanoparticles>
100. <https://research.tuni.fi/aerosolphysics/jyrkimakela/>
101. <https://research.tuni.fi/aerosolphysics/miikkadalmaso/>
102. <https://research.tuni.fi/aerosolphysics/topironkko/>
103. <https://www.proquest.com/docview/2547218424?accountid=12492>
104. <https://research.tuni.fi/aerosolphysics/mattirissanen/>
105. <https://www.tuni.fi/en/about-us/computational-physics#switcher-trigger--research>
106. <https://research.tuni.fi/qcad/projects/>
107. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127902>
108. <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/5.0055815>
109. <https://research.tuni.fi/est/>
110. <https://research.tuni.fi/cs/projects/>
111. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.104.025008>
112. <https://www.tuni.fi/en/about-us/photronics#switcher-trigger--research>
113. <https://research.tuni.fi/topgroup/projects/>
114. <https://research.tuni.fi/topgroup/projects/accelerating/>
115. <https://research.tuni.fi/eqo/research/>
116. <https://research.tuni.fi/surfsci/research/>
117. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b10931>
118. <https://research.tuni.fi/metaplasmonics/projects/>
119. <https://research.tuni.fi/orc/research/>
120. <https://research.tuni.fi/nanophotonics/research/>
121. <https://research.tuni.fi/photonic-glasses/about/>
122. <https://research.tuni.fi/nlogroup/projects/>
123. <https://research.tuni.fi/ufo-en/research/>
124. <https://research.tuni.fi/applied-optics/research/>
125. <https://www oulu.fi/en/university/faculties-and-units/faculty-science>
126. <https://www oulu.fi/en/ab-initio-modeling-theoretical-physics>
127. <https://www oulu.fi/university/researcher/matti-silveri>
128. <https://doi.org/10.1063/PT.3.4281>
129. <https://www oulu.fi/en/theory-atomic-and-molecular-physics-physics-didactics>
130. <https://www oulu.fi/en/clusters-and-nanoparticles>
131. <https://www oulu.fi/en/functional-materials>
132. <https://www oulu.fi/spacephysics-astronomy/>
133. <https://www oulu.fi/avaruusfysiikka-tahtitiede/node/40145>
134. <https://www oulu.fi/university/researcher/ilya-usoskin>
135. <http://cosmicrays oulu.fi/espera/>
136. <https://www oulu.fi/spacephysics-astronomy/node/50705>
137. <https://www oulu.fi/astronomy/>
138. <http://cc oulu.fi/~nmrwww/>
139. <http://cc oulu.fi/~nmrwww/research/wood.html>
140. <https://sites.uef.fi/photronics/>
141. <https://sites.uef.fi/inverse/>
142. <https://sites.uef.fi/photronics/electromagnetic-coherence/>
143. <https://sites.uef.fi/photronics/optical-coherence-in-near-fields/>
144. <https://sites.uef.fi/photronics/optical-coherence-of-non-stationary-fields/>
145. <https://sites.uef.fi/spectral/research/>
146. <https://www.osapublishing.org/ol/fulltext.cfm?uri=ol-45-12-3260&id=432477>
147. <https://sites.uef.fi/photronics/carbon-nanomaterials/>
148. <https://uefconnect.uef.fi/henkilo/markku.kuittinen/>
149. <https://sites.uef.fi/photronics/new-materials-and-surfaces/>
150. <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.117637>
151. <https://www.lut.fi/web/en/lut-mikkeli/magnetic-shape-memory-materials-laboratory>

Antti Asikainen kirjoitti ylioppilaaksi Mikkelin lukiosta 2021. Kouluaikana hän harrasti ennen kaikkea musiikkia, kunnes lukion toisella luokalla kiinnostus fysiikkaan ylitti musiikinkin. Vuonna 2018 Asikainen osallistui ensimmäisen kerran fysiikkakilpailuihin sijoittuen kolmanneksi, ja seuraavana vuonna 2019 hän jo voitti pronssia fysiikkaolympialaisissa. Fysiikan yliopisto-opintonsa hän on päässyt aloittamaan suoraan yhdysvaltalaisessa huippuyliopistossa MIT:ssä eli Massachusetts Institute of Technology:ssa.

DIGITALISAATIO YHTEISKUNNAN MUUTOSVOIMANA 60 VUOTTA

Yhteenveto

Tietotekniikka (IT) on vakiintunut osa arkeamme. Paljon siitä on myös piilossa erilaisissa järjestelmissä. Järjestelmät kerrostuvat, monimutkaistuvat ja muuttuvat keskinäisriippuviksi, tehden niiden kehittämisen ja hallinnan entistä vaativammaksi sekä liiketoiminnan että IT-kehittämisen näkökulmasta. Ammattilaisten tehtävänä on tehdä niistä helppokäyttöisiä ja luotettavia sekä samalla sopivan yleisiä että sopivat monenlaisiin myös vielä tuntemattomiin tarpeisiin. Luon artikkelissa katsauksen joihinkin IT-alan yleisimpiin muutoksiin tässä ajassa.

MAL:n jäsenistö on yksi avainryhmä IT:n saamiseksi palvelemaan ja hyödyttämään meitä kaikkia. Tuloksena on kehittynyt ja tehokas IT:n omaksumisen ja käyttämisen kulttuuri Suomessa. IT-ala on myös tietoyhteiskunnan ytimessä, ollen sen keskeisin arvoa tuottava ja luova sektori. IT mahdollistaa yhteiskunnan toimintojen ja tietovirtojen automatisoinnin luoden samalla pohjan tietoyhteiskunnalle. Tässä artikkelissa pohdin IT:n kehityksen nykylvaihetta ja siihen johtaneita asioita. Pyrin vastaamaan myös kysymykseen, elämmekö jo tietoyhteiskunnassa ja miltä sen lähitulevaisuus näyttää.

Esitän näkemyksen, että talouden pitkänä aaltona elämme digitalisaation huippukautta. Pitkällä aallolla tarkoitan keskeisintä talouden kasvun luoja, johon sekä uudesta kysynnästä että tuotavuuden kehittymisestä. Aiemmin pitkiä aaltoja ovat olleet esimerkiksi sähköistyminen ja autoistuminen. Digitalisaatio on ollut yhteiskunnan muutoksen ja kasvun keskeisin tekijä 30 vuotta. Toki paljon tapahtui aiemminkin IT-alalla 1960-luvulta lähtien eli jokseenkin saman ajan kuin MAL on ollut olemassa.

IT-alan kehityksen valtavirrat

Tietotekniikka kehittyy jatkuvasti ja nopeasti. Syntyy uusia yksittäisiä innovaatioita ja laajempia uusia kokonaisuuksia. Digitalisaation hallinta ja sen saaminen liiketoiminnan kehittämisen näkökulmasta arvoa tuottavaksi on yksi isoista kysymyksistä. Järjestelmien kehittäminen on kallista, joten ne on saatava maksamaan nopeasti itsensä takaisin. Tämä toteutetaan parantamalla liiketoimintaprosesseja, esim. oikomalla niitä.

On oltava tehokas kehittämisessä ja samaan aikaan oivaltava hyödyntäjä. Ketterä kehittäminen on parhaimmillaan tapa, jossa nämä yhdistyvät. Kehittäminen voidaan kohdistaa nopeimmin arvoa tuottaviin toimintoihin, kun toimitaan suhteellisen lyhyellä aikajänteellä ja ketterästi. Samaan aikaan pitää hallita järjestelmän kokonaisuus, sen arkkitehtuuri ja mahdolliset kipupisteet. Parhaimmillaan kehittäminen etenee kuin juna, aikataulussaan ja oikeaan suuntaan.

On myös mahdollista, että kehittäminen kriisiytyy joko puutteellisesta liiketoiminnan tarpeiden ymmärtämisestä tai IT-ratkaisujen soveltumattomuudesta johtuen. Järjestelmä ei ole tällöin käyttäjille hyödyllinen. Kehitystyö pitää ehkä keskeyttää tai suunnata merkittävästi uudelleen. Tulee raskaita ja kalliita iteraatioita, kun järjestelmää tehdään moneen kertaan uudelleen. IT-projektien onnistumisaste ei ole juurikaan noussut. Standish Groupin CHAOS-tutkimusten¹ mukaan epäonnistuneiden IT-projektien osuus on ollut jo pitkään noin 20 % kaikista, osittain epäonnistuneet reilut 40 % ja hyvin onnistuneet noin 40 %. Kummallisinta on, että tämä jakautuma on ollut jokseenkin vakio viimeiset parikymmentä vuotta. CHAOS-raportti tehtiin ensimmäisen kerran vuonna 1994 ja viimeisin vuonna 2020.

Esitän näkemyksen, että talouden pitkänä aaltona elämme digitalisaation huippukautta.

¹ <https://www.standishgroup.com/news/45>

Uusi tekniikka tarjoaa koko ajan uusia mahdollisuuksia ratkottavaksi kaikille asianosaisille. Lohkoketjuilla voidaan toteuttaa luotettavia palveluja ja sopimuksia. Pilvipalveluilla toimintaa voidaan skaalata helposti tarpeen ja käytön mukaan. Tekoälyllä voidaan automatisoida osa asiantuntijatyöstä, mahdollistaen työn laajentamisen inhimillisen vuorovaikutuksen suuntaan. Pikkuhiljaa päästään tilanteeseen, jossa IT ei enää rajoita tai estä tulevaisuuden mahdollisuuksiamme vaan taipuu tarpeisiin. Datan määrä kasvaa hyvin nopeasti, mutta lieenee hallittavissa sekin. Olemme siis lähellä tilannetta, jossa suurin rajoite onkin ihmisten kyky haluta, keksiä, muuttua ja tarttua uusiin mahdollisuuksiin. Kaikkiin edellä mainittuihin asioihin liittyy myös ongelmia, jotka pitää ratkoa joko lainsäädännöllä tai sopimalla osapuolten välillä. Riittävä tietosuojana on yksi esimerkki, samaten mahdollisten ympäristöhaittojen estäminen.

Valitettavasti myös rikollisuus ja pahan-
tahtoinen IT:n käyttäminen kasvaa samaa tahtia. Tammikuussa 2021 julkaistussa raportissa *The Cost of Poor Software Quality in the US: A 2020 Report*² sanotaan, että kyberrikollisuus ja sen aiheuttama taloudellinen vahinko on jo ihmiskunnan suurin tulonsiirtomekanismi 2020-luvulla. Kuulostaa hurjalta. Raportin otsikko tiivistää, mistä on kysymys: vieläkin tehdään liian huonoa laatua (mukaan lukien tietoturva) ja se tulee todella kalliiksi.

Esimerkkejä nyt käynnissä olevista murroksista, joista ainakin osa johtanee uusiin paradigmoihin:

- **Ohjelmistoilla joustavasti muokattaviin järjestelmiin.** Isotkin järjestelmät pyritään toteuttamaan vakiodusti laitealusta- ja verkkotasolla. Mahdollinen sovitustyö tehdään ohjelmistoja muokkaamalla. Vähitellen päästään – ja on jo osin päästykin – tilanteeseen, jossa ohjelmistojen rooli on isoin ja määräävä.
- **Kohti ketteryyttä ja kevyttuotantoa (Lean).** Järjestelmiä toteutettiin aiemmin erilaisten vaihejakomallien avulla, tarpeista ja määrittelyistä kohti toteutusta ja testausta. Vasta sitten päästiin kokeilemaan käytännössä, vastasiko järjestelmä tarpeita. Kun useimmiten ei vastannut, on siirrytty enemmän jatkuvaan, rinnakkaiseen tekemiseen ja syklisyyteen. Tämä on usein johtanut siihen, että käyttäjät toimivat testajina ja palvelujen kehittäjinä.
- **Kaikki voidaan nähdä palveluna.** Omaksi ostamisessa on usein haittansa: pitää sitoutua lisenssimaksuihin ja pitää arvata käyttäjien määrä ja volyymi. Kun on opittu, että tilanteet vaihtelevat ja on halua vaihtaa ratkaisua, on kätevää ostaa ratkaisu palveluna. Ensimmäinen pitää tuki tietää, mitä tarvitsee ja varmistaa, että ratkaisut löytyvät valmiina tai melkein valmiina. Myös kustannukset pitää arvioida, etteivät kustannukset nouse valmistratkaisun myötä. Myös toimittajaloukkun joutumista on vältettävä. Tietoverkkojen kehitys on auttanut merkittävästi, kun niistä on tullut tarpeeksi nopeita ja tehokkaita. Palvelun voi ostaa myös pilvestä, silloin ei tarvitse itse hankkia ja hoitaa raskasta infraa.
- **Tietoturvan, tietosuojan ja erityisesti kyberturvallisuuden korkeampi taso** vs. samanaikainen korkeampi uhka ja taitavampi hyökkääjä. Kyberturvallisuus on kaksipäinen miekka. Hyvin hoidettuna se antaa tietoyhteiskunnassa suurta kilpailuetua kansakunnalle ja yrityksille. Huonosti hoidettuna se on vakava uhka ihmisille, yrityksille ja jopa kansantaloudelle. Tähän asiaan on löydyttävä ratkaisu, melkein pä hinnalla millä hyvänsä. Usein puhutaan resilienssin eli palautumiskyvyn tarpeesta tuntemattomien uhkien torjumiseksi.
- **Suoraan ihmisen aivoihin tai muualle kehoon kytketty ja upotettu tietotekniikka** (anturit), joka on yhteydessä tietovarastoihin, muiden ihmisten aivotointoihin ja terveydenhoitojärjestelmiin. Tämä tulee haastamaan monia nykyisten yhteiskuntien toimintatapoja, vaatien myös eettisiä pohdintoja.

² <https://www.it-cisq.org/the-cost-of-poor-software-quality-in-the-us-a-2020-report.htm>

Hyvä esimerkki järjestelmien järjestelmästä (System of Systems, SoS) on moderni henkilöauto. Se sisältää kymmenittäin tai jopa pitkälti toistasataa digitaalista toimilaitetta antureineen avustamassa kuljettajaa ja estämässä vakavia ajovirheitä. Toistaiseksi kuljettajalla on ylivalta ja hän voi ajaa autoaan jokseenkin suvereenisti. Tilanne on hyvä, kun uudet autot ovat entisiä turvallisempia ja niillä on helpompi ajaa oikein. On kuitenkin mahdollista, että joku toimilaite vikaantuu ja johtaa onnettomuuteen. On myös mahdollista, että ulkopuolinen vihamielinen taho ottaa IT-järjestelmät ja sitä kautta koko auton haltuunsa.

Yleinen suunnitteluperuste on, että auto on pystyttävä aina saamaan turvalliseen tilaan. Tyyppitapaus on pysäyttäminen ja pysäköinti sinne missä se on mahdollista. Sähkökäyttöiset autot helpottavat tilannetta, kun ovat perustekniikaltaan yksinkertaisempia ja niiden IT-järjestelmät voivat olla enemmän integroitua. Autot ovat yhteentoimivia, mutta samalla enemmän toisistaan riippuvia. Toisaalta syntyy uusia tarpeita ja vaatimuksia, jotka tekevät autosta vähitellen liikkuvan työ- ja viihdeympäristön. Ohjelmistojen osuus auton suunnittelukustannuksista kasvaa. Siksi nykyään vielä IT-yhtiöinä tunnetut Apple, Google ja Microsoft miettivät mahdollisuuksiaan autoteollisuudessa yksin tai kumppanien kanssa. Lienee varmaa, että syntyy laajoja IT-alustoja, joiden varaan uusia autoja suunnitellaan tulevaisuudessa.

Toinen esimerkki tulevaisuuden SoS-järjestelmästä on kuorma-autojen muodostama juna, ns. platooning teknologia. Siinä esimerkiksi 10 kuorma-autoa ajaa ilman kuljettajaa, seuraten kärkiautoa kuin pienet porsaat emoaan. Tavoitteena on tehostaa kuljetuksia ja logistiikkaketjua. Kokonaisuuden on toimittava hyvin turvallisesti, mutta jokainen kuorma-auto on pystyttävä hallitsemaan myös erikseen. Jos autot on kytketty toisiinsa loogi-

sesti tietotekniikan avulla, rekkajuna pystytään purkamaan myös keskeltä. On selvää, että tällaiset järjestelmät on suunniteltava huolella ja testattava perusteellisesti ennen päättämistä yleiseen käyttöön.

Myös monen organisaation yhteisalue – esimerkiksi koronakriisin hoidon monet osa-alueet - voi olla järjestelmien kokonaisuus. Koronapassi on tästä hyvä esimerkki. Vastuu voi olla jakaantunut monelle taholle, samoin resurssit. Päätöksentekokyky voi olla koetuksella ristiriitaisten näkemysten johdosta. Kuulostaako poliitikalta? Sitäkin se voi olla. Koronakriisin johtamisessa on moitittu erityisesti viestintää, luultavasti siksi kun moittijat ovat itse viestinnän alalla. Jokunen soraääni on kuultu myös vastuunjaon ja komentoketjun epäselvyyksistä.

Digitalisaatio talouden pitkänä aaltona

Professori **Nikolai Kondratieff** ehdotti 1920-luvulla, että yhteiskunnan kehitysvaiheita ja etenkin taloudellista kasvua voidaan mallintaa eräänlaisina aaltona, 40–60 vuoden mittaisina suurina murroksina. Hänen arvostettu kollegansa **Joseph Schumpeter** halusi antaa niille nimen ”Kondratieffin aallot”. Puhutaan myös talouden pitkistä aalloista. Professori Kondratieff itse määritteli niistä kolme ensimmäistä: höyryvoima, rautatiet ja sähkö. Sittenmin tätä mallinnusta on käytetty uusien aaltojen kuvaamiseen ja ennakoitiin. Aaltoja käytettiin aikanaan pitkien lama-kausien ennustamiseen ja ainakin 1930-luvun osalta tässä myös onnistuttiin.

Taulukkoon 1 on koottu Kondratieffin ennustamat aallot ja hänen jälkeensä tehtyjä ehdotuksia uusiksi aalloiksi 4 ja 5. Viides aalto on tämän artikkelin kirjoittajan oma ehdotus, perustuen nykyhetken kokemuksiin digitalisaation synnyttämästä uudenlaisesta taloudellisesta toiminnasta, kasvusta ja uusista työpaikoista.

Aalto:	1	2	3	4	5
Johtava muutosvoima:	Höyry, puuvilla	Rautatiet, teräs	Sähkövoima, kemia	Öljy, autot	Digitalisaatio
Aikakausi:	1793–1847	1848–1893	1894–1939	1939–1989	1990–?
Aallon huippu:	1825	1873	1913	1956	2021
Aallon kesto, v:	54	45	45	50	?

Taulukko 1: Kondratieffin aallot ja niiden ehdotettuja jatkeita

Kondratieffin aallon huipun ajoittaminen yhteen vuoteen ja sen tarkan pituuden laskentakin on tietysti osittain mielivaltaista tai ainakin kiistanalaista. Silti idealla on merkitystä. Tuntuu luonnolliselta, että jonkin suuren murroksen kattava käyttöön tuleminen vie noin 50 vuotta eli kaksi sukupolvea. Ainakin digitalisaation osalta se vaikuttaa uskottavalta. IT-kauden – digitalisaation - eli viidennen aallon aloituksessa on parinkymmenen vuoden vaihteluväli asiantuntijoiden mielipiteissä, vaikka itse aallosta ollaan aika yksimielisiä. Digitalisaation eli silloisen ATK:n voi siis yhtä hyvin väittää alkaneen jo 1970-luvulla kuin taulukon 1 vuonna 1990. Toki digitalisaatiota oli jo aiemminkin suunnilleen saman aikaa kuin MAL on toiminut järjestönä. Se ei vain vielä ollut talouden ja tuottavuuden kasvua eniten selittävä asia ennen 1990-luvua.

Jonkin kehitysaallon väistyminen keula-paikalta ei ole sen kuolema. Päinvastoin se jatkaa eloaan hyvinkin vahvana, mutta seuraavassa aallossa on jokin vieläkin tärkeämpi arvonmuodostuksen ja uudistumisen tekijä. Hyvänä esimerkkinä on sähkö, joka on tärkein ajovoima kolmannessa aallossa. Sille ennustetaan nyt taas uutta suurta menestystä seuraavina vuosikymmeninä, kun siirrytään uusiutuviin energialähteisiin ja hajautettuun tuotantoon. Sähkö on edelleen kätevä voimallähde, ja varmaan sitä opitaan säilömäänkin suuressa mittakaavassa – kun on pakko. Ehkä seuraavat aallot ovatkin entisten aaltojen uusia sukupolvia? Samaa voi pohtia myös autojen osalta (ehdottamani neljäs aalto). Ehkä se pitää yleistää liikkumiseksi eri tavoin, esimerkiksi autonomisilla autoilla ja muilla ihan uusilla tavoilla? Silloin uusi Kondratieffin aalto olisikin edellisten risteys ja yleistys.

Uusia aaltoja on ennustettu tietotekniikan jälkeen ja siihen perustuen. Ehdotuksia megatrendeiksi ja kuudenneksi aalloksi ovat mm:

- Systemiset innovaatiot
- Uudet ympäristöteknologiat
- Älykkäät teknologiat
- Nanoteknologiat
- Terveysteknologiat, psykososiaalinen terveys

Jotkut näistä seuraavan aallon siemenistä ovat jo idullaan. Itse ennustaisin sen tulevan ekosysteemien uudenlaisen hallinnan alueelta, esimerkiksi tehdasmaisesti tehty elintarvike (esimerkiksi liha) ja suljettuun kiertoon perustuva uusi talous. Toinen vaihtoehto on tietoon perustuva talous, jossa olemme vasta alkutekijöissään.

Sähkö on edelleen kätevä voimanlähde, ja varmaan sitä opitaan säilömäänkin suuressa mittakaavassa – kun on pakko.

Aaltoja vastaava pitkiä kehityskausia kuvaava IT-alan tapa on puhuminen eri sukupolvista. Tässä artikkelissa ei mennä tähän kovin syvällisesti, jotkut sukupolvinä esitetyt kaudet ovat meille kovinkin tuttuja. Matkapuhelimissa on valtavirtaa neljäs sukupolvi 4G, ja viides sukupolvi 5G on toteutumassa kovaa vauhtia. 6G on jo suunnittelupöydällä. Tätä sukupolviksi nimeämistä on ruvettu käyttämään muuallakin, esimerkiksi:

- Johtamisen kolmas sukupolvi, Management 3.0
- Teollisuuden neljäs sukupolvi, Industry 4.0
- X-sukupolvi (ennen vuotta 1982 syntyneet), Y-sukupolvi, vuoden 1981 jälkeen syntyneet. Joskus käytetään nimitystä ”milleniaalit” tai ”nettisukupolvi” niistä, jotka ovat tulleet työelämään vasta 2000-luvulla.

Näistä kehityskuvista mielenkiintoisin lienee Teollisuus 4.0 (Industry 4.0), koska se on suoraan seurausta tietotekniikan, digitalisaation ja robotiikan käyttöönotosta. Samalla siinä nähdään muutoksia johtamisessa ja tuotteen elinkaaren aikakäyttäytymisessä. Yhä useammin tehdään kehitystä ja valmistusta rinnakkain, siirrytään jopa joustavaan ja liki reaaliaikaiseen massaräätälöintiin. Tiedonkulun ja palautteiden silmukat ovat entistäkin reaaliaikaisempia, jopa ennustavia.

Vaikka monenlaista muutosta tapahtuu, useita sukupolvia ylittävä kehitys näyttää kuitenkin yllättävän samanlaiselta. Vastauksemme kehityksen nopeutumiseen onkin kaksijakoinen: kyllä ja ei! Yksittäisissä asioissa tapahtuu nopeatkin muutoksia. Osa todellisuudesta on kuitenkin verraten muuttumatonta ja ennustettavaa. Tekniikka muuttuu kyllä nopeastikin, mutta muuttuuko inhimillinen toiminta? Tähän asti ainakaan ei niin nopeasti.

Matti Lehti pohtii teknisen kehityksen nopeutta artikkelissaan osana laajaa Digitaalinen Suomi 2017 -artikkelikokoelmaa³. Tulevaisuuden keskeisimpinä rajoitteina kehitykselle Lehti pitää tuotannon rakennemuutosta ja tietoverkkojen turvallisuutta. Niiden hallinnasta riippuu, onnistummeko yhteiskuntarauhan saavuttamisessa. Tärkeinä uusina teknologioina Lehti mainitsee esimerkiksi aurinkokeskeisen voimantuotannon, 3D-tulostuksen ja kuljetusrobotit.

Lehden mukaan on odotettavissa innovaatioiden läpimenoajan nopeutuminen. Se pätee sekä yksittäisiin tuoteinnovaatioihin että yleisiin teknologioihin. Digitalisointi voi tapahtua puolessa ajassa verrattuna säh-

köistykseen. Kondratieffin seuraavan aallon ennustettavuus olisi siis heikko. Matti Lehden oletama kehityksen nopeutumisesta on hyvinkin uskottava, koska aikamme iso ajovoima on uusiin innovaatioihin perustuva markkinoiden nopea ja globaali syntyminen.

Automaatio, robotit ja tekoäly

Automaatio (kreik. Automatos) tarkoittaa itse-toimivaa laitetta tai järjestelmää⁴. Nykyisin teollisuusautomaatio tarkoittaa usein tietokoneen käyttämistä koneiden ja tuotantoprosessien ohjaamisessa. Tuotantotekniikan osana teollisuusautomaatio on kehittyneempi aste mekanisaatiosta, jossa ihmiset käyttävät koneita työnsä apuna. Automaation hyötyjä on toistettavuus, tiukempi laadunhallinta, jätteiden vähentyminen, integraatio yrityksen muiden järjestelmien kanssa, kasvanut tuotanto ja pienentynyt työvoiman tarve. Joitakin haittapuolia ovat korkeat alkukustannukset ja suurempi riippuvuus kunnossapidosta.

Alkujaan tsekinkielisellä robotti-sanalla⁵ tarkoitettiin etymologian mukaisesti työläistä tai orjaa. Tämä vaikuttaa sanan robotti merkitykseen yhä niin, että mikä tahansa automaatti ei ole robotti, vaan robotilla on oltava joitakin ihmisen käskyjä tottelevia piirteitä. Esimerkiksi teollisuusrobotina käytetty nivelrobotti matkii ihmisen käsivarren rakenteita. Tiukasti käsitettynä kaikkia kauko-ohjattuja laitteita ei pidä kutsua roboteiksi. Koska robotti-sana on osoittautunut suosituksi, on sanan merkitys laajentunut niin, että robotiksi kutsuttu laite voi suorittaa monimutkaisia tehtäviä joko suoraan ihmisen käskytämänä, osittain ihmisen käskytämänä, ihmisen valvonnan alla tai täysin autonomisesti (tietokoneen käskytämänä). Koska myös työn luonne nyky-yhteiskunnassa on muuttunut, voidaan robotiksi kutsua myös ihmisen tekemistä korvaavia ohjelmistoja, kuten sijoitusrobotit tai useassa pelissä olevat ”botit”.

Aika hurjan metaforan saa, kun vertaa robotteja niiden esikuviin eli ihmisorjiin. Yhdysvalloissa oli laillistettu orjuus aina sisällissotaan saakka. Thomas Pikettyn menestyskirjassa ”Pääoma 2000-luvulla”⁶ selostetaan, että orjilla oli myös hintansa, jos ja kun olivat kaupan. USA:n kansantalouden kirjanpidossa orjien yhteinen kaupallinen arvo oli jopa hiukan suurempi kuin viljelysmaan arvo. Molemmat myytiinkin yleensä samassa paketissa! Kun tämän ajatuksen siirtää nykyaikaan, niin roboteillakin pitäisi olla niiden arvontuotto-kykyyn perustuva taloudellinen arvo. Orjiahan nekin ovat – tai ainakin tekevät työtä kuin orjat ilman palkkaa, työehtosopimusta ja takuuta hengen säilymisestä.

³ <https://view.taiqa.com/suomidigi/digibook2017#/page=1>

⁴ fi.wikipedia.fi/wiki/Automaatio

⁵ fi.wikipedia.fi/wiki/Robotti

⁶ Thomas Piketty: Pääoma 2000-luvulla. Into kustannus 2016.

Robotiikka on mietityttänyt ennenkin. Robotiikan kolme pääsääntöä (myös Kolme pääsääntöä ja Asimovin lait) ovat tieteiskirjailija **Isaac Asimovin** luoma moraalisisänsääntö robotteille. Säännöt esiteltiin vuonna 1942 Asimovin novellissa ”Runaround”, vaikkakin niitä oli enteilty jo aiemmissa tarinoissa. ”Robotiikan käsikirjan (56. laitos, 2058 jaa)” mukaan Kolme pääsääntöä ovat:

1. Robotti ei saa vahingoittaa ihmisolentoa tai laiminlyönnin saattaa tätä vahingoittumaan.
2. Robotin on noudatettava ihmisolentojen sille antamia määräyksiä, paitsi jos ne ovat ristiriidassa Ensimmäisen pääsäännön kanssa.
3. Robotin on suojeltava omaa olemassaoloaan, kuitenkin siten, että sen toimet eivät ole ristiriidassa Ensimmäisen ja Toisen pääsäännön kanssa.

Asimov ja muut kirjailijat ovat muuttaneet ja tarkentaneet sääntöjä. Asimov teki itse pieniä muutoksia kolmeen ensimmäiseen sääntöön kehittääkseen robottien, ihmisten ja toisten robottien välistä vuorovaikutusta. Myöhemmissä tarinoissa, joissa robotit olivat ottaneet hallinnollisen vastuun kokonaisista planeetoista ja sivilisaatioista, Asimov lisäsi neljännen – tai nollannen – säännön edeltämään kaikkia muita:

4. (0.) Robotti ei saa vahingoittaa ihmiskuntaa tai laiminlyönnin tuottaa ihmiskunnalle vahinkoa.

Näiden sääntöjen kanssa kelpaa elellä tulevaisuudessa, jos niitä vain noudatetaan. Tosin on luultavaa, että on vielä pitkä matka niin itsetoimiviin robotteihin, että ne tappaisivat luojansa.

Wikipediasta löytyy hyvä selitys myös tekoölyyn. Tekoöly⁷ eli keinoöly on tietokone tai tietokoneohjelma, joka kykenee älykkäiksi laskettaviin toimintoihin. Tekoölyn tarkempi määrittely on avoin, koska älykkyyttä itsessään on vaikea määritellä. Jo nyt Tekoöly viittaa myös aiheutta tutkivaan tieteenalaan. Keinoöly on sikäli parempi termi, että kyseessä on keinotekoinen, mekaanisesti tai ohjelmallisesti tehty äly.

Vahva tekoöly viittaa koneeseen, 1) joka lähestyy inhimillisen älykkyuden tasoa tai ylittää sen, 2) joka voi tehdä tyypillisesti ihmisille kuuluvia asioita, 3) joka voi soveltaa laajoja taustatietoja ja 4) jolla on jonkin tasoinen tietoisuus (konetietoisuus). Heikko tekoöly puolestaan viittaa koneeseen, joka käyttää ohjelmistoa joidenkin sellaisten tiettyjen on-

gelmien tutkimiseen tai ratkaisemiseen, jotka eivät sisällä ihmisen kognitiivisia kykyjä kaikessa laajuudessaan. Päinvastoin kuin vahva tekoöly, heikko tekoöly ei saavuta tietoisuutta, vaan se on lähinnä tietyn sovellusalueen ongelmanratkaisija. Esimerkkinä heikosta tekoölystä ovat tekstin- ja kuvantunnistus, asiantuntijajärjestelmät ja shakkitietokoneet, kuten IBM:n Deep Blue.

Termit ja IT-alan kieli

IT-alan sisäinen slangi on yksi ammatillinen kieli muiden joukossa, ehkä yksi keinotekoisimmista? Kuuleehan usein sanottavan, että ”en minä IT:stä mitään kuitenkaan ymmärrä” taikka toisin päin ”meidän vaatimuksemme ymmärrettiin ihan väärin”. Ei siinä arkitilanteessa mitään isoa ongelmaa ole, mutta kun tätä sattuu koko ajan isommassakin mittakaavassa.

Uudet termit ovat monesti teknisiä ammattisanoja, mutta myös yleisempi tietoyhteiskunnan kehittäminen on vaatinut omia uusia ilmaisujaan. Osa uusista termeistä on syntynyt aidosta tarpeesta, kun tulevaa ei voi menneellä ilmaista. Osa on syntynyt taas erottautumisen ja oman hännän nostamisen halusta. Iso osa termeistä on IT-yritysten luomia, tavoitteena pitää entiset asiakkaat ja valloittaa uusia markkinoita.

Osittain samakin asia on ilmaistu eri tavoin menneinä vuosikymmeninä. Esimerkiksi:

- 1960-luvulta lähtien käytettiin termiä automaattinen tietojenkäsittely, ATK
- Etenkin 1990-luvulla se sai muodon tietojen viestintäteknikka, TIVI (tai TiVi)
- Tällä hetkellä voidaan puhua yksinkertaisesti vain ICT:stä tai IT:stä, jota käytetään tässäkin artikkelissa osittain yksinkertaisuuden vuoksi ja jotka ovat lyhennelmiä englanninkielisistä termeistä ja kuvaavat englannin kielen vaikutuksen kasvamista IT-alueella.
- Digitalisaatio on melkein sama asia kuin IT, kuvaten binäärisen tiedon (0, 1) geneerisyyttä, voimaa ja vaikutusta yhteiskunnassa ja taloudessa.

Yliopistojen ja korkeakoulujen IT-oppituoli- ja -laitosten/-instituuttien nimissä on pyritty huomioimaan alan terminologiaa. Tiedeyliopistoissa on useimmiten *tietojenkäsittelytieteen* professuureja, teknillisissä korkeakouluissa/yliopistoissa *tietotekniikan* professuureja ja kauppa- ja korkeakouluissa *tietojärjestelmätieteen* professuureja. Toki eri tieteiden yhteisalueille on syntynyt lukuisia määriä muitakin oppialoja, esimerkiksi tietojohdaminen tai lääketieteen tietotekniikka.

Tekoöly⁷ eli keinoöly on tietokone tai tietokoneohjelma, joka kykenee älykkäiksi laskettaviin toimintoihin.

DATA
DIGITAL
RESI
META

⁷ Fi.wikipedia.org/wiki/Tekoöly

FIKAATIO, TWIN, LIENSSI, VERSUMI

Kausi	Esimerkkejä termeistä ja lyhenteistä, jotka yleistyivät tähän aikaan
1960-luku tai aiemmin	Atk, algoritmi, systeemin suunnittelu, pääte, sovellutus, ohjelmointi, moduuli, kybernetiikka.
1970-luku	Arkkitehtuuri, vaihejako, automaatio, järjestelmätestaus, vesiputousmalli, keskustietokone, tietokanta, iteraatio, viivakoodi
1980-luku	Olio-ohjelmointi, relaatiotietokanta, hajautettu tietojenkäsittely, tietoverkko, sulautetut järjestelmät, käyttöliittymä, protoilu, PC, TCP/IP
1990-luku	Multimedia, sähköinen markkina, ICT, Internet, tietoturva, hakukone, etätyö, tietokonevirus, e-oppiminen, kännykkä, koneoppiminen, OVT, EDI, UML
2000-luku	Pilvipalvelu, ketterä kehittäminen, älypuhelin, SaaS, sosiaalinen media
2010-luku	Tabletti, kyberturvallisuus, virtuaalitodellisuus, appi, tekoäly, Big data, SoS, DevOps
2020-luku	Datafikaatio, Digital Twin, resilienssi, metaversumi

Termien syntyminen ja korvautuminen IT-historian varrella, esimerkkejä

Etenkin isompi paradigmanmuutos tuo mukanaan uusia termejä. Yllä olevaan taulukkoon on koottu joitakin termejä menneiltä vuosikymmeniltä näkökulman ollessa lähinnä ammatillinen ja systeemityöpainotteinen. Aloitamme 1960-luvulta, vaikka moni asia on ollut olemassa aiemminkin. Termin sijoittaminen taulukkoon kuvaa sen yleistymisen ajanjaksoa IT-ammattikunnan sisällä, ei termin keksimisaikaa.

Termi "sovellutus" oli yleisessä käytössä vielä 1970-luvulla. Kun lukee sen aikaisia raportteja, huomaa osan kielestä olevan vanhahvaa. Jo 1980-luvulla puhuttiin sovelluksista. Nykyään sitäkin ei paljon käytetä, puhutaan palveluista ja appeista.

Lyhenteitäkin riittää ja niitä tehdään koko ajan lisää! Hassua huomata, että useimmat niistä ovat kolmen tai neljän kirjaimen mittaisia. En edes yritä jäsentää lyhenteiden viidakkoa⁸. Osa lyhenteistä on muualta saatua ja alalle sovellettua, esimerkiksi laatujohtamisen suunnalta.

IT-ala on ollut myös edelläkävijänä monessa asiassa, ja muut alat ovat voineet ottaa siitä oppia. Vaikka IT-ala on verraten nuori ja joidenkin mielestä vieläkin kypsytymätön, on se ollut aika kekseliäs ja omaksumishaluinen. Esimerkiksi projektitoiminta on saanut paljon lisäväyjiä IT-alalta. On ainakin opittu analysoimaan, miksi taas menttiin pieleen. Tiedon mallinnuksen menetelmiä ja UML-kaavioita⁹ on otettu käyttöön monella muulla alalla, esimerkiksi jonkin ontologian luomiseksi.

Normit ja standardit osana IT-alan kehitystä

IT-alaa on säännelty monenlaisin normeina ja sopimuksin. Suurin osa niistä on tehty tarpeeseen, välttämään tapauskohtaista kikkailua ja sähläämistä, kun voi käyttää parempaa julkista ja yleistä mallia. Hyvä esimerkki tästä ovat yleiset sopimusehdot. IT-alan liitot (TIVIA, TIPAL) ovat olleet aktiivisia sopimusehtojen kehittäjiä. Nykyisin niiden valmistelu on siirtynyt

nyt Keskuskauppakamarille (IT 2015) ja julkishallinnon osalta JUHTA-yhteistyöelimelle (JHS 166, JIT 2015). Sopimusehtoja moitittiin aikanaan liian toimittajavetoisiksi, esimerkiksi ohjelmiston omistus pysyi aina toimittajalla, jos ei erikseen muuta sovittu. Myytiin siis käytännössä käyttöoikeutta ja vieläpä hyvään hintaan. Nytemmin sopimusmallit ovat tasapuolistuneet. IT-liiketoiminnan ansaintamalli on muuttunut enemmän palveluksi, korostaen enemmän aineetonta omaisuutta ja sen hallintaa. Teettämisen kustannusten hallintaa yritetään parantaa ohjelmiston laajuuden hallinnalla samaan tapaan kuin omakotitalon urakkahinta voidaan laskea talon pinta-alan ja varustelutason perusteella.

Alan standardeja on kehitetty tavoitteena saada yhteisiä käytäntöjä ja ratkaisuja esimerkiksi yhteentoimivuuteen. Pääpaino on ollut teknisissä standardeissa, esimerkiksi API-rajapinnat. Teknistä ja tuotekohtaista standardointia on tehty enimmäkseen alan suurten toimijoiden kesken erilaisissa konsortioissa, niin sanotut de facto -standardit. Suomen kannalta tutuin standardoinnin ala on matkapuhelin (NMT, GSM, 4G, 5G ym.). Se on isolta osin niin sanottua de jure -standardointia European Telecommunications Standards Institutin (ETSI) eri työryhmissä.

IT-alan laatuvaatimuksia ja järjestelmien kehittämisen hallintaa tehdään enimmäkseen ISO-tasolla ja erilaisissa globaaleissa järjestöissä. Jonkin verran IT-alan standardointia on myös EU-tasolla. Standardointi on varsin mittavaa, ja sieltä on saatavissa paljon hyvää tavaraa. Standardien tunnettuus on kuitenkin verraten heikkoa. Useimmissa yrityksissä tuntuu riittävän enintään pari tällaista mallia kerrallaan omaksuttavaksi, esimerkiksi Cobit, CMMI/SPICE, ITIL tai ISO9001. Tietoturvan tarpeellisuuden vyöry on tehnyt joistakin standardeista ja ohjeista suosittuja, esim. ISO/IEC 27000 sarja ja saman aihepiirin VM/VAHTI-ohjeet julkishallinnossa.

⁸ Lyhenteitä on kerätty jonkin verran kirjaan Tietoyhteiskunnan kaksi puolta. Menneestä oppien, uutta oivaltaen. Ketterät kirjat 2018.

⁹ UML = Unified Modeling Language, järjestelmien standardoitu kuvauskieli

Julkishallinnon omia ohjeita on laadittu sekä omiin kokemuksiin perustuen että aktiivisen lobbauksen seurauksena. Hyvänä voi pitää, että monet ohjeet ovat tietokeskeisiä ja siten neutraalisti yhteentoimivuuteen pyrkiviä. Huomiota kiinnittää väkisin, että ohjeet ovat yleensä varsin omaperäisiä ja perustuvat vain pieneltä osin laajaan kansainväliseen standardointimateriaaliin. No, tämä on ollut IT-alalle muutenkin tyypillistä: uskotaan senhetkiseen hypeen. Jos ja kun uskotaan vallitsevaan totuuteen, se voi johtaa ajan mittaan "metodiloukkuu".

Tieto- ja viestintäteknikka valtaa jatkuvasti alaa kansalaisille suunnattujen palvelujen uudistamis- ja kehittämistyössä. Kansalaisten itsenäinen suoriutuminen on tässä kehityksessä voimakkaana oletuksena ja tavoitteena. Osallisia eivät yksin ole kansalaiset eri rooleissaan, vaan edelleen myös monien alojen asiantuntijat työtehtävissään sekä julkishallinto. Samalla on lisääntynyt tarve yksilön- ja yksityisyydensuojan parantamiseen, kun tietoja voidaan väärinkäyttää tai varastaa jopa automatisoidusti.

Elämmekö jo tietoyhteiskunnassa?

Nykyisen yhteiskuntamme tilan yleistä ja osuvaa yhtä nimikettä ei tahdo löytyä. Tässä artikkelissa käytän sanaa "tietoyhteiskunta" sen vakiintuneisuuden ja kohtalaisen yleispätevyyden takia. Mutta jo 1970-luvulta saakka on kiistelty oikeasta (tai ehkä pitäisi sanoa eniten oikeasta) termistä. **Daniel Bell** taisi aloittaa nimeämiset nimetessään vuonna 1971 kautemme olevan "information society". Tästä ongelma suomen kielessä osittain johtuikin, kun termi "information" ei ole yksikäsitteisesti käännettävissä. Siksi monet tunnetut filosofimme halusivat puhua "tietotekniikkayhteiskunnasta", koska termi "tieto" pitää säästää jalompaan ja viisaampaan käyttöön. Toinen suositeltu termi oli "informaatioyhteiskunta", mutta sen ongelmana on vain osittainen kääntäminen eli sanan informaatio tulkinnallisuus ei poistu. Löytyypä muistin kätköistä niinkin lennokka ehdotus kuin "viisausyhteiskunta". Siihen lienee vielä matkaa.

Kun viestintä tuli kiinteäksi osaksi tietotekniikkaa, puhuttiin myös "viestintäyhteiskunnasta" taikka "vuorovaikutusyhteiskunnasta". Vastaavia termejä on ehdotettu ainakin kymmenkunta, ja kaikissa on oma ideansa. Pitää siis tyytyä kohtalaisen vakiintuneeseen käytäntöön eli tietoyhteiskuntaan ja ymmärtää sen eri vivahteet.

Otetaan tähän siteeraus vuonna 1979 kirjoittamastani Sitran raportista "Tietoyhteiskunnan lyhyt historia"¹⁰:

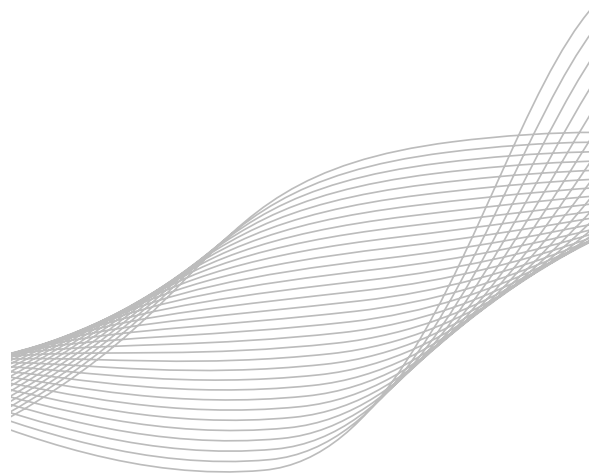
"Ensimmäiset huhut tietoyhteiskunnasta kuultiin täällä Peräpohjolassa varmaan jo 1950-luvulla, esimerkiksi viestintätutkijoiden piirissä. Ymmärrettiin, että tieto osataan eristää aineesta ja sitä voidaan käsitellä erityisten koneiden, tietokoneiden, avulla. Alaan ei kylläkään kovin uskottu, koska pari pientä tietokonetta piti riittää koko valtakunnan tarpeisiin. Näiltä ajoilta on peräisin termi tietokone, tuo pahalainen, myös tietoyhteiskunnan keskeiseksi koneeksi osoittautunut kapine. Osmo Wiio antaa Tekniikan Maailmassa 1/1999 vihdoin käsitteelle oikeutta tuovan selityksen: "TIETOKONE- sanassa on siis kaksi osaa: tieto ja kone. 'Tieto' johtuu 'tie'-sanasta, tietää tarkoitti opastamista tielle. 'Kone' tarkoitti monia asioita kuten 'juoni' tai 'kuje', mutta myös 'työkalu'. Tietokone olisi siis työkalu, joka opastaa tielle: ei mitenkään hassu ilmaisu."

Termin "tietokone" historia on varsin mielenkiintoinen, koska se on niin erilainen eri kielissä, esimerkiksi computer, datamaskinen, arvuutusmasiina... Ensimmäiseksi onkin eri kielissä vakiintunut se termi, jota koneen katsottiin enimmäkseen tekevän. Voimme lämpimästi onnitella tietokonetermin luoja suomen kielessä, sillä hän oli ainakin 40 vuotta aikaansa edellä! Tosin emme tiedä, kuka termin alun perin keksi. Tietoyhteiskunnan käsite on luonnollinen seuraus tuosta valinnasta. Ei tietokoneen tarvitse olla vain tietotekniikan symboli, vaan yleensä tietotielle saattaja.

Tietoyhteiskunta on myös sikäli osuva termi, että se vertautuu aiempien historiallisten kehitysvaiheiden käsitteisiin "maalaisyhteiskunta", "teollisuusyhteiskunta" ja "palveluyhteiskunta". Kyse on tiedosta tuotannontekijänä ja arvon lähteenä, kuten aikanaan on ollut ruoan tuotanto ja tavara tuotanto. Lisäksi tieto on suhteellisen geneerinen asia ja tuo aidosti uuden laadullisen piirteen yhteiskuntaan. Siitä syystä nimitykset kuten "höyry-yhteiskunta", "sähköyhteiskunta" tai "puhelimayhteiskunta" eivät ole yleistyneet, koska niistä puuttuu laaja yleispätevyys. Ei edes TV-yhteiskunta ole käytössä, vaikka suuri osa ihmiskunnasta käyttää TV:n katsomiseen ison osan vapaa-ajastaan!

Kun käytän termiä tietoyhteiskunta, en suinkaan ehdota sen olevan valmis. Päänsäntö isommat muutokset ovat vasta edessämme. Eikä se tarkoita, että aiemmat yhteis-

¹⁰ Risto Nevalainen: Suomi tietoyhteiskunnaksi – eespäin tiedon poluilla ja valtateilla. Tietoyhteiskunnan lyhyt historia. Sitra 1999.



Etätö sopii tietoammateissa toimiville. Julkisuudessa on mainittu, että runsas miljoona teki koronaviruksen vaikeimpaan aikaan täysin vain etätöitä.

kunnan kehitysvaiheet olisivat hävinneet. Kyllä maatalous, teollisuus ja palvelut voivat edelleen hyvin ja ovat osa arkeamme, vaikka digitaalinen tieto on tullut niiden lisäksi oleelliseksi osaksi elämäämme. Yhteiskunta siis kerrostuu pikemminkin kuin tuhoaa omaa historiaansa.

Tietoyhteiskunnan ydin lukuina

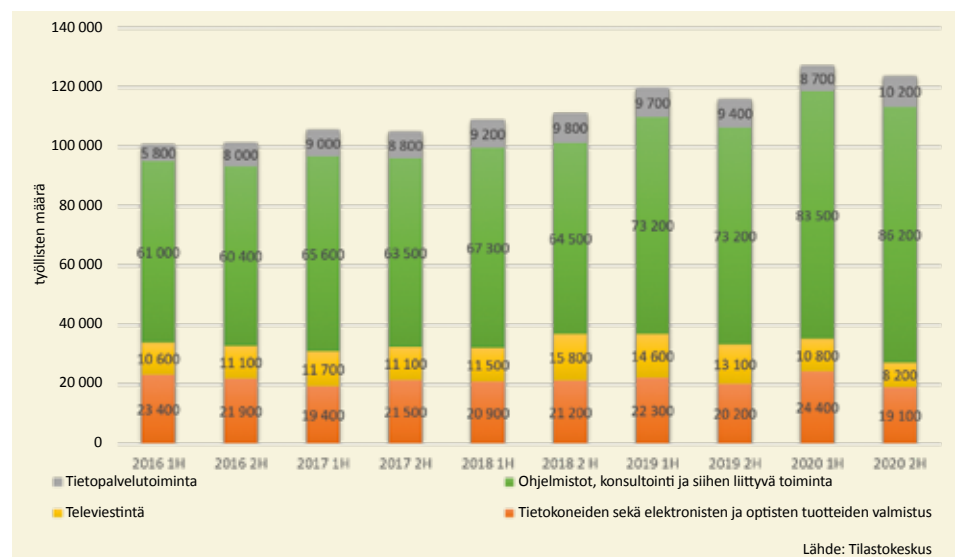
Artikkelin lopuksi luodaan katsaus IT-toimialan tärkeimpien osa-alueiden lukuihin ja tilastoihin. Siten saamme käsityksen, miten iso toimiala se on. Tietosektorinhan pitäisi olla tietoyhteiskunnan ydintä, samaan tapaan kuin maatalous, teollisuus ja palvelut olivat aikanaan vastaavissa yhteiskunnan vaiheissa. Luonnollisesti nämä aiemmatkin päätoimialansa mukaan nimetyt yhteiskunnat ovat edelleen olemassa ja tieto on niitä täydentämässä ja uutta luomassa.

Onko nimitys tietoyhteiskunta ansaittu talous- ja työllisyyslukujen perusteella? Vastaus on lyhykäisesti, että ”nipin napin” ja ”riippuen tulkinnasta”. Tiedon käsite ja tietosektori pitää tulkita laajasti myönteisen vastauksen tapauksessa, sisältäen tiedon luomisen, välittämisen, käyttämisen ja tarvittavan infrastruktuurin ammatit. Jo 1970-luvulla OECD:ssa luotiin olemassa oleviin ammattinimikkeisiin perustuva lisäluokitus ”tietoammatit”. Näiden määrä laskettiin sen aikaisesta ammatiluokituksesta Teknologiakomitean aikaan. Suomessa tieto-ammattien osuus koko työvoimasta oli vuonna 1975 25 %

ja vuonna 1980 31 %. Uusia laskelmia ei ole tehty, mutta voisi arvella tietoammattien määrän olevan nykyään 70 % suuruusluokassa kaikista ammateista. Sikäli tietoyhteiskunnan nimi kehoittaa Suomen nykyvaiheesta on paikallaan.

Etätö sopii tietoammateissa toimiville. Julkisuudessa on mainittu, että runsas miljoona teki koronaviruksen vaikeimpaan aikaan täysin vain etätöitä. Tämä luku on noin 40 % työllisistä. Jos tuo aiemmin mainittu 70 % tietotyöläisiä kaikista on suunnilleen oikein, niin sitten 30 % työvoimasta on sellaisia tietotyöläisiä, joille etätö ei sovi. Esimerkkinä on opettaja, joka tekee ”paikatyötä” eli opettaa vaikkapa lähikoulussa. Suuruusluokat vaikuttavat olevan kohdallaan. Tämän pohdinnan perusteella ollaan reilusti tietoyhteiskunnassa.

Tietoyhteiskunnan kovaa ydintä ovat tiedosta elävät ja tiedolla arvoa luovat toimialat. Toimialaluokituksessa ja kansantalouden tilinpidossa tätä on etenkin toimiala J Informaatio ja viestintä (TOL 58-63). Sen osuus työvoimasta vuonna 2019 oli noin 7 %. Yhteensä työvoiman määrä toimialalla J on noin 130 tuhatta henkilöä vuoden 2021 alkupuolella. Reipasta kasvua on ollut jo pitkän aikaa, esimerkiksi vuosina 2006–2019 yhteensä 30 %. 2010-luvun alussa oli myös lyhytaikaista alamäkeä alan työllisten määrässä. Alla olevassa kuvassa¹¹ on työllisten määrä puolivuositain vuodesta 2016 lähtien. Ohjelmistoala on suurin, työllisiä oli noin 86 tuhatta vuoden 2020 toisella puoliskolla. Kasvua oli peräti 18 % edellisestä vuodesta.



IT-toimialan työllisyys puolivuositain 2016–2020

¹¹ https://www.ficom.fi/wp-content/uploads/2021/02/ICT-alan-tyolliset-puolivuositain_Tilastokeskus-tyovoimatutkimus_sk_20210201.png

Tietotekniikka-alaa voidaan verrata suunnittelu- ja konsultointialaan. Sielläkin on paljon ohjelmisto- ja IT-lähtöistä toimintaa kun kyse on pääosin teknispainotteisesta ja insinööri-vetoisesta tuotekehityksestä. Alan työpaikkoja oli Suomessa noin 57 000 vuonna 2019¹². Elektroniikka- ja sähköteollisuus on lähes samaa suuruusluokkaa työpaikkojen määrässä. Tällä alalla oli työpaikkoja yhteensä noin 55 000¹³ vuoden 2021 alkupuolella, BKT-luvultaan tämä toimiala on selvästi suurempi, koska sisältää enemmän valmistusta ja tuotantopanosten tuontia. Jalostusarvo on kuitenkin pienentynyt 2000-luvulla lähinnä Nokian talouslukujen romahtamisen johdosta.

Ohjelmistotyön osuus on merkittävä myös liike-elämän palveluissa, samoin IT:n kannalta tärkeässä liikkeenjohdon konsultoinnissa. Muita liike-elämän palveluja ovat mm. lakipalvelut, T&K-palvelut, taloushallinto, rekrytointi, tekninen suunnittelu ja muotoilu. Kaikille näille yhteistä on korkea osaamisvaatimus. Siksi kokonaisuudesta käytetään myös nimilyhennettä KIBS (Knowledge Intensive Business Services). KIBS-alan kasvun moottorina on ulkoistaminen ja erikoistuminen eli yritysten kannattaa ostaa palvelut mieluummin kuin työllistää tarvittavat ammattilaiset itse.

Tietoliikenne on tärkeä osa tietoyhteiskunnan kovaa ydintä. Jos tietojenkäsittely ja ohjelmistot ovat tietoyhteiskunnan moottori, tietoliikenne on sen voiteluaine. Toimialaluokituksessa alasta käytetään termiä televiestintä (TOL 61). Televiestintä tarvitsee viestintälaitteita, ja tunnetusti niiden tuotanto on ollut jopa merkittävin osa suomalaisen tietotalouden arvoketjua. Viestintälaitteiden valmistuksen osuus maamme bkt:sta kasvoi 1990-luvun mittaan nopeasti, ja vuosituhannen vaihteessa osuus oli korkeimmillaan reilusti yli 6 prosenttia. Siitä osuus on laskenut, se oli vuonna 2010 enää runsaat kaksi prosenttiyksikköä. Siitä osuus on laskenut yhden prosentin tuntumaan pysyen sillä tasolla edelleen.

IT-alan työvoimamäärän laskennassa on luonnollisesti otettava huomioon myös muilla toimialoilla olevat IT-asiantuntijat. IT-ammattilaisia on töissä kaikentyyppisten yritysten

tietohallinnossa, tuotekehityksessä ja melkeinpä kaikissa muissakin funktioissa. Yhteinäistä tapaa koko IT-työmäärän laskentaan ei ole mainituista rajausongelmista johtuen.

- Yritysten ja julkishallinnon tietohallinnossa voidaan arvioida olevan 50 000–60 000 henkeä (kirjoittajan asiantuntija-arvio)
- muiden toimialojen perustehtävissä on suuri määrä IT-painotteista työvoimaa. Esimerkkeinä mainitsen pankkien, vakuutuslaitosten, valtion ja kuntien virkailijat. Heidän työnsä on puhdasta tietotyötä. Määrä nousee hurjiin lukuihin, koska palvelut ovat yleensäkin suurin työllistäjä, reilusti yli 70 % työvoimasta.

Yllä olevissa tilastoluvuissa on luonnollisesti päällekkäisyyksiä. Jotakin voidaan kuitenkin sanoa yhteenvetona tietoyhteiskunnan kovasta ytimestä:

- Ohjelmistoalalla laajasti ymmärrettynä on noin 85 000 työllistä
- Televiestintä ja muu tiedonvälitys, noin 20 000 työllistä
- Tuotekehitys ja muu insinööriläheinen IT-työ, noin 57 000 työllistä
- Liike-elämän palveluissa on reilut 100 000 IT- ja ohjelmistopainotteista ja sisältötuotannon työllistä
- Tietohallinnossa on lisäksi noin 50 000–60 000 työllistä, kuitenkin muiden toimialojen yrityksissä (alkutuotanto, teollisuus, rahoitus, julkishallinto, opetus ja tutkimus jne.)

Yhteensä näistä luvuista tulee reilut 300 tuhatta työllistä, 12–13 % työvoimastamme. Iso osa työvoimasta on yrittäjiä tai pienissä yrityksissä. Kun tähän lisätään vielä elektroniikka-alan noin 40 tuhatta työllistä, ollaan yli reilun 350 tuhannen työllisen määrässä. Se on noin 20 % tietoammateissa työskentelevien määrästä. Laskelmissani on jokunen henkilö varmaankin kahteen kertaan, mutta vastavasti jonkun pienemmän toimialan henkilöitä puuttuu, joten suuruusluokka lienee oikea.

Tietoyhteiskunnan lähitulevaisuus

Artikkelissani kuvattu digitalisaation pitkä aalto kestää vielä 20–30 vuotta. Ei se sitenkään lopu, mutta voi sulautua johonkin tulevaan antaen sille vauhtia. Tiedon merkitys korostuu nykyisestä huomattavasti. Valitettavasti myös väärän tiedon synnyttäjiä ja levittäjiä on nykyistä enemmän. Muutosvauhti on vähintään nykytasolla, todennäköisesti nopeampi. Tietoyhteiskunta on keskeinen ratkaisu moniin viheliäisiin ongelmiin, esimerkiksi ilmastomuutoksen hillintään. Muutama kriisikin koetaan jo 2020-luvulla.

Työn tekemisen tavat monipuolistuvat tietoyhteiskunnassa. Etätöihin tulee paljon uusia innovaatioita ja helpotusta. Lähityötä ja tapaamisia myös tarvitaan, eli syntyy erilaisia tekemisen ja johtamisen yhdistelmiä.

Yhteiskunnan riippuvuus digitalisaatiosta kasvaa. SOTE-alan IT-järjestelmiin ja -palveluihin uppoaa miljardeja euroja 2020-luvulla. Muutaman tunnin käyttökatko Facebookissa syyskuussa 2021 esti pääsyn muihinkin palveluihin, jos sitä käytettiin tunnistautumiseen. Se oli terveellinen muistutus yhteiskunnan haavoittuvuudesta, onneksi vielä verraten harmiton. Kyberturvallisuuden vaatimus kasvaa huomattavasti sekä talouden että maamme puolustuskyvyn kannalta.

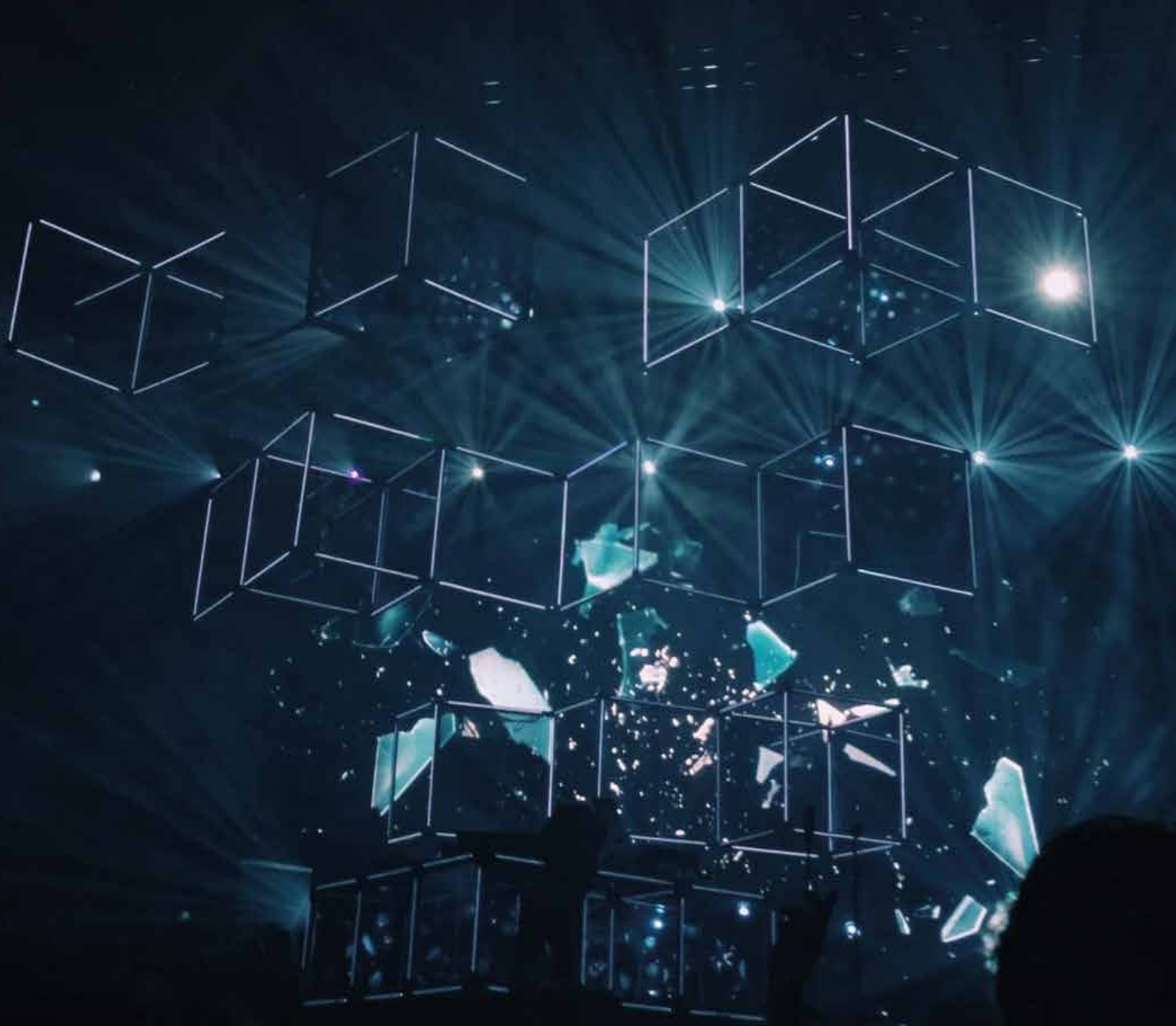
Uskon, että useimmissa tietoyhteiskunnan asioissa mennään myönteiseen suuntaan. Tietoyhteiskunta hahmottuu kansalaisille eheämpänä, avoimempana, tehokkaampana ja toimivampana. Ammattilaisilla on iso vastuu, että näin tapahtuu reilulla tavalla. ●

Risto Nevalainen (Lic. Tech.) on kokenut IT-järjestelmien laadun ja mittaamisen asiantuntija. Hän on FISMA-verkoston kehittäjä ja sen pitkäaikainen Senior Advisor. Hän on toiminut tutkimustehtävissä ja IT-alan konsulttina, ja Tiek ry:n toiminnanjohtajana 1989 – 1995. Vuosina 1979 – 1980 hän työskenteli Valtioneuvoston kansliassa Teknologiateollisuuden pääsihteerinä. Uransa alusta lähtien Nevalainen on ollut aktiivinen tietoyhteiskunnan edistämisessä, etenkin IT-alan standardoinnissa. Hän on kirjoittanut lukuisia julkaisuja ja artikkeleita, useimmiten osana jotakin kansallista hanketta. Hän on ollut mukana myös ydinturvallisuuden kansallisessa tutkimusohjelmassa SAFIR ja luomassa Nuclear SPICE-mallia digitaalisten järjestelmien kelpoistamiseen ja toimittajien arviointiin.

¹² https://skol.teknologiateollisuus.fi/sites/skol/files/inline-files/Suunnittelu-%20ja%20konsultointialan%20lukuja_0.pdf

¹³ <https://teknologiateollisuus.fi/fi/talous-ja-toimiala/tilastotietoa-teknologiateollisuudesta-seka-suomen-ja-maailman-taloudesta>

Kyberturvallisuuden vaatimus kasvaa huomattavasti
sekä talouden että maamme puolustuskyvyn
kannalta.



MATEMATIIKKA YLIOPPILASTUTKINNOSSA



”Älköön kukaan geometriasta tietämätön astuko sisään.” – Platon (n. 388 eaa.)

Yllämainittua Platonin Akatemian sisäänpääsyvaatimusta voidaan pitää vanhimpana ylioppilastutkintona. Sen esikuvan myötä matematiikka asettui pysyväksi osaksi yliopistojen pääsyutkintoja. Niinpä Suomen ensimmäisen yliopistonkin, 1640 perustetun Turun Akatemian, sisäänpääsy edellytti myös matematiikan osaamista.

Ylioppilastutkinnon alkuvaiheita

Ennen vuotta 1918 ylioppilastutkinnon tarkoituksena oli ainoastaan saada selville kokeilaiden kelpoisuus yliopisto-opintoihin maamme ainoassa yliopistossa. Yliopistolla ei aluksi ollut selviä sisäänpääsyvaatimuksia. Dekaanin järjestämän suullisen tutkinnon kysymykset ja arvostelu olivat täysin mielivaltaisia. Kerrankin eräs dekaani sai Akatemialta nuhteet siitä, että oli etukäteen ilmoittanut hyväksyvänsä kaikki kokeilat ja myös tehnyt sen. Huomautuksen jälkeen dekaani alkoi hylätä kaikki kokeilat ja sai taas nuhteet.

Ylioppilastutkinto lähestyi nykymuotoa 1800-luvulla. Kysymykset sidottiin lukion oppimäärään ja tutkintoon tuli kirjallisia kokeita, jotka suoritettiin lukiassa. Vuonna

1874 tutkinnon tarkoitukseksi asetettiin ”koe-tella ovatko ne nuorukaiset (!), jotka tahtovat opintoja yliopistossa harjoittaa, tajunsa puolesta siihen tarpeeksi valmistautuneita ja onko heillä tarpeelliset tiedot”. Tutkintoa pidettiin vaativana ja hylkääminen oli tavallista. Esimerkiksi vuonna 1874 hylättiin 32 prosenttia kokeilaista.

Tutkinnossa oli aluksi vain yksi, kaikille sama matematiikan koe. 1800-luvun lopulla alettiin perustaa reaalilyseoita, joihin tuli vanhoja klassisia lyseoita laajempi matematiikan oppimäärä. Niinpä ylioppilastutkintoon alettiin laatia kaksi matematiikan koetta: pitemmän ja lyhyemmän kurssin kokeet.

Suomen itsenäistyttyä uudistettiin ylioppilastutkinnon säädöspohja. Maahamme oli perustettu uusia yliopistoja ja korkeakouluja: Teknillinen Korkeakoulu 1908, Åbo Akademi 1919 ja Turun yliopisto 1920. Muuttuneessa tilanteessa katsottiin, että ylioppilastutkinto ei enää voi olla yliopiston pääsyutkinto, vaan ainoastaan lukion päättötutkinto.

Vuoden 1919 ylioppilastutkintoasetus määritteli tutkinnon tarkoitukseksi saada selville, ”olivatko oppilaat saavuttaneet riittävän kypsyys- ja oliko heillä vahvistettujen opintokurssien mukainen tietomäärä”.

Asetuksessa kiteytettiin ylioppilastutkinnon tehtävä niin hyvin, että se on säilynyt ennallaan kaikissa lukion ja tutkinnon uudistuksissa. Myöhemmät statuutit ovat ainoastaan muuttaneet hieman sanamuotoja.

Kokeen tarkoitus

Matematiikan kohdalla tutkinnon tarkoitus on siis saada selville, onko abiturientilla riittävä matemaattinen kypsyys ja onko hänellä opiskelemansa matematiikan opintosuunnitelman mukaiset tiedot ja taidot. Työvälineenä selvitystyössä lautakunta käyttää laatimiaan matematiikan kokeita.

Tärkein vaatimus on matemaattinen kypsyys. Mitä se on? Lyhyesti sanottuna se on kyky muodostaa matemaattisia rakennelmia. Kuten kaikessa rakentamisessa, tässä on kaksi osaa: suunnittelu ja toteutus. Matematiikan rakennussuunnittelu vaatii nimensä mukaisesti *matemaattista ajattelua*. Kyse ei ole mistään ihmeellisestä, tavallinen johdonmukainen ajattelu, ”maalaisjärjen käyttö” riittää. Rakentaminen vaatii tietysti sopivien työkalujen hankintaa ja niiden käyttötaitoa.

Sekä pitkään että lyhyen matematiikan kokeella pitäisi siis saada mahdollisimman



”olivatko oppilaat saavuttaneet riittävän kypsyys-
den sekä oliko heillä vahvistettujen
opintokurssien mukainen tietomäärä”

hyvä arvio kokelaan matemaattisesta kypsyys-
destä sekä tiedoista ja taidoista. Tarkemmin
sanottuna, kokeella pitäisi pystyä mittaamaan
kahta yhteen nivoutuvaa asiaa: matemaattista
rakentamiskykyä sekä opetus suunnitelmassa
mainittujen matemaattisten työkalujen tun-
temusta ja käytön osaamista.

Ylioppilastutkintolautakunta ilmoittaa
arvosanalla, kuinka hyvin kokelas on sel-
viytynyt kokeesta. Arvosana ei ole kokelaan
kypsyys- ja tietojen ja taitojen osaami-
sen tarkka mittaluku, vaan kokeen antama
aproksimaatio mittaluvulle.

Kokeen toteutuksesta

Tarkoituksensa täyttävien matematiikan ko-
keiden laadintaa vaikeuttavat käytännön aset-
tamat rajoitukset. Ensimmäinen on koeaika.
Tehtävät on laadittava niin suppeiksi, että koe
voidaan suorittaa kuudessa tunnissa. Toinen
on tehtävien lukumäärä. Kokeessa saa käsitel-
lä enintään kymmentä tehtävää. Lienee selvää,
että näillä rajoituksilla on vaikutusta kokelai-
den luotettavaan arviointiin, suunniteltiinpa
koetehtävät kuinka hyvin tahansa. (Turun
Akatemian aikana ongelmaa ei ollut, koe oli
suullinen, eikä suoritusaikaa tai kysymysten
määrää ollut rajoitettu.)

Koko opetus suunnitelman kattavien
tehtävien laatiminen onnistuu melko hyvin

lyhyen matematiikan kokeessa. Pitkässä ma-
tematiikassa tämä ei enää ole mahdollista
suuremman kurssimäärän vuoksi. Käytännös-
sä pitkässä kokeessa kysytään aina keskeisiä
asioita ja muista laaditaan tehtäviä muuta-
man koekerran välein.

Kokelaan kypsyys- ja testaaminen eli sen,
osaako hän matemaattista rakentamista,
onnistuu melko hyvin pitkän matematiikan
kokeessa. Sen sijaan lyhyen matematiikan ko-
keessa se on hankalaa. Työkalujen esittely on
lyhyessä matematiikassa niin vajavaista, että
ainoastaan lähes triviaalit rakennustehtävät
ovat mahdollisia. Kypsyys- ja mittaminen
niillä jää vajavaiseksi.

Oma kysymyksensä on apuvälineiden
salliminen. Kuinka paljon abiturientin pitää
itse muistaa matematiikasta? On selvää, että
työkalujen perusominaisuudet ja käyttö on
osattava. Yhtä selvää on, että pelkkien me-
kaanisten sääntöjen ulkoa osaaminen ei ole
matematiikkaa. Selvää ei ole, mihin vedetään
raja. Lisäksi rajakohta siirtyy kehityksen myö-
tä jatkuvasti eteenpäin.

Kirjoitin ylioppilaaksi SMFL:n perustamis-
vuonna 1961. Silloin asia oli yksinkertainen.
Kokelaalla sai olla viivoittimen, harpin ja
astelevyn lisäksi vain logaritmitaulut. Vi-
meksi mainittua laskimen esiasetta tarvit-
tiin trigonometrisissä laskuissa sekä suuri-
numeroisissa kerto- ja jakolaskuissa. Kaikki

matematiikan kursseissa esiintyneet kaavat
oli osattava ulkoa.

1970-luvulla MAOL alkoi julkaista tau-
lukkikirjaa matematiikan, fysiikan ja kemian
kaavoista. Harkittuaan asiaa lautakunta hy-
väksyi taulukkikirjan sallituksi apuvälineeksi.
Päätös helpotti selvästi abiturientin elämää.
Samoihin aikoihin ilmestyivät ensimmäiset
laskimet. Nämä hyväksyttiin kokeen apuväli-
neiksi ja logaritmitaulut siirtyivät historiaan.

Laskimiin tuli nopeassa tahdissa yhä
edistyneempiä ominaisuuksia. Lautakunta
joutui jatkuvasti miettimään, miten ominai-
suudet vaikuttaisivat matemaattista kypsyys-
mittavien tehtävien laadintaan. Aluksi lue-
teltiin kokeessa sallitut laskinmerkit, mutta
tämä kävi nopeasti mahdottomaksi. Lopulta
lautakunta 2000-luvun alussa päätti käytän-
nössä sallia kaikki laskimet. Päätös oli epä-
tyydyttävä, mutta ainoa mahdollinen. Se ei
ainakaan parantanut kokeen arviointikykyä,
vaikka kypsyys- ja mittaviin tehtäviin ja niiden
arvosteluun tehtiinkin vastaavia muutoksia.
Seuraava muutos apuvälineisiin tehtiin vuon-
na 2019. Siitä enemmän jatkossa.

Kokeen muodosta

Ensimmäinen kirjallinen matematiikan koe
pidettiin vuonna 1874. Siinä oli kymmenen
tehtävää, jotka kaikki oli tarkoitus ratkaista.

Tämä muoto säilyi muuttumattomana lähes sata vuotta.

Lukiassa alettiin 1960-luvulla kokeilumielessä tarjota halukkaille koulukurssit ylittävää tietoa mm. differentiaaliyhtälöistä ja todennäköisyyslaskennasta. Sen mukaisesti laadittiin vuodesta 1967 alkaen matematiikan kokeisiin lisätehtävät 11 ja 12, jotka ”vaativat tietoa tavallisen koulukurssin ulkopuolelta”. Edelleen sai ratkaista enintään kymmenen tehtävää. Ylikurssin tehtävät eivät saaneet erityisempää suosiota ja osaamisen taso jäi matalaksi. Niinpä kokeilu lopetettiin vuonna 1973.

Vuoden 1970 alussa uudistettiin matematiikan oppimääriä merkittävästi. Sen vuoksi matematiikan kokeisiin laadittiin siirtymäkaudeksi muutamia vaihtoehtoisia tehtäväpareja, toinen uuden ja toinen vanhan oppimäärän mukaan. Jostain syystä vaihtoehtoisia tehtäväpareja laadittiin vielä siirtymäkauden jälkeenkin aina vuoteen 2000 asti.

Lukion valinnaisuutta lisättiin merkittävästi 1990-luvulla. Ylioppilastutkinnon matematiikan koe uudistettiin vastaavasti. Vuodesta 2000 alkaen kokeessa oli 15 tehtävää, joista kokelas sai vapaasti valita enintään kymmenen. Lisätyn valinnaisuuden odotettiin lisäävän suoritusten tasoa. Näin tapahtui vain osittain. Korkeiden suorituspisteiden lukumäärä kasvoi, mutta matalien pysyi ennallaan.

Valinnainen koe ei täysin vastannut odotuksia. Se paljasti kuitenkin puutteita perusosaamisessa. Niinpä matematiikan kokeet uudistettiin vuonna 2016. Kokeista tuli kuudessa tunnissa suoritettavat kaksiosaiset kokeet. Ensimmäisessä A-osassa oli neljä perustaitoja mittaavaa tehtävää. Kaikki piti ratkaista ilman laskinta. B-osassa sai käyttää laskinta. B1 osan viidestä tehtävästä sai ratkaista enintään kolme ja B2 osan neljästä tehtävästä enintään kolme. Kaikkiaan sai ratkaista enintään kymmenen tehtävää. Uusi koemuoto paransi sekä matemaattisen kypsytyksen että tietojen ja taitojen arviointia. Erityisesti A-osan laskimettomilla tehtävillä sai entistä paremman arvion kokelaiden perustaitojen hallinnasta. B-osaan jätetty valinnaisuus teki kokeen vähemmän riippuvaiseksi opetussuunnitelmien mahdollisista koulukohtaisista eroista.

Digitaalinen koe

Matematiikan koe koki suurimman muutoksensa keväällä 2019. Koe muuttui digitaalseksi viimeisenä ylioppilastutkinnon kokeista. Kokeen rakenne A- ja B-osineen säilyi ennallaan, mutta suoritustapa muuttui täydellisesti. Tehtäväpaperit ja ratkaisujen suorituspaperit hävisivät ja tilalle tuli tietokone, johon tehtä-

vät ladattiin ja jonka muistiin ratkaisut kirjoitettiin edelleen lautakuntaan sähköisesti lähetettäväksi.

Tämä edistysaskel oli samalla paluuta menneeseen. Vielä ylioppilasvuotenani 1961 piti ratkaista kirjoittaa puhtaaksi musteella. Puhtaaksikirjoituksesta luovuttiin pian tämän jälkeen. Sen seurauksena kokelaiden kirjoittamat ratkaisut muuttuivat epäselvemmiksi sekä käsialaltaan että rakenteeltaan. Monasti oli vaikea saada selvää, mitä kokelas oli ajatellut. Digitaalisessa kokeessa abiturientin on jälleen kirjoitettava ratkaisunsa puhtaaksi. Niinpä niissä ei ole käsialaongelmia. Myös ratkaisujen esitystapa parani selvästi. Digitaalisuuden varjopuolena on, että kaavojen kirjoittaminen tietokoneella on paljon hankalampaa ja hitaampaa kuin käsin kirjoittaminen. Matematiikan kokeella olikin tutkinnon pisin siirtymäaika, jotta kokelaat ehtisivät lukiassa totuttautua uudistukseen.

Digitalisointi poisti yhden kokeen laadinnan ongelmista. Tehtävien mittaa olivat siihen asti rajoittaneet monistuskustannukset. Vielä vuonna 1961 tehtäväpaperin koko oli vain A5. Sen jälkeen saatiin käyttöön A4, ensin yksipuolisesti ja sitten kaksipuolisesti. Vuonna 2010 tehtäville sallittiin jo koko nelisivuinen A4 arkki. Tämäkin koko rajoitti vielä aineistopohjaisten tehtävien käyttöä. Digitaalisessa kokeessa ei tilaongelmaa enää ole. Sähköinen koemuoto antaakin entistä paremmat edellytykset kokelaiden matemaattisen kypsytyksen arviointiin.

Digitalisoinnista saatiin myös ratkaisu apuvälinekysymykselle. Lautakunta päätti sisällyttää kaikki tehtävissä sallitut apuvälineet koejärjestelmän ohjelmiin. Kokeessa ei saa enää käyttää erillisiä laskimia, eikä taulukko-kirjoja. Samalla poistui yksilöllisistä apuvälineistä mahdollisesti aiheutuva eriarvoisuus.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että nykyiset matematiikan kokeet digitaalisessa muodossaan ovat hyviä ja ajantasaisia mittareita sekä matemaattiselle kypsytykselle että tiedoille ja taidoille. Kokeista saadut arvosanat ovat luotettavia valintaperusteita jatko-opintoihin.

Asema ylioppilastutkinnossa

Matematiikka on aina ollut ylioppilastutkintoaine. Sen asemassa on kuitenkin tapahtunut useita muutoksia. Matematiikan koe oli pakollinen Turun Akatemian perustamisesta aina vuoteen 1941. Itsenäistynyt Suomi piti matematiikan osaamista jopa niin tärkeänä, että vuoden 1919 asetukseen kirjattiin matematiikan kokeiden hyväksymisraja: Oli käsiteltävä tyydyttävästi vähintään kolmea

Digitaalisuuden varjopuolena on, että kaavojen kirjoittaminen tietokoneella on paljon hankalampaa ja hitaampaa kuin käsin kirjoittaminen.

tehtävää. Ehkäpä tästä johtuen kokeiden hylkäysprosentit nousivat 1920- ja 1930-luvulla jopa lähelle kahtakymmentä ja aiheuttivat ainakin yhden eduskuntakyselyn.

Sotien poikkeusoloissa tutkintoa helpotettiin siirtymällä viidestä neljään pakolliseen kokeeseen siten, että riitti suorittaa joko matematiikan koe tai reaalikoe. Jostain syystä tämä poikkeussääntö säädettiin pysyväksi vuoden 1947 asetuksessa. Matematiikan hyväksymisraja jätettiin samalla pois asetuksesta. Matematiikan kokeen pakollisuus palautettiin vuonna 1962, mutta vain pitkän matematiikan lukeneille. Pakollisuudesta luovuttiin vuonna 1994, eikä siihen ole palattu.

Tutkinnon rakenne säilyi ennallaan useista muutostyryksistä huolimatta aina vuoteen 2006. Tällöin laajennettiin valinnanvapautta huomattavasti. Uudessa tutkinnossa kokelaan oli suoritettava äidinkielen koe ja kolme koetta seuraavista neljästä: matematiikan koe, reaalikoe, vieraan kielen koe, toisen kotimaisen kielen koe.

Uudistus teki matematiikasta tasa-arvoisen muiden aineiden kanssa. Lisätyn valinnanvapauden uskottiin innostavan erityisesti ruotsin kielestä kiinnostumattomia siirtymään matematiikkaan. Tulos oli toisenlainen. Matematiikan kokeen pakolliseksi valitsevien määrä kasvoi kyllä selvästi, mutta kokeen ylimääräiseksi valitsevien määrä pieneni lähes vastaavasti. Lisäksi matematiikan kokeiden suoritusten taso laski. Olisi luullut, että ylimääräisestä kokeesta pakolliseen siirtyvät perehtyisivät paremmin matematiikkaan. Näin ei kuitenkaan ilmeisesti käynyt.

Seuraava tutkinnonuudistus astuu voimaan vuonna 2022. Siinä tutkinnossa suoritettavien kokeiden vähimmäismäärä nousee neljästä viiteen. Kokelaan on suoritettava äidinkielen koe ja vähintään neljä koetta vähintään kolmesta aineryhmästä; matematiikka, reaalitieteet, vieraat kielet, toinen kotimainen kieli. Koska suurin osa abiturienteista on tähänkin asti suorittanut ainakin viisi koetta, muutos vaikeuttanee vain harvojen tutkintoa. Uudistus ei juurikaan muuta matematiikan asemaa tutkinnossa.

Pääsy jatko-opintoihin

Vuoden 1919 asetuksessa säädettiin myös, että ylioppilastutkinnon suorittanut oli oikeutettu jatkamaan opintojaan yliopistossa tai korkeakoulussa. Aluksi ylioppilaat otettiin suoraan haluamansa opinahjon kirjoihin. Ylioppilasmäärän kasvaessa yliopistot ja korkeakoulut alkoivat valikoida opiskelijoita omilla pääsykokeillaan. Pääsykokeisiin

siirtyivät ensiksi Teknillinen Korkeakoulu 1920-luvulla ja Lääketieteellinen tiedekunta 30-luvulla. Vähitellen ne yleistyivät kaikilla jatko-opintosuunnilla ja alkoivat dominoida. Vain harvoin opintosuuntiin saattoi enää päästä suoraan ylioppilastodistuksella. Valtaosa abiturienteista joutui kaksinkertaisen uurastuksen loukkuun. Ensin piti ahkeroida ylioppilastutkintoon ja heti sen jälkeen valintakokeisiin. Systeemi synnytti kirjavan joukon kaupallisia valmennuskursseja, jotka ilmoittelivat voivansa taata lähes varman sisäänkäynnin.

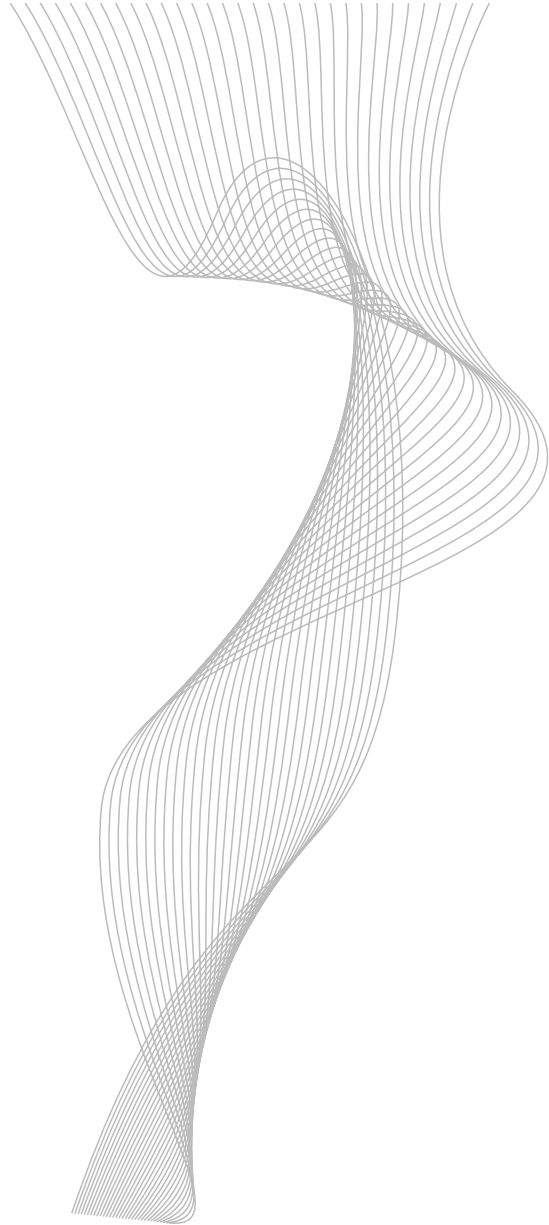
Syntynyt kaksinkertainen systeemi ei ollut sen paremmin opiskelijoiden kuin yhteiskunnankaan edun mukainen. Lopulta opetus- ja kulttuuriministeriö ajoi vuonna 2018 läpi merkittävän valintauudistuksen. Vuodesta 2020 alkaen oli yliopistojen täytettävä yli puolet opiskelijapaikoista ylioppilastutkinnon arvosanoihin perustuen. Arvosanat pisteytetään Suomen yliopistojen rehtorineuvoston julkaisemien pistetaulukoiden mukaisesti.

Rehtorineuvoston taulukoissa on kiitettävästi huomioitu matematiikan merkitys. Eniten pisteitä saa pitkän matematiikan arvosanoista! Tämä on aiheuttanut arvostelua ainakin humanistisilta tiedekunnilta. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin osoitettu, että matematiikan kokeen arvosanalla voidaan hyvin ennustaa yleistä menestymistä jatko-opinnoissa.

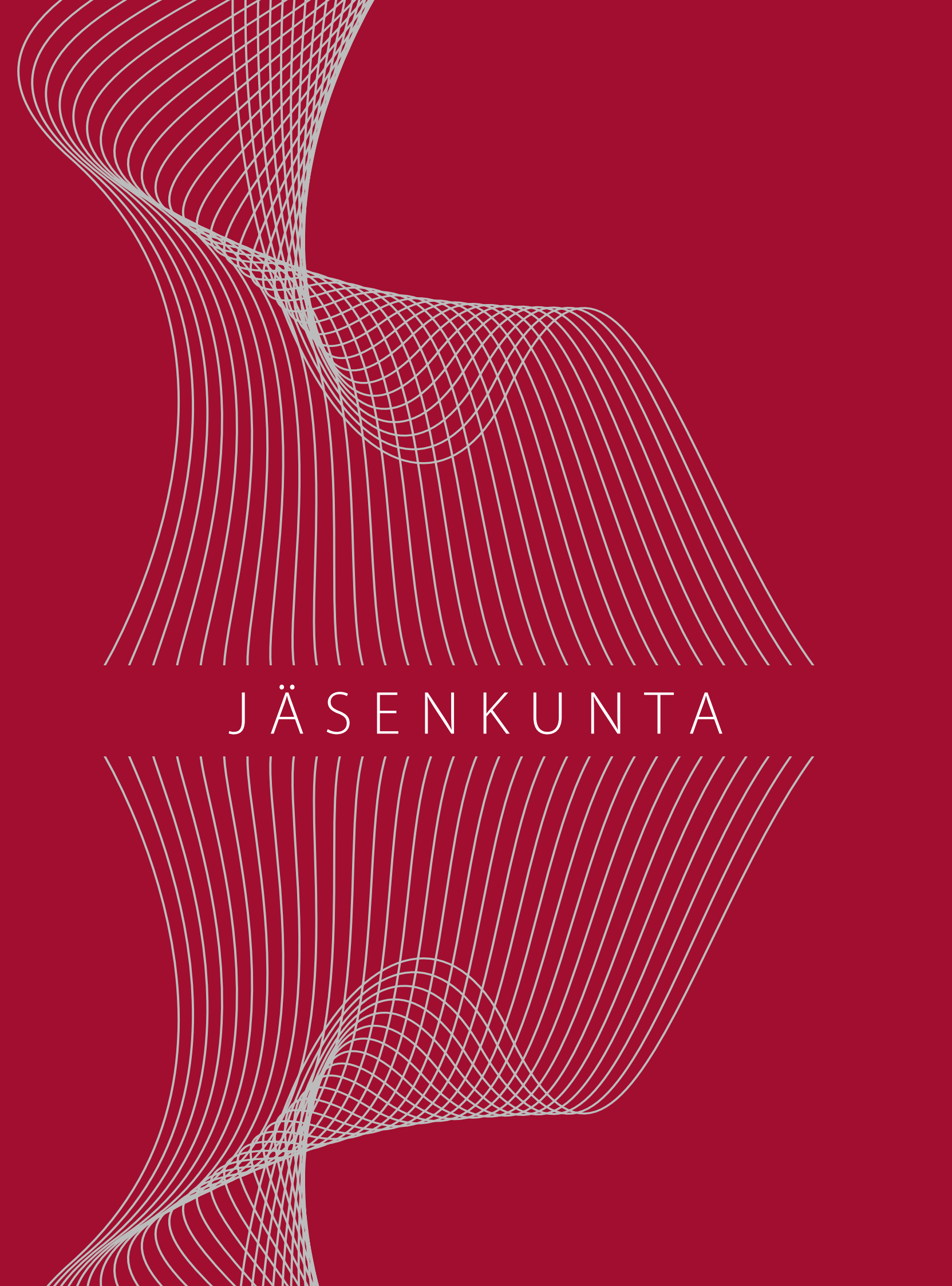
Valintauudistus on välittömästi lisännyt pitkän matematiikan suosiota ylioppilastutkinnossa. Kun pitkän matematiikan kokeeseen ilmoittautui keväisin 2012 – 2019 keskimäärin 11 000 abiturienttia, oli heidän määränsä keväällä 2020 jo 13 760 ja tämän vuoden keväänä peräti 14 895. Vastaavasti syksyn pitkän matematiikan kokeisiin ilmoittautui vuosina 2012 – 2019 keskimäärin 1400, mutta syksyllä 2020 huikat 4188 ja tänä syksynäkin 3219. Kasvaneen suosion myötä voimme vihdoinkin saada enemmän hyviä opiskelijoita matematiikkaa edellyttäviin jatko-opintoihin.

Platonin kaukonäköisyys

Platon asetti Akatemiansa sisäänkäsysehdoksi matematiikan osaamisen. Se oli hyvin kaukonäköinen teko aikana, jona matematiikka oli vain filosofien harrastusta. Tänä tiedämme matematiikan ensiarvoisen tärkeyden luonnontieteissä, tekniikassa ja yhteiskunnassa. Yliopistojen uudet valintaperusteet merkitsevät tervetullutta palaamista Platonin käsitykseen matematiikan osaamisen tärkeydestä jatko-opinnoissa. •



Aatos Lahtinen on professori emeritus. Hän toimi Helsingin yliopiston sovelletun matematiikan apulaisprofessorina 1977 – 1998 ja professorina 1998 – 2006. Lahtisen 40-vuotinen ura ylioppilastutkintolautakunnassa huipentui lautakunnan puheenjohtajuuteen 1998 - 2006. Tälle ajalle sijoittuvat tutkinnon rakenteen muuttaminen valinnaiseksi sekä reaalikokeen uudistaminen erillisten reaalitieteiden kokeiksi. Lahtinen oli mukana perustamassa eurooppalaisten matemaatikkojen järjestöä European Mathematical Society ja toimi pitkään sen hallituksessa. Hän on toiminut myös eurooppalaisen ylioppilastutkinnon European Baccalaureate tutkintolautakunnan puheenjohtajana.

The background is a solid red color. Overlaid on this are two large, symmetrical, abstract shapes made of thin white lines. These shapes resemble stylized, flowing waves or a series of overlapping, curved lines that create a sense of movement and depth. The lines are more densely packed in some areas, creating a mesh-like effect, and more spread out in others. The overall composition is balanced and modern.

JÄSENKUNTA

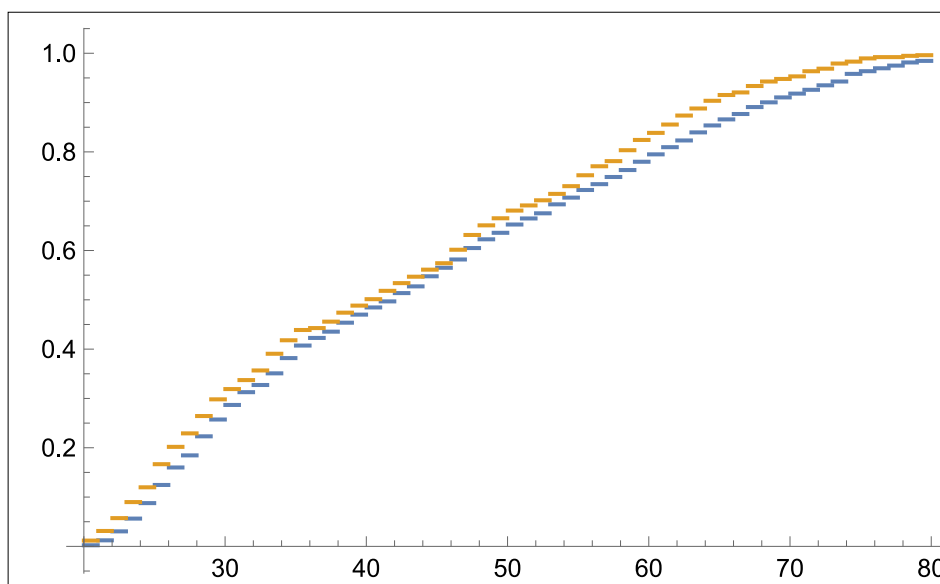
MALIN JÄSENISTÖ VUONNA 2021

Koska MAL on TEKin organisaation näkökulmasta TEKin kerho ja kaikki MALin jäsenet ovat TEKin jäseniä, MAL ei ylläpidä omaa jäsenrekisteriä. Esimerkiksi jäsenpostitusten osoitetiedot ladataan TEKin rekisteristä.

Juhlavuoden merkeissä MALin hallitus pyysi viime kesänä TEKistä tietoja jäsenkunnan tämänhetkisestä koostumuksesta, ja saimme tutkittavaksemme anonyymiä dataa jäsenten iästä, sukupuolesta, yliopistosta, tieteenalasta sekä nykyisistä postinumeroista. Tulokset olivat mielenkiintoisia ja jossain määrin yllättäviä MALin hallituksellekin. Seuraavat tiedot perustuvat otteeseen TEKin jäsenrekisteristä 3.9.2021.

MALin jäsenmäärä oli syyskuun vaihteessa 2968, josta miehiä 2200 ja naisia 768 (rekisteri ei nykyisellään sisällä kolmatta vaihtoehtoa). Kokonaismäärä ja sukupuolijakauma on saatu TEKistä vuosittain ja jäsenmäärä on varsin pitkään liikkunut noin 3000:n vaiheilla. Kuvassa 1 näytetyt miesten ja naisten ikien kertymäfunktiot osoittavat, että sukupuolijakauma on pysynyt huomattavan stabiilina halki ikäluokkien.

Heti seuraavat numerot kertoivatkin jo ”uutisen”: täysjäseniä oli 1637, opiskelijajäseniä 946 ja eläkeläisjäseniä 385. Näiden osajoukkojen ikämediaanit olivat seuraavat: täysjäsenet 47, opiskelijat 26 ja eläkeläiset 71 vuotta. Tämä merkitsee sitä ilahduttavaa asiaa, että MALilla on huomattavasti enemmän opiskelijajäseniä kuin me veteraanipainotteisen hallituksen jäsenet olemme arvanneetkaan!



Kuva 1. Miesten (sininen) ja naisten (oranssi) ikien kertymäfunktiot.

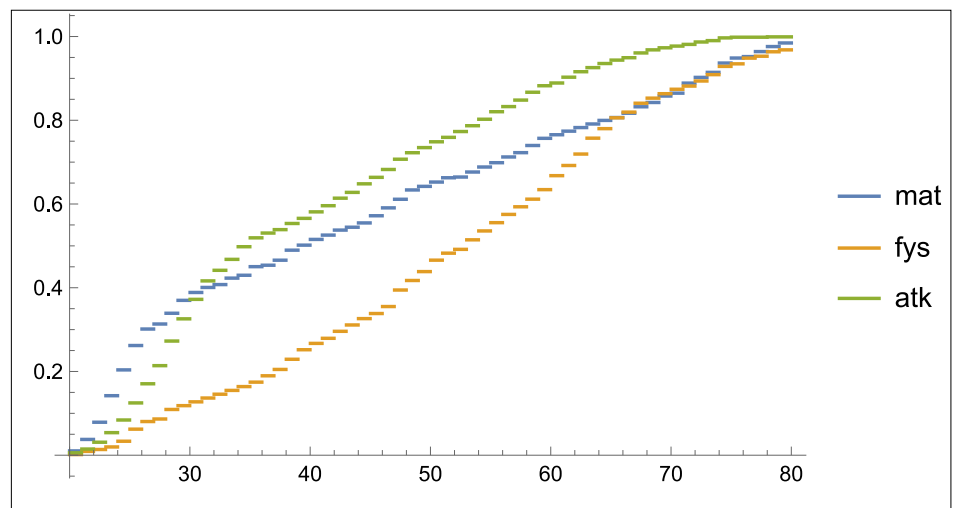
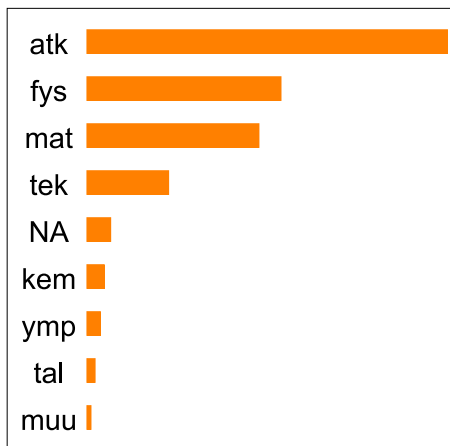
Seuraavaksi tarkastelemme jäsenten jakautumaa heidän yliopisto-opintojensa tieteenalojen mukaan. Jäsenrekisterin tietoihin sisältyy useimmilla yliopisto ja pääaine. Koska

pääaineiden tarkkoja muotoiluja on erittäin paljon, teimme niille karkeamman luokittelun seuraavasti:

mat	matematiikka ja tilastotiede
fys	fysiikka ja tähtitiede
atk	tietojenkäsittely ja datatiede
tek	tekniikka, tuotanto
kem	kemia
ymp	bio-, geo- ja ympäristötieteet, arkkitehdit
tal	talous ja johtaminen

Koska MAL on TEKin organisaation näkökulmasta TEKin kerho ja kaikki MALin jäsenet ovat TEKin jäseniä, MAL ei ylläpidä omaa jäsenrekisteriä.

Näin ryhmiteltyinä MALin jäsenten pääaineet jakautuvat tällä hetkellä seuraavasti (NA: tieto puuttuu):

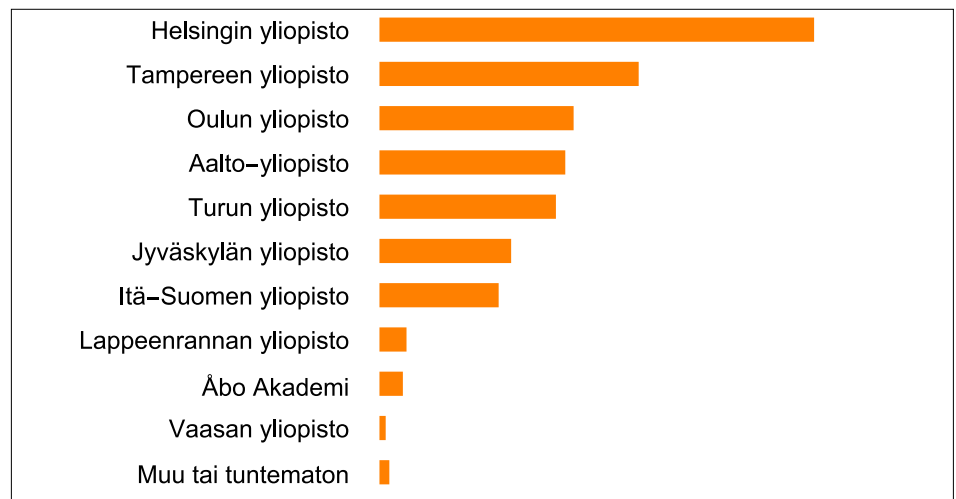


Kuva 2. Ikäjakauksen kertymäfunktio MALin jäsenten kolmella päätiiteenalla.

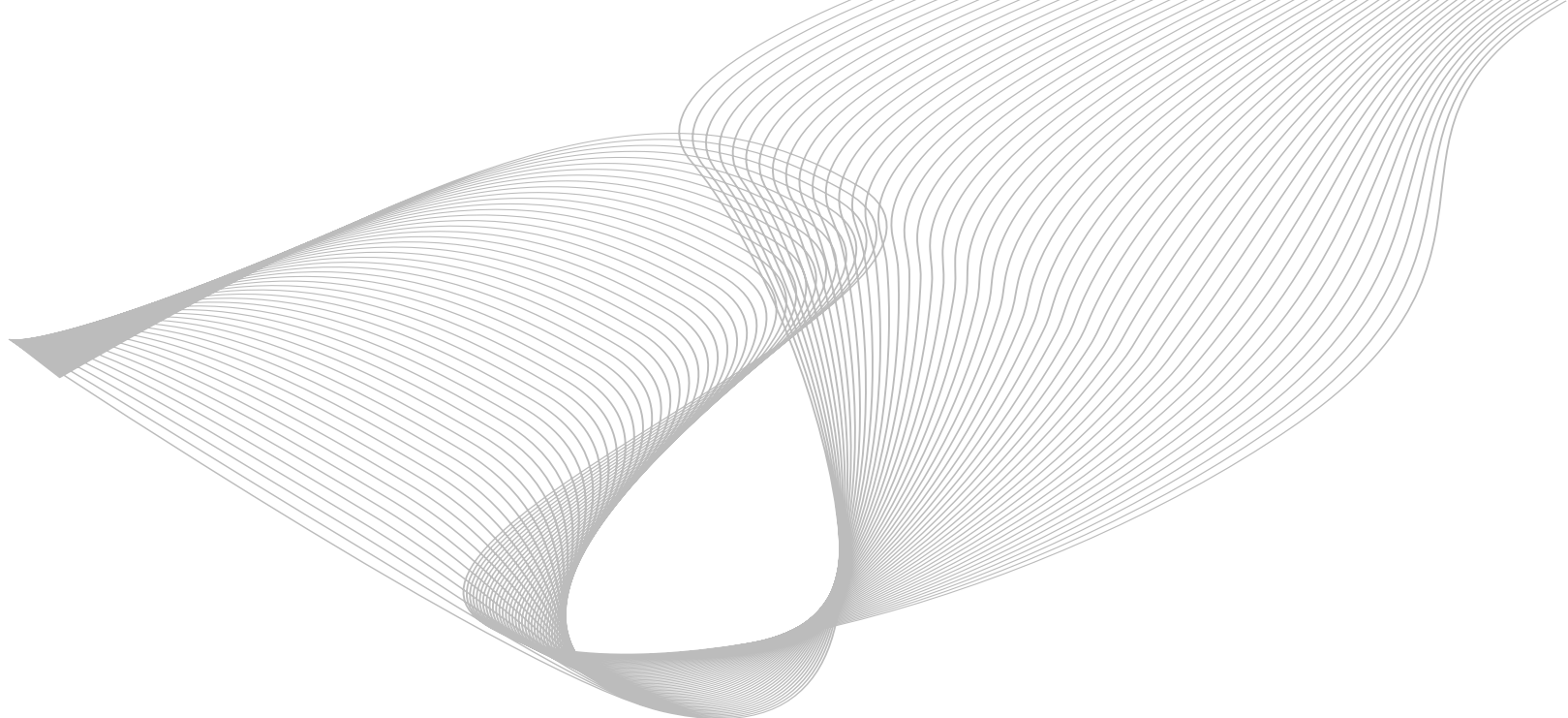
Nyrkkisääntömme, jonka mukaan matematiikot, fyysikot ja tietojenkäsittelijät muodostaisivat kukin suunnilleen kolmanneksen, ei näytä enää pätevän – tietojenkäsittelijöiden osuus on selvästi suurempi kuin kahden muun. Huomaamme myös, että erilaisten tekniikan alojen edustajia on jäsenistössä varsin paljon.

Varsin mielenkiintoinen on myös kuvassa 2 esitetty jäsenten ikäjakautuma MALin kolmella päätiiteenalla. Fyysikot ovat selvästi iäkkäämpiä kuin kaksi muuta ryhmää.

MALilaisten opinahjojen jakautuminen on esitetty kuvassa kuvassa 3. Tämä vastannee suunnilleen yliopistojen kokoja. Tekniikan osuus näkyy mm. Aalto-yliopiston kohdalla. Tampereen yliopisto on ilmoitettu nimen nykyisessä merkityksessä eli sisältäen entisen Tampereen teknisen yliopiston.



Kuva 3. MALin jäsenten opinahjot.



Tarkastellaan lopuksi MALin jäsenten nykyistä maantieteellistä jakautumaa. Tämän saimme rekisteristä kattavasti: vain 13 tapauksessa postinumerotieto puuttuu tai henkilön osoite on ulkomailla. Osoittautui, että sadasta postinumeralueesta 00,...,99 (postinumeron kaksi ensimmäistä numeroa) vain viitisentoista on sellaisia, joissa ei tällä hetkellä asusta yhtään MALin jäsentä! Isomman skaalan hahmotusta varten yhdistelin Postin verkkosivuilta löytyneen postinumerokartan tietyillä kaupungeilla nimettyjä ositteita edelleen 8 isommaksi ryhmäksi. Tällä tavalla saadaan seuraava alueellinen jakautuma:

"Helsinki"	Helsinki (Uusimaa)	1410
"Tampere"	Tampere, Hämeenlinna, Forssa	473
"Turku"	Turku, Uusikaupunki, Pori, Ahvenanmaa	321
"Oulu"	Oulu, Kajaani, Kemi, Rovaniemi	317
"Jyväskylä"	Jyväskylä	165
"Kuopio"	Kuopio, Joensuu	115
"Lappeenranta"	Lappeenranta, Kotka, Kouvola, Pieksämäki, Savonlinna, Mikkeli, Lahti	103
"Vaasa"	Vaasa, Seinäjoki, Kokkola, Ylivieska	51

Taulukko 1. MALin jäsenten alueellinen jakautuma.



TUTKIMUS JATKUVASTA OPPIMISESTA

Vuonna 1999 **Päivi Ala-Poikela** teki pro graduna MALin (silloisen SMFL:n) jäsenistöön liittyvän tutkimuksen ”Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliiton jäsenten käsitykset työstä ja kvalifikaatiosta sekä näissä tapahtuvista muutoksista.” Tutkimuksessa oli kaksi pääaihetta. Ensinnäkin tutkimuksessa tutkittiin SMFL:n jäsenten työtä. Työ käsitettiin erityisesti asiantuntijan tekeminä työtehtävinä. Toisena pääaiheena olivat kvalifikaatiot tai pätevydet. Kvalifikaatioilla tarkoitettiin työtehtävissä tarvittavia tietoja ja taitoja.

Kun Tekniikan akateemiset-lehdessä uutisoitiin tutkimuksesta, oli artikkelin otsikkona ”Edessä elinikäinen oppiminen”. Tutkimuksesta on kulunut noin 20 vuotta, joten on paikallaan tutkia, miten elinikäinen oppiminen on toteutunut ja toteutuu tänäkin päivänä.

Noin 20 vuotta sitten tehdyn tutkimukseen jälkeen on termistö hieman muuttunut. Elinikäisen oppimisen sijaan nykyään puhutaan jatkuvasta oppimisesta.

MAL teki kesäkuussa jäsenkyselytutkimuksen otsikolla ”MALin jäsenten koulutautuminen perustutkinnon jälkeen. Miten jatkuva oppiminen on toteutunut?” Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten MALin jäsenkunnan työuralla on toteutunut jatkuva oppiminen, joko työnantajan järjestämänä koulutuksena tai sitten omaehtoisena kouluttautumisena. Miten MALin jäsenet kokevat osaamisensa kehittyneen? Samassa yhteydessä pyrittiin myös selvittämään, missä määrin jäsenten työ perustuu yliopisto-opiskelussa omaksuttuun tietämykseen ja taitoihin.

Kysely koostui neljästä osiosta:

- Jatkuvan oppimisen toteutuminen työuran aikana, sen muodot ja kanavat sekä työnantajien tuki asialle
- Missä määrin työn sisältö perustuu/ on perustunut yliopisto-opinnoissa hankittuihin tietoihin ja taitoihin
- Miten jäsenistö on käyttänyt TEKin palveluita
- Millaista koulutusta MALin toivottaisiin järjestävän jäsenilleen (iltakursseja, viikonloppukursseja yms.)

Kysely toteutettiin Webropol-kyselynä ja sen tekninen suorittaminen tilattiin kyselyiden tekemiseen erikoistuneelta Webropol-yritykseltä.

Osa kyselyn kysymyksistä poimittiin Sitran vuonna 2020 julkaisemasta tutkimuksesta ”Elinikäinen oppiminen Suomessa 2019 – kyselyn tulokset”. Sitran teettämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää elinikäisen oppimisen toteutumista ja mahdollisuuksia Suomessa. Tutkimuksen kohderyhmän muodostivat 18 - 85 -vuotiaat Suomen kansalaiset.

Kyselyyn vastanneiden profileja

Kyselyyn saatiin 442 vastausta. Vastaajista ikähaarukkaan 25–64 vuotta kuului noin 80 prosenttia. Yli 65-vuotiaita oli noin 18 prosenttia ja loput olivat alle 25-vuotiaita. Naisia vastaajista oli noin 30 prosenttia ja miehiä noin 70 prosenttia.

Vastaajista 25 prosentilla oli pääaineenaan ollut matematiikka, 39 prosentilla fysiikka ja 33 prosentilla tietojenkäsittely. Muita pääaineita oli siis vain kolmella prosentilla vastanneista MALilaisista. Näitä olivat biofysiikka, ympäristötieteet, radiokemia, automaatiotekniikka, tähtitiede, tuotantotalous, geologia, lääketiede, johtaminen ja organisaatiot, yritysstrategia ja kansainvälinen markkinointi.

Vastaajista 62 prosentilla oli maisteritason tutkinto (FM, FK). Kandidatason tutkinto (mm. LuK) oli 8,4 prosentilla, lisensiaatin 5,0 prosentilla ja tohtorin 20,6 prosentilla vastaajista. Ylioppilaita vastaajista oli pari prosenttia ja muutamalla muu tutkinto. Matemaatikoilla ja tietojenkäsittelijöillä tutkinnon jakauma oli lähes identtinen, vastanneista fyysikoista sen sijaan väitelleiden osuus oli huomattavasti suurempi kuin edellä mainituilla, yli kolmasosa.

Yksityisellä sektorilla työskenteli (tai oli viimeksi työskennellyt) 61 prosenttia vastaajista, valtiosektorilla 22 prosenttia ja kuntasektorilla 11 prosenttia. Yrittäjiä oli vastaajista 2,3 prosenttia ja kolmannella sektorilla (järjestöt yms.) työskenteleviä 1,6 prosenttia, työttömiä 2,3 prosenttia. Matemaatikkojen ja tietojenkäsittelijöiden työnantajatyypit jakautuivat lähes identtisesti, fyysikoista sen sijaan suhteellisesti suurempi osa työskenteli valtiolla ja vastaavasti harvempi yrityksissä. Sukupuolijakauman osalta taas valtiolla työskentelevien osuus oli naisilla ja miehillä täsmälleen sama, kuntasektorilla naisten suhteellinen osuus oli suurempi ja yrityksissä vastaavasti pienempi.

**Elinikäisen oppimisen sijaan
nykyään puhutaan
jatkuva oppimisesta.**

Mitä MALilaiset tekevät?

Ennen pääaiheeseemme, jatkuvaan oppimiseen siirtymistä tarkastellaan vielä poimintoja siitä, mitä vastaajat työssään tekevät ja miten he siinä hyödyntävät yliopistollista erityisosaamistaan. Työn sisällöissä ilmeni joitakin mielenkiintoisia eroja ja yhtäläisyyksiä ammattikuntien välillä.

Noin puolet sekä matemaatikoista että tietojenkäsittelijöistä kirjoitti ohjelmakoodia työskentelynsä osana, fyysikoistakin vain hie- man harvempi. Tietojenkäsittelyn ammattilaiset erottuivat selvästi suuremmassa ohjelmis- tojen suunnittelun ja testauksen osuudessa työssään.

Noin 40 prosenttia vastanneista mate- maatikoista ja fyysikoista kertoi selvittävänsä työssään asioita matemaattisten mallien avul- la, esim. todistamalla, laskemalla tai simuloi- malla. Tietojenkäsittelijöistä tämäntyyppisiä tehtäviä oli vain kymmenesosalla.

Pääaineesta riippumatta yli 80 prosenttia vastaajista mielsi hyödyntävänsä opintojaan ainakin yleisen loogis-matemaattisen tai luonnontieteellisen ajattelutavan muodossa. Jokaisen pääaineen edustajista noin kolmas- osalla oli myös johtamistehtäviä, joissa he kokivat yliopistollisen erityisosaamisensa hyödylliseksi.

Tulokset on koottu sivun 63 kuvaan.

Jatkuva oppiminen on totta

Valtaosa vastaajista kertoi pyrkiensä op- pimaan jatkuvasti uutta elämänsä aikana. Selvä enemmistö kehitti osaamistaan tälläkin hetkellä, ja noin puolella oli tähän suunnitel- makin. Parhaita oppimistapoja kysyttäessä neljä viidestä nosti esiin työssä itsessään op- pimisen, uudet työtehtävät ja projektit. Joka toinen mainitsi työnantajan järjestämän kou- lutuksen. Toisaalta noin puolet korosti myös itsenäistä ja omatoimista opiskelua. Oman mentorin tai ohjaajan nimesi yhdeksi parhais- ta oppimistavoista joka kolmas. Taulukko 1 näyttää, miten paljon vastaajat katsoivat näil- lä ja muilla tavoilla tosiasiallisesti kehittä- neensä osaamistaan.

Edellä puhuttiin kaikenlaisesta osaami- sesta, jolloin mukana olivat myös moninai- set työelämässä tarvittavat taidot, joita ei opita yliopistolla. Kun kysyimme erikseen tieteellisen ja menetelmällisen osaamisen kehittämisen tavoista, osoittautui, että yli kaksi kolmasosaa vastanneista oli kehittänyt myös yliopistolta saatua erityisosaamistaan opintojen jälkeenkin. Vastaukset jakautuivat Taulukon 2 näyttämällä tavalla.

Osaamisten joukossa tiedusteltiin myös työtehtäviin liittyvää kielitaitoa. Sitä mitattiin viisiportaisella asteikolla {alkeet, tyydyttävä, hyvä, sujuva, äidinkieli}. Suomen kieli sai luonnollisesti korkeimman keskiarvon 4,9. Toisena tuli englanti keskiarvolla 3,7, ruotsin jäädessä kolmanneksi keskiarvolla 2,3. Vain 4,3 prosentilla vastaajista oli äidinkielenä jokin muu kuin kolme edellä mainittua. Yhteensä vastaajien piiristä löytyi hyvin monien kielten osaajia, kuten odottaa saattoi.

Kyselyyn vastanneet MALin jäsenet pitivät valtaosin työyhteisöään oppimismyönteisenä ja toisaalta kokivat itse edistävänsä osaamisen kehittämistä yhteisössään. Yli 60 % vastaajista katsoi myös epäonnistumiset sallituiksi ja opettavaisina pidetyiksi. Vastausten keskiarvot on esitetty Taulukossa 3. Yleisen ilmapiiirin positiivisuus ei kuitenkaan merkitse, etteikö parantamisenkin varaa olisi. Vain kolmasosa oli samaa mieltä siitä, että oppimiselle oli varattu aikaa.

Lopuksi vastaajia pyydettiin antamaan yleisarvio jatkuvan oppimisen toteutumisesta työuran aikana 5-portaisella asteikolla, jossa 1 = erittäin huonosti ja 5 = erittäin hyvin. Yleinen viisaus tällaisissa kyselyissä on, että jos vastausten keskiarvo on suurempi kuin 3,5, niin vastaajien joukko on sitä mieltä, että asiat ovat pikemmin hyvin kuin huonosti. Vastausten keskiarvo oli 3,9. Tästä voi päätellä, että vastaajien mielestä heidän osaltaan jatkuva oppiminen oli toteutunut (erittäin) hyvin. Vastaajista noin 75 prosenttia oli antanut vastaukseksi 4 tai 5.

TEKin ja MALin palvelut

Kyselyssä selvitettiin myös TEKin tarjoamien urapalveluiden käyttämistä sekä potentiaalista kysyntää kursseille, joita MAL voisi itse tarjota.

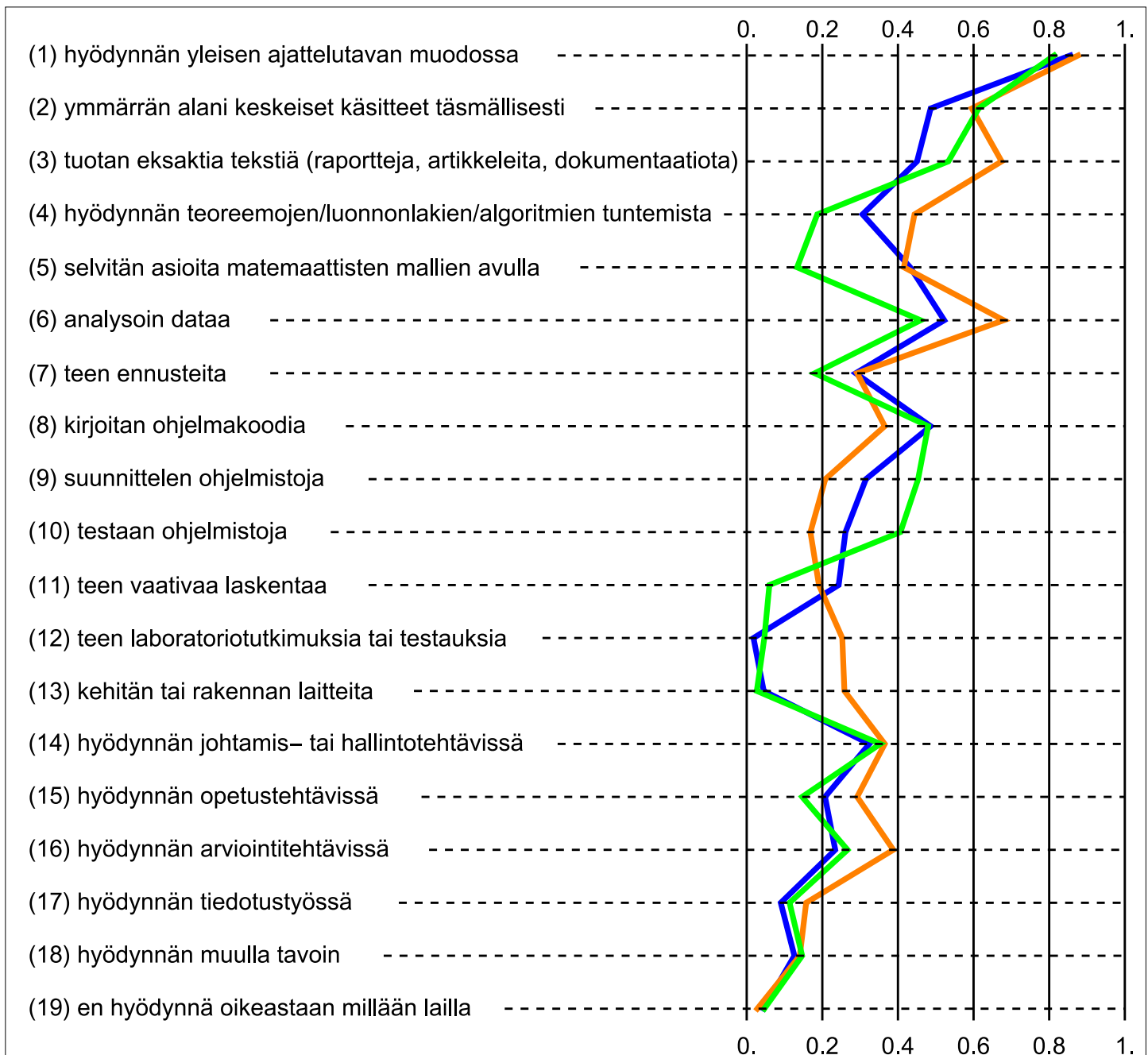
TEKin urapalveluita ovat henkilökohtainen uravalmennus, verkkovalmennuksia osaamisen tunnistamiseen, CV- ja työnhakuohjeita, TEKrekryä, TEKin jakamaa tietoa osaamisen kehittämistä ja urailtoja. Näitä kaikkia oli käytetty jonkin verran. Eniten oli hyödynnetty CV- ja työhakemusohjeita (18,1 prosenttia) ja osallistuttu urailtoihin (18,1 prosenttia). Keskimäärin vastaus oli, että ”olen tietoinen, mutta en ole käyttänyt”.

Kysyttäessä sitä, millaiset MALin tarjoamat kurssit voisivat kiinnostaa, eniten kiinnostusta herätti vaihtoehto ”uusien teorioiden tai menetelmien perusteet (lohkokehitykset, digitaalinen raha, kvanttilaskenta jne.) tiiviisti”. Tästä oli kiinnostunut 59 prosenttia vastaajista. Oman ajankäytön tehostamiskurssista oli kiinnostunut 35 prosenttia vastaajista, johtamistaidon kurssista 30 ja esiintymistaidon kurssista 29 prosenttia vastaajista. Myös kielikurssit ja erilaiset kirjoittajakurssit herättivät kiinnostusta.

Avoimien vastausten joukossa oli kuitenkin myös tämä huomion arvoinen kommentti:

Avoin yliopisto sekä monet muut maksulliset ja maksuttomat tahot tarjoavat jo erittäin paljon yliopistotasostakin koulutusta, joten on vaikea tietää, kannattaisiko MALin alkaa tarjota myös koulutusta. Ehkä ennemmin yksittäisiä vierailijaluentoja ajankohtaisista asioista. Kenties MAL voisi myös koota yhteen erilaisia verkko-opetusta tarjoavia palveluita (yliopistojen MOOCit, edX, Coursera, Udacity jne) ja nostaa kurssitarjonnasta joitakin kiinnostavia kursseja esille.

Taulukot ja lisää vapaamuotoisia kommentteja seuraavilla sivuilla.



Vastaukset kysymykseen ”Millä tavoin hyödynnät työssäsi yliopisto-opintojesi tuottamaa teoreettista ja käytännöllistä erityisosaamistasi?” kolmen pääaineen mukaan jaoteltuina. Sininen: matematiikka, oranssi: fysiikka, vihreä: tietojenkäsittely.”

Valtaosa vastaajista kertoi pyrkineensä oppimaan jatkuvasti uutta elämänsä aikana.

tekemällä töitä toisten kanssa ja oppimalla toisilta	86 %
osallistumalla työnantajan järjestämään koulutukseen	80 %
ottamalla uusia vastuuta ja tehtäviä	77 %
hakemalla tietoa verkosta	75 %
kokeilemalla uusia asioita/työtapoja	69 %
osallistumalla kursseille	68 %
opettamalla, opastamalla tai perehdyttämällä muita	65 %
osallistumalla projekteihin / tutkimus- / kehittämishankkeisiin	62 %
vaihtamalla työtehtäviä	59 %
osallistumalla verkkokoulutukseen	55 %
osallistumalla webinaareihin	52 %
suorittamalla virallisen tutkinnon tai tutkinnon osan	33 %
vapaaehtoistyössä tai järjestötoiminnassa	21 %
osallistumalla tehtäväkiertoon	10 %
muulla tavoin	5 %

Taulukko 1. Vastaukset kysymykseen ”Miten olet kehittänyt osaamistasi työurasi aikana?”

työssä ja työtehtävissä oppimalla	68 %
osallistumalla työhöni kuuluville kursseille, seminaareihin, konferensseihin tms.	55 %
lukemalla alani yleistajuisempaa kirjallisuutta, tai hankkimalla vastaavaa informaatiota verkosta	53 %
lukemalla varsinaisia tieteellisiä artikkeleita, oppikirjoja, monografioita tai vastaavaa informaatiota verkosta	46 %
osallistumalla kursseille, seminaareihin, konferensseihin tms, jotka eivät suoranaisesti liity työtehtäviini	26 %
en oikeastaan mitenkään	15 %
muulla tavoin	6 %

Taulukko 2. Vastaukset kysymykseen ”Miten olet ylläpitänyt tai kartuttanut tieteellistä tai menetelmällistä osaamistasi yliopisto-opintojesi jälkeen?”

työyhteisössäni on oppimismyönteinen ilmapiiri	4,3
edistän itse osaamisen kehittämistä ja uuden oppimista työyhteisössäni	4,1
minulla on mahdollisuus vaikuttaa työtehtäviini kiinnostukseni mukaan	3,8
työyhteisössäni saa epäonnistua ja epäonnistumisista opitaan	3,7
työyhteisössäni rohkaistaan kokeilemaan uusia tapoja tehdä asioita	3,7
työyhteisössäni pidetään huolta yhdessä oppimisen ja tiedon jakamisen mahdollisuudesta	3,7
lähiesimieheni välittää oppimisestani	3,7
työssä oppimiselle on varattu aikaa	3,1

Taulukko 3. Vastaajien keskimääräiset näkemykset työyhteisönsä oppimismyönteisyydestä. Skaala 1-5, 1 = täysin eri mieltä, 5 = täysin samaa mieltä.

"Tänä vuonna tulee 65v täyteen, opiskelin ns. "puhdasta matematiikkaa", jolla ei pitänyt olla käyttöä missään, olin koulussa todella huono kielissä ja "small talkissa", silti opiskelujen jälkeen jatkuva työura teollisuuden tuotannon ja logistiikan sovellusten parissa, työkieli englanti, ei siksi, että olisin ollut siinä hyvä tai ns. "hyvä tyyppi", vaan siksi, että osasin asioita, joita muut eivät. Nythän esimerkiksi funktionaalianalyysi on kuuminta hottia AI ratkaisuihin, mutta minun on aika jäädä eläkkeelle."

"Kaikki kiinnostaa, mutta MAL:in toiminta on niin Helsinki-keskeistä, että ei siihen käytännössä voi osallistua, kun ei töiden jälkeen jaksa/ehdi lähteä edes Jyväskylään asti."

"Kursseja ja tapahtumia myös pääkaupunkiseudun ulkopuolelle, kiitos! (Tuntuu, että MAL on vain pienen helsinkiläispiirin salakerho...)"

"Omana huomiona osaamisen kehittämisestä on, että koronan aikaan useatkin tutut ovat suorittaneet erilaisia verkkokursseja sekä niihin liittyviä sertifiointeja."

"Työnantajan suhtautuminen kouluttautumiseen vaihtelee. Nykyinen työnantajanani on it-alan konsulttitalo, jossa kouluttautumiseen panostetaan ja siihen on mahdollista käyttää työaikaakin. Lisäksi vuosittain asetetaan tavoitteita uusien taitojen saavuttamiselle tai sertifiointien suorittamiselle. Työnantajani on tehnyt hyvää tulosta jopa koronankin aikana, joten kenties juuri kouluttautumiseen panostaminen on ollut yksi syy hyvään tulokseen. Tämä myös motivoi itseäni sitoutumaan työnantajaani. Kokemukseni mukaan jokaisessa työpaikassa ei suinkaan ole näin, sillä aiemmassa työpaikassani vain harvat ja valitut pääsivät hintaviinkin koulutuksiin tai seminaareihin."

"MAL on aiemminkin järjestänyt erilaisia tutustumisretkiä. Toivoisin niiden jatkuvan, kun korona helpottaa."

"Elinikäinen oppiminen: Suurin suomalaisen korkeakoulujärjestelmän epäonnistuminen mitä tulee elinikäiseen oppimiseen, on valmistuneen asiantuntijan heikot mahdollisuudet kehittää osaamistaan uusimpaan tutkimukseen perustuvassa ajamukaisessa opetuksessa. Tällaista opetusta toki Suomessa järjestetään, korkealaatuisilla korkeakoulujen kursseilla."

"Käytännössä tämän resurssin elinikäinen hyödyntäminen on Suomessa tehty mahdolliseksi muuten kuin mukautumalla virkamiesten rakentamaan koulutusputki-prosessiin, jonka mahdollinen koulutusmuoto on 2-3 vuoden mukainen tutkintopaketti."

"Työpaikallani tiedän ihmisiä, jotka pyrkivät kehittämään osaamistaan joko aloittamalla väitöskirjan tai toisen maisteritutkinnon. Toisin sanoen, jos haluaa päivittää osaamistaan, tulee hakea maisteritutkinto-ohjelmaan ja viedä opiskelupaikka joltain nuorelta, joka sen paremmin tarvitsisi."

"Olisi hyvä, jos maamme korkeakoulujärjestelmässä olisi helppo tapa päivittää osaamistaan korkeakouluissa ilman uuden tutkinnon aloittamista. Avoin yliopisto ei ole tässä hyödyksi, sillä harva paitsi alanvaihtaja hyötyy alkeistason perusopinnoista jota AY:ssa yleensä tarjotaan. Parhaiten korkeakoulujärjestelmää elinikäisessä oppimisessä hyödyntää n. puoli sukupolvea vanhempi tuttavani, joka sai yliopisto-opiskelu-oikeuden ennen aikarajoja ja on ollut työelämässä vuosikymmenen, mutta koska ei ole valmistunut ja pitää edelleen opiskelu-oikeutta, on voinut helposti käydä yliopistolla relevanteissa seminaareissa ja edistyneillä kursseilla. (Tästä on byrokraattisia vaikeuksia kurssisuoritusten vanhenemisten takia, mutta oleellinen asia, osaaminen, on eri asia.)"

"Koen että kysymyksen asettelussa oli osin ennakkokäsitys, että esim. oppimisen työn tekemisen kautta voisi valita. Jos työn sisältö on erityistä/ainutkertaista niin että siihen ei voi saada koulutusta, ei muuta mahdollisuutta ole. Samoin on myös silloin, kun organisaatio ottaa jatkuvasti käyttöön erilaisia järjestelmiä ja ohjelmistoja, joiden opetteluun ei ole aikaa, vaikka niistä ehkä joitakin kursseja järjestetäänkin, silloinkaan ei ole muuta mahdollisuutta kuin yrittää selviytyä lukemalla ohjeita välttämättömyydestä niin, että saa vaaditut asiat tehdyiksi."

"Työnantajani kyllä markkinoi itseään 'oppimismyönteisenä' yhteisönä ja 'kaikki ovat aina valmiita auttamaan' jne. diipa-daapaa. Totuus on vallan toinen. Kaikki uuden opiskelu pitää tehdä palkattomasti omalla ajalla. Työnantajan tarjoamat harvat kurssit ovat vanhentuneita tai sisällöltään niin keveitä, että niillä ei pärjää. Epäonnistua ei saa ja jos epäonnistuu, niin siitä ei oteta opiksi. Tärkeintä on proseduurien täyttäminen ja noudattaminen." •

MALIN TUTKIMUS- JA JULKAISUTOIMINTA

Historiakirjan antia

MALin historiakirja ”SMFL → MAL. 50 vuotta ammattikunnan hyväksi” on kattava teos MALin (aiemmin Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliitto, SMFL) toiminnasta 50 vuoden ajalta. Kirjan kirjoitti Anitta Valtonen järjestön aktiiveista kootun toimikunnan avustamana.

Historiakirjassa kirjoitetaan MALin tutkimustoiminnasta otsikolla ”Tutkimustoiminta vilkasta”, jota seuraavassa referoidaan.

MAL (SMFL) teki ensimmäiset jäsenkuntaa koskevat tutkimukset jo 60-luvulla. Vuodesta 1979 tutkimustoiminta muuttui järjestelmälliseksi, kun liitto alkoi seurata vasta- valmistuneiden sijoittumista työelämään. Samoihin aikoihin tehtiin myös selvityksiä silloisten työllisyyskurssien suunnittelun tueksi.

Kun 1990-luvulla jäsenmäärä kasvoi huomattavasti, liitossa heräsi tarve selvittää tarkemmin jäsenkunnan rakennetta ja ajatuksia.

Vuosina 1979 – 1984 SMFL suoritti vakio- muotoisella lomakkeella kyselyitä vasta- valmistuneiden sijoittumisesta. Lomake lähetettiin kaikille vastavalmistuneille, joiden nimet korkeakoulut ja yliopistot toimittivat liitolle. Vuonna 1985 otettiin käyttöön uusi lomake, joka vastasi uusia tutkintoja ja työelämää.

Kun liiton jäsenmäärä kaksinkertaistui vuoden 1990 alusta vuoteen 1994, heräsi tarve selvittää jäsenkunnan rakenne. Tutkimus tehtiin TEKin jäsenrekisterin pohjalta. TEKin jäsenrekisterin tiedot olivat vuoden 1994 helmikuulta, jolloin liiton kokonaisjäsenmäärä oli 1586. Ennen vuotta 1990 liittyneitä oli 851 ja vuoden 1990 jälkeen liittyneitä oli 735.

Selvityksen mukaan naisten osuus uusista jäsenistä oli suurempi kuin aiemmin, vaikka valtaosa jäsenistä oli edelleen miehiä. Jäsenten tutkinto oli vuonna 1994 useimmiten filosofian kandidaatti Helsingistä, mutta aiempaa useampi oli nyt kuitenkin valmistunut muualta kuin Helsingin yliopistosta. Jäsenen työnantaja oli puolestaan selvästi aiempaa useammin yksityinen yritys, valtio tai kunta eivät enää dominoineet yhtä vahvasti kuin ennen. Uutta oli sekin, että matemaatikko- ja fyysikkoliiton yleisimmäksi pääaineeksi oli noussut tietojenkäsittelyoppi.

TEKiin liittymisen jälkeen SMFL alkoi saada TEKin työmarkkinatutkimuksista (TMT) perustiedot myös oman jäsenkuntansa palkoista ja työtilanteesta. Vuoden 1996 TMT:ssä oli SMFL:n osalta mukana myös jäsenten profilia selvittävä lisäkysely. Tulosten perusteella jäsenet olivat keskimäärin 42-vuotiaita ja naisia oli runsas neljännes, 28 %. Tämä osuus on pysynyt hämmästyttävänkin samanlaisena tähän päivään saakka. Liiton jäsenistä oli 77 prosenttia tutkinnoltaan filosofian kandidaatteja.

Vuonna 1996 kansainvälisyys oli tutkimuksen mukaan jo osa yhä useamman jäsenen työtä. Kolmella neljästä työhön liittyi enemmän tai vähemmän kansainvälisiä kontakteja ja yhteydenpitoa. Vain joka neljäs toimi enää pelkästään kotimaisilla areenoilla.

Historiakirjassa on kattava luettelo liiton tekemistä tutkimuksista ja julkaisuista vuoteen 2011 saakka. Seuraavassa referoin vain muutamaa merkittävintä niistä.

”olivatko oppilaat saavuttaneet riittävän kypsyys- ja oliko heillä vahvistettujen opintokurssien mukainen tietomäärä”

Jäsenkunnan kartoittamista

Yhtenä johtavana ajatuksena liiton toiminnassa on ollut ylläpitää tietoisuutta siitä, keitä jäsenet oikein ovat ja mitä he työkseen tekevät. Jo pian liiton vuonna 1961 tapahtuneen perustamisen jälkeen laadittiin matrikkeli Suomen matemaatikoista ja fyysikoista.

Jäsenkuntaa ja sen näkemyksiä on sittemmin kartoitettu kahdessa pro gradu -tutkimuksessa. Jäsenkunnan kartoitukseksi voidaan lukea myös neljä juhlakirjaa, joissa liiton jäsenet lyhyissä artikkeleissa kertovat työtehtävistään. Lisäksi on teetetty erillinen teollisuus- ja finanssimatemaatikkojen toimenkuvaa koskeva selvitys.

Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliiton jäsenten ammatti- ja maailmankuva

Ulla Halosen vuonna 1990 valmistunut pro gradu ”Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliiton jäsenten ammatti- ja maailmankuva” tarkasteli sitä, miten silloisten jäsenten koulutus, ammatti ja maailmankuva liittyivät toisiinsa.

Tutkimuksen mukaan silloisten jäsenten alanvalinnan syynä oli ollut kiinnostus tieteen ja he pitivät edustamiaan tieteenaloja tärkeinä. He olivat kuitenkin myös huolestuneita valitsemiensa alojen aliarvostuksesta. Tutkimuksen mukaan työ mahdollisti omien kykyjen kehittämisen ja se nähtiin myös yhteiskunnallisena vaikutuskanavana.

Naisjäsenet kokivat ongelmaksi tasavertaisuuden työelämässä. ATK-alalla työskennelleiden osalta työ koettiin stressaavaksi alituisen kiireen ja alan nopean kehityksen vuoksi. Suu-

rin osa jäsenistöstä kuitenkin katsoi silloisen kehityksen olevan välttämätöntä taloudellisen turvallisuuden vuoksi.

Tiede vaikutti jäsenten näkemyksiin maailmansynnystä ja -järjestyksestä. Tiedettä pidettiin tiedon hankinnan välineenä: jäsenet pyrkivät yksilöllisiin selityksiin maailmasta ja elämästä. Jäsenten maailmankuvan perusta oli tekniikkaa käyttävä maailma.

SMFL:n jäsenten käsitykset työstä, sen vaatimista kvalifikaatioista sekä näissä tapahtuneista muutoksista

Päivi Ala-Poikelan vuonna 1999 valmistunut pro gradu ”SMFL:n jäsenten käsitykset työstä, sen vaatimista kvalifikaatioista sekä näissä tapahtuneista muutoksista” tarkasteli otsikonsa mukaisesti jäsenkuntaan kuuluvien matematiikan, fysiikan ja tietojenkäsittelyn ammattilaisten työnkuvaa ja siinä tapahtuneita muutoksia.

Liitossa oli tutkimushetkellä noin 1 700 jäsentä, joista miehiä 72 % ja naisia 28 %. Jäsenistä 38 % oli opiskellut pääaineenaan fysiikkaa. Tietojenkäsittelyä pääaineenaan oli lukenut 26 % ja matematiikkaa 24 % jäsenistä. Nämä kolme ryhmää muodostivat tutkimuksen kohdejoukon, vaikka jäsenistössä oli jonkin verran mm. kemiaa opiskelleita (7 %).

Tutkimuksen tekijä hankki tutkimuksen aineiston nk. teemahaastattelujen avulla. Teemahaastattelu on ns. puolistrukturoitu haastattelu, jolle on tyypillistä se, että haastattelun aihepiirit eli teema-alueet ovat tiedossa, mutta kysymysten tarkka muoto ja järjestys puuttuvat.

Päivi Ala-Poikela

Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliiton jäsenten käsitykset työstä ja kvalifikaatiosta sekä näissä tapahtuvista muutoksista

Pro gradu -tutkielma
Tammikuu 1999

Helsingin yliopiston kasvatustieteen laitoksen opinnäytteitä 2

Tutkimuksessa haastateltiin kahtatoista SMFL:n jäsentä, 7 miestä ja 5 naista, siten, että joukossa oli neljä matemaatikkoa, neljä fyysikkoo ja neljä tietojenkäsittelytiedettä opiskellutta.

Haastatellut tunsivat olevansa hyviä työsäännön, mutta koko ajan oli opiskeltava lisää. Toisaalta moni tunsi, että hänen kykynsä olivat nykyisissä työtehtävissä alikäytettyjä. Ylenemistä esimiestehtäviin ei tavoiteltu, sen sijaan moni halusi laajentaa asiantuntija-tehtäviensä tehtäväkenttää.

Käsityöläisyys oli haastateltavien mukaan säilynyt osana työtä, vaikka he käyttivät työsäännön yhä enemmän erilaisia teknisiä apuvälineitä. Konkreettisimmillaan käsityöläisyys näkyi erilaisten laitteiden korjailussa ja rakentelussa.

Varsinkin ATK-alalla työskentelevät sanoivat, että nykyinen osaaminen ei riitä. Teknistä lisäkoulutusta pidettiin aina tervetulleena. Myös ihmissuhdetaitojen osaaminen oli tärkeää. Englannin kielen taito oli yhä tärkeämpää, sillä asiakkaat ja yhteistyökumppanit olivat monesti ulkomaalaisia. Muita tarpeellisia taitoja olivat kirjallinen ilmaisu, liiketoimintojen tuntemus, stressinsieto ja ajankäytön hallinta.

Kaikissa haastatteluissa kävi ilmi työhön liittyvien muutosten valtava vauhti. Merkittävimpänä muutoksena pidettiin teknistä kehitystä.

Tärkein tutkimustulos tutkimuksen oli tekijän mielestä se, että uusia osaamisvaatimuksia tulee jatkuvasti. Siksi osaamista on koko ajan pidettävä yllä ja laajennettava. Kun tutkimuksesta raportoitiiin TEKin lehdessä, artikkelin otsikkona olikin ”Edessä elinikäinen oppiminen”.

Teollisuus- ja finanssimatemaatikkojen toimenkuvat

Vuonna 1990 liitto teetti selvityksen otsikolla ”Teollisuus- ja finanssimatemaatikkojen toimenkuvat”. Selvityksessä hahmoteltiin teollisuudessa ja finanssisektorilla toimivien matemaatikkojen toimenkuvaa ja heidän käyttämiään matemaattisia menetelmiä.

Selvityksen mukaan teollisuudessa ja finanssialalla toimivat matemaatikot voitiin jakaa kahteen ryhmään: tutkijat ja hallintohenkilöt. Teollisuuden puolella toimivista löytyi kolmaskin ryhmä: matemaattisesti suuntautuneet ATK-henkilöt.

Selvityksen mukaan tutkijat olivat itsenäisessä asemassa olevia matematiikan ammattilaisia, joiden tehtäviin kuuluivat yksinään tehtävät matemaattisluonteiset tutkimukset, muun henkilökunnan kouluttaminen ma-

temaattisissa asioissa, koesuunnittelu jne. Useimmat suorittivat huomattavasti myös tietokonetehtäviä, kevyttä ohjelmointia, simulointia, yksinkertaista datan analysointia valmisohjelmilla jne.

Hallintohenkilöt puolestaan olivat useimmiten esimiesasemassa ja heidän työstään suurin osa oli tutkimusprojektien organisointia, yhteydenpitoa yrityksen muihin osastoihin, koulutustilaisuuksien järjestämistä, muiden kouluttamista jne.

Yleisimmin käytetyt matematiikan alat teollisuudessa ja finanssialalla olivat todennäköisyyslaskenta, tilastotiede, differentiaaliyhtälöiden teoria ja vakuutusmatematiikka.

Juhlakirjat

Eräänlaisia selvityksiä siitä, keitä MALilaiset ovat ja mitä he tekevät, ovat olleet myös SMFL:n 20-, 25- ja 30-, ja 40-vuotisjuhlakirjat. Juhlakirjojen avulla haluttiin tehdä matemaatikot, fyysikot ja ATK-alan ammattilaiset ja heidän työtehtävänsä tutuiksi myös muille kuin jäsenille itselleen. Juhlakirjoilla oli aina erityinen toimittajakunta, mutta niiden varsinaiset kirjoitukset tulivat kuitenkin jäsenistöltä.

Ensimmäisen juhla-kirjan nimi oli ”Ammattimiehet asialla”. Nimellä haluttiin ilmentää sitä seikkaa, että kirjan eri artikkelien kirjoittajat olivat omien alojensa ammattimiehiä, joilla oli takanaan vankka koulutus ja lisäksi useimmilla vuosien tai jopa vuosikymmenien työkokemus.

Kirjassa esiteltiin aluksi SMFL ja sen historia. Muut kirjoitukset jakautuivat viiteen osaan ja ne käsittelivät matematiikan ja fysiikan opettamista, sairaalafysiikkaa, säteilyfysiikkaa, matematiikkaa ja tietojenkäsittelyä. Juhlakirja julkaistiin liiton 20-vuotisjuhliissa.

Toisen juhla-kirjan nimi oli ”Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliitto 25 vuotta”. Juhla-kirjaan sisältyi SMFL:n lyhyt historiikki sekä jäsenten kirjoittamia artikkeleita, jotka jakautuivat kolmeen ryhmään: tietojenkäsittely, matematiikka ja fysiikka. Kirja julkaistiin liiton 25-vuotisjuhliissa. Juhlien yhteydessä pidettiin seminaari, jossa käsiteltiin matematiikan, fysiikan ja ATK:n merkitystä yhteiskunnassa sekä näiden alojen koulutusta, työllisyyttä ja ammattikuvaa.

Kolmannen juhla-kirjan nimenä oli ”Tiedosta tekijään”. Kirjan ensimmäinen osa koostui artikkeleista, joilla kuvattiin luonnontieteiden merkitystä ihmiskunnan sivistyksen eteenpäin viejinä ja joilla perusteltiin luonnontieteiden opetuksen ja tutkimuksen välttämättömyyttä.





Toisessa osassa esiteltiin matemaattis-luonnontieteellisen koulutuksen saaneita henkilöitä, heidän ajattelutapaansa, maailma-kuvaansa ja toimenkuvia. Kolmas osa koostui puhtaista ammattiartikkeleista, joilla pyrittiin kuvaamaan niitä moninaisia tehtäväkenttää, joilla matemaatikot, fyysikot ja ATK-ammattilaiset toimivat.

Neljännän juhla-kirjan nimenä oli "Työvälineitä tietoyhteiskuntaan. SMFL 40 vuotta". Kirjan tavoitteena oli ylläpitää keskustelua matematiikan, fysiikan ja tietojenkäsittelytieteen merkityksestä yhteiskunnassa sekä välittää näiden alojen ammatteihin ja työhön liittyviä kokemuksia. Juhla-kirjan nimi kuvaa sitä merkitystä, mikä erityisesti matematiikalla ja matemaatikoilla on ollut sille, että ihmis-yhteisö on voinut kehittyä vaiheeseen, josta käytetään nimitystä tietoyhteiskunta.

Kirjan artikkelit oli jaoteltu seuraavien otsikoiden alle: Kehittyvä tietoyhteiskunta, Matematiikka – tietoyhteiskunnan kivijalka, Tietoyhteiskunnan rakentajia, ja Rakentajat eri rooleissa. Lisäksi oli osio, jossa kerrottiin SMFL:n historiasta ja tutkimustoiminnasta. Juhla-kirjassa käytiin keskustelua matematiikan, fysiikan ja tietojenkäsittelyn merkityksestä yhteiskunnan hyvinvoinnille.

Juhla-kirja julkaistiin SMFL:n kevät-kokouksen yhteydessä vuonna 2001. Tilaisuudessa pidettiin myös useita kirjan aiheisiin liittyviä esityksiä.

SAT 2006

Vuonna 2006 SMFL järjesti kansainvälisen konferenssin "The 1st European Conference on Science, Art and Technology". Konferenssin tavoitteena oli olla tapahtuma, jossa eri tieteen ja teknologian aloilla toimivat asiantuntijat voisivat kertoa kokemuksistaan ja ideoistaan. Myös taide otettiin konferenssin keskeiseksi teemaksi. Ajatuksena oli, että tie-

teen ja teknologian yhteys ei ole täydellinen ilman mukana olevaa taidetta.

SAT 2006 ei ollut perinteinen tieteellinen konferenssi, vaan pikemminkin paikka vaihtaa uusia ajatuksia näiden kolmen teeman puitteissa. Erilaisia esitelmiä pidettiin kaikkiaan yli kolmekymmentä. Esitelmien aiheet vaihtelivat musiikista talouteen ja tietokone-simulaatioista elämän laadun parantamiseen.

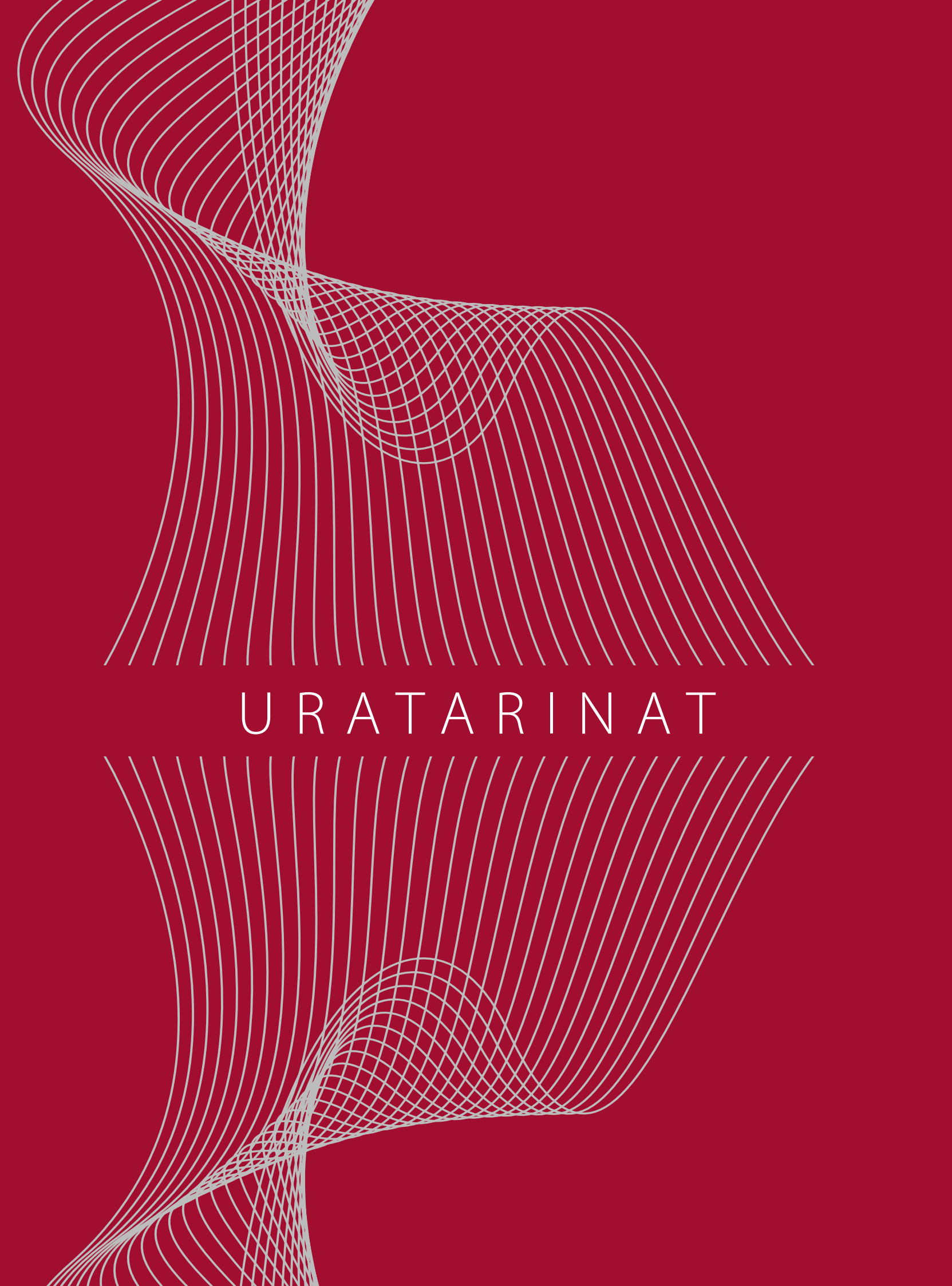
Yksi konferenssin pääpuhujista oli ensimmäinen Millennium-teknologiapalkinnon voittaja, LED-tekniikan kehittäjä Shuji Nakamura Japanista. Lisäksi konferenssissa esiintyi edustava joukko suomalaisia tiedemiehiä ja taiteilijoita.

Useista konferenssin puhujista tehtiin näytävä juttu TEK-lehteen. Konferenssissa pidetyt esitelmät on julkaistu kirjassa "Sat 2006 Conference Proceedings".

MAL jäsentutkimus 2021

MAL täyttää vuonna 2021 60 vuotta. Juhlavuoden kunniaksi päätettiin tehdä uusi jäsenistöön liittyvä tutkimus. Edellä selostetusta Päivi Ala-Poikelan teki pro gradu -tutkimuksesta "Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliiton jäsenten käsitykset työstä ja koulutuksesta sekä näissä tapahtuvista muutoksista" oli kulunut jo runsaat kaksikymmentä vuotta. Kun Ala-Poikelan tutkimuksesta oli uutisoitu otsikolla "Edessä elinikäinen oppiminen", ajateltiin olevan paikallaan tutkia, miten elinikäinen oppiminen on tässä välissä toteutunut ja toteutuu tänäkin päivänä. Miten ammattilaisen työssään tarvitsemat tiedot ja taidot ovat kehittyneet ja muuttuneet yliopisto-opiskelun aikanaan tarjonneeseen pohjaan verrattuna?

Kyselytutkimus tehtiin alkukesästä 2021 Webropol-kyselynä, joka lähetettiin kaikille jäsenille. Sen tuloksia esitellään toisaalla tässä kirjassa. •

The image features a solid red background. Overlaid on this background are two large, symmetrical, abstract shapes made of thin white lines. These shapes are composed of many closely spaced, curved lines that create a sense of depth and movement, resembling a stylized, flowing ribbon or a complex, organic form. The lines are more densely packed in some areas, creating a mesh-like effect, while in other areas, they are more spread out. The overall composition is balanced and modern.

URATARINAT

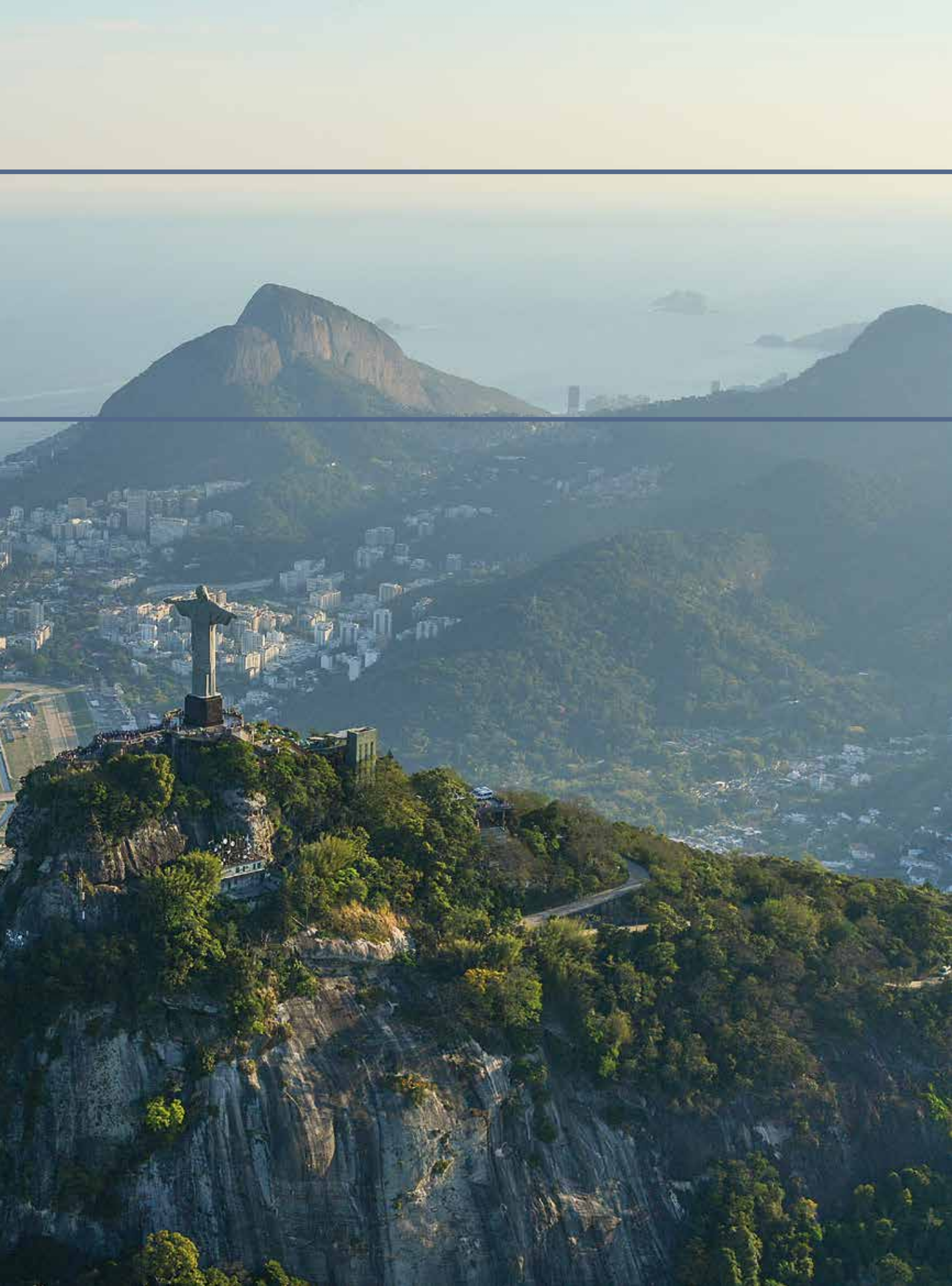
Jaakko A. Ojala

RIO DE JANEIROSTA ETELÄ-AFRIKAN DURBANIIN – PITKÄ TIE ILMASTONMUUTOKSEN HILLINTÄÄ



Jaakko A. Ojala

Yhdistyneitten kansakuntien ympäristö- ja kehityskonferenssi pidettiin Rio de Janeirossa, Brasiliassa 3.-14.6.1992. Kokouksessa hyväksyttiin YK:n kansainvälisen ilmastopimuksen UNFCCC sisältö ja aloitettiin ns. kansainväliset ilmastoneuvottelut.
Kuva: Raphael Nogueira on Unsplash



Runsaat 50 vuotta sitten lähdin opiskelemaan Helsinkiin ja sillä tiellä ollaan.

Elin pari, kolme ensimmäistä elinvuotani Ilmajoen Koskenkorvalla vanhassa Säästöpankin talossa ja kouluvuodet Pietilän kylän pienessä maalaistalossa.

Pääsin ylioppilaaksi keväällä 1967 Ilmajoen yhteiskoulusta. Opiskelin Helsingin yliopistossa fysiikkaa pääaineena ja muita matemaattis-luonnontieteellisiä aineita kuten matematiikka, teoreettinen fysiikka ja kemia. Sivussa suoritin myös arvosanat tilastotieteessä ja kasvatustieteessä. Maisterin tutkinnon sain valmiiksi 1974.

Opiskelun lomassa toimin Ylihärman kunnallisessa keskikoulussa matematiikan ja luonnontieteiden lehtorina lukuvuonna 1971–1972 kerätäkseen rahaa opintoihini. Opiskelun lomassa loppuvaiheessa toimin myös fysiikan kurssiassistenttina Helsingin yliopistossa.

Valmistuttuani olin tutkijana Säteilyturvakeskuksessa (silloinen säteilyfysiikan laitos) ja tein ihan oikeita fyysikon hommia. Olin jäsenenä ryhmissä, joissa suunnittelimme ja toteutimme nykyisten ydinvoimalaitosten Loviisan ja Olkiluodon ympäristövalvontajärjestelmät. Vastuullani olivat ympäristönäytteiden gammaspektrometriset analyysit. Ryhmissä oli työkalvereita erilaisilla koulutustaustoilla. Oli radiokemistejä, kemistejä ja biologeja. Näin avautui ympäristöasioiden laajuus ja ekosysteemien luonne myös fyysikolle. Samoilla periaatteilla ympäristön valvonta toteutetaan laitoksissa edelleenkin.

Siirtyminen hallintoon ja kansainvälisiin tehtäviin

Siirryin vuonna 1985 Kauppa- ja teollisuusministeriöön energia- ja ympäristötehtäviin. Energiantuotannon ympäristövaikutukset nousivat yhä lisääntyvästi tarkasteluun. Vesivoiman vaikutuksista oli jo ollut näyttöä niin, että vapaana virtaavia jokia ja koskia alettiin suojella. Happamoittavien päästöjen vaikutukset metsiin ja muuhun ympäristöön saivat aikaan uuden tekniikan kehittämistä päästöjen puhdistamiseksi. Otsonikerroksen oheneminen oli suuri ja aito huolen aihe. Suurissa energiahankkeissa edellytettiin ns. ympäristövaikutusten arviointi menettely ennen hankkeiden toteutusta. Hallinto rahoitti monia uuden teknologian kehitys- ja tutkimushankkeita tutkimuslaitoksissa ja ratkaisuja saatiin haitallisten ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

Vähitellen tehtävien joukkoon nousi hiilidioksidipäästöjen ja muiden kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttama ns. ”ilmastonmuutos”. YK:n yleiskokous nosti asian keskustelujen kohteeksi vuonna 1986 ja parin vuoden päästä aloitettiin kansainväliset neuvottelut YK:n ilmastopöytäkirjasta, jolla pyrittiin hillitsemään ihmisen toiminnan vaikutusta maapallon ilmastoon peruuttamattomien muutosten estämiseksi.

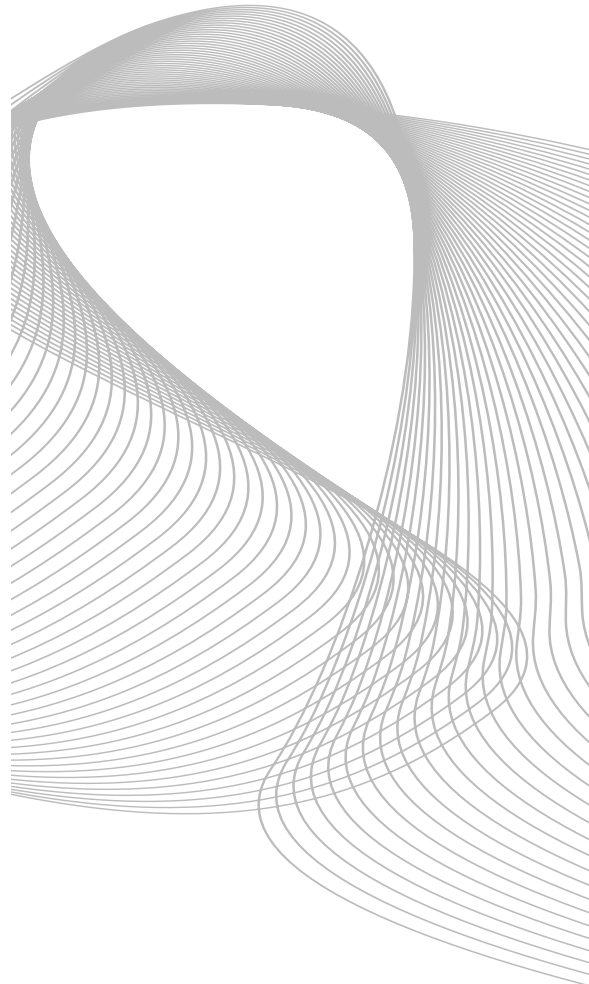
Olin 1980-luvun lopulla niitä ensimmäisiä ja harvoja Suomesta, jotka osallistuivat näihin kansainvälisiin kokouksiin. Tämä johti siihen, että omalla työsarallani ilmastomuutos ja siihen liittyvät selvitys- ja tutkimusasiat sekä tutkimusrahoitus eri laitoksissa saivat hallitsevan roolin. Niinpä osallistuin vuonna 1992 Etelä-Amerikan Rio de Janeirossa kehitys- ja ympäristökokoukseen Suomen valtuuskunnan asiantuntijajäsenenä. Tuossa kokouksessa Suomi allekirjoitti YK:n kansainvälisen ilmastopöytäkirjan, joka astui kansainvälis-oikeudellisesti voimaan vuonna 1994. Osallistuin yhtä poikkeusta lukuun ottamatta kaikkiin kansainvälisen ilmastopöytäkirjan osapuolten kokouksiin eläkkeelle siirtymiseeni saakka vuonna 2012. Kokousten määrä oli kymmeniä eri puolilla maailmaa.

Vuonna 1998 siirryin ympäristöministeriöön. Tehtävinäni olivat edelleen ympäristö- ja energia-asiat. Ilmastoasioiden valmistelu kotimaassa ja osallistuminen YK:n kansainvälisiin neuvotteluihin lisääntyivät koko ajan. Suomen ensimmäisenä puheenjohtajuuskautena vuonna 1999 Euroopan Unionissa sain myös toimia EU:n edustajana ja puhe- miehenä neuvottelujen eri tehtävissä.

Ilmastoneuvottelijana maailmalla

Vuosien mittaan kansainväliset ilmasto-neuvottelut ovat tarjonneet monta ikimuistoista kokouspaikkaa ja hetkeä. Japanin Kiotossa vuonna 1997 neuvoteltiin Kioton pöytäkirja. Vuonna 2000 Hollannin Haagissa piti saada täsmennyksiä tuohon pöytäkirjaan niin, että se voisi tulla kansainvälisesti voimaan, mutta petyttiin. Samoin kävi vuonna 2009 Kööpenhaminassa, jossa piti avata ja linjata kautta Kioton sitoumuskauden 2012 jälkeen. Taas petyttiin.

On toki kokouksia kuten Buenos Aires vuonna 1998, New Delhi, Montreal ja Bali sen jälkeen. Kaikissa näissä on merkittävästi saatu tuloksia ja edistetty eri osa-alueilla asioiden kypsyä niin, että suuremmat ja lopullisemmat päätökset ovat olleet mahdollisia. Tämän prosessin huipentumana saatiin vuonna 2015 Pariisin ilmastopöytäkirja koskien tulevia toimia 2020 ja sen jälkeen.



Ympäristöministeriössä ilmastoasioiden tehtäväkenttä laajeni ja niiden painoarvo kotimaan valmisteluissa ja politiikassa kasvoivat. Ministeriössä perustettiin vuonna 2009 oma 12–13 henkilön tulosryhmä ”ilmastoryhmä”, jonka ryhmäpäällikkönä ympäristöneuvoksen virassa toimin viimeiset työvuodet. Jäin eläkkeelle vuoden 2012 keväällä.

Ehdin urani loppuvaiheessa panna alulle valmistelut, jotka johtivat ilmastolain säätämiseen Suomessa vuonna 2015. Valmistelin myös hallituksen esityksen ilmastopaneelin perustamisesta. Se on elin, missä tiedemiehet voivat antaa näkemyksiään poliittiseen päätöksentekoon kotimassa siitä, miten ilmastomuutoksen hillintätoimissa tulisi edetä. Kansainvälisesti vastaava elin on IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Mieleenpainuva oli viimeinen ilmastopöytäkirjan osapuolten kokous osaltani Durbanissa Etelä-Afrikassa 2011. Siellä Suomi ei saanut toivomaansa sisältöä ns. nieluja (hiilen sidonta metsiin ja maaperään) koskevaan päätökseen. Päätöksessä määriteltiin maaperän, maaperän muutosten ja metsän aiheuttamien päästöjen tarkastelun ja laskennan periaatteita. Euroopan Unionin komissio lupasi kuitenkin kompensoida eli hyvittää Suomelle suurena metsäisenä maana päätöksestä aiheutuva haitta. Näin sitten tapahtuikin, mutta asian lopullinen hyväksyntä EU:n jäsenmaiden kesken ei ollutkaan ihan läpihuutojuttu. Tämän varmistaminen ja jäsenmaiden yksimielisyyden saavuttaminen vei tiiviisti työurani viimeiset viikot ja vaati useita Brysselin matkoja. Asian loppuunsaattaminen tapahtuikin niin, että olin jo eläkkeellä. EU komission lupaus piti. Tulevaisuutta ajatellen vuoden 2020 jälkeen asia on neuvottelujen kohteena ja mitä ajankohtaisin. Ratkaisulla on vaikutus siihen, pystyykö Suomi pitämään ns. metsien nielun riittävänä ja se heijastuu Suomen metsien käyttöön.

Työurani eri vaiheissa hyödynsin koulutustani laajasti. Fysiikan ja erilaisten fysiikallisten ilmiöiden ymmärrys antoi hyvän pohjan niin radioaktiivisten aineiden analyysien parissa kuin energiakysymyksissä ja ilmakehään liittyvien mallinnusten ymmärtämisessä sekä kasvihuonekaasupäästöjen päästömäärien laskelmien parissa. Suuri useiden vuosien mittainen työ tehtiin monien tutkijoiden kanssa, kun luotiin Suomeen kasvihuonekaasujen päästöjen inventaariojärjestelmä. Tämä järjestelmä toimii Tilastokeskuksessa ja tuottaa viralliset päästömäärien inventaariot vuosittain ilmastopöytäkirjan alla kansainvälisten tarkastajien arvioitaviksi. Matemaattis-luonnontieteellinen koulutus on ollut hyvä pohja työurani tehtävissä.

Onko Pohjanmaa vielä mielessä?

Olen käynyt Etelä-Pohjanmaalla kaikkien näiden vuosien mittaan muutamia kertoja vuodessa. Vaikka vanhempieni kuoleman jälkeen käynnit ovat harventuneet, vielä on sisar Kurikassa sekä Ilmajoella ja lähipitäjissä monia sukulaisia. Viime vuosina on vietetty useita serkkujuhlia, joissa olen tavannut lähisukulaisiani.

Näin erään mainosfilmin, jossa henkilö luetteli ja kehuskeli käymillään kaiken maailman paikoilla. Toinen kuunneltuaan tuon luettelon kysyi ”Mutta ootko käynyt Alavudella?”. Kerroinkin jo aika moisen luettelon käymistäni paikoista maailmalla ja vielä lisää: Thai Mahalin temppeli, Iguassun putoukset Brasilian ja Argentiinan rajalla, Mauritiuksen paratiisisaaren, Kioton buddhalaisluostari, Balin ihanat hiekkarannat, Buenos Airesin ”la bogan” tangopaikat jne., mutta koska olen käynyt Pohjanmaalla, Ilmajoella, Koskenkorvalla – osaan kaivata näitä käyntejä uudestaan. ●

OPETTAJAKSI AJAUTUNUT



Kaksitoista vuotta opiskelin kansakoulusta oppikouluun ja sitten lakka-aiset. Sitten tulikin pohdinnan paikka. Tiesin, että oppikoulun jälkeen voi pyrkiä Helsingin yliopistoon tai Kauppakorkeakouluun tai Teknilliseen korkeakouluun. Päädyin opiskelemaan yliopistolla ensin matematiikkaa ja vaihdoin sitten pääaineekseni fysiikan.

Nautin opiskeluaajasta, vaikka jouduin tekemään oikeasti töitä edetäkseni. Kaverit ja opettajat olivat kivoja. Viihdyin. Valmistumisella ei ollut kiirettä, enkä lainkaan miettinyt oikeisiin töihin menemistä.

Minulle tarjottiin kolmen viikon sijaisuutta koulussa, joka oli fysiikan laitoksen lähellä. Opettaja oli loukannut ranteensa kaatuaan, eikä voinut päästää irti salkustaan, jossa oli kevään ylioppilaiden koepaperit. Hoidin sijaisuuden ja jatkoin seuraavana syksynä koulussa tuntiopettajana. Sain oman valvontaluokan ja opetin matikkaa, fysiikkaa, kemiaa ja tietotekniikkaa, ilman että minulla oli kaikkia tarvittavia opintoja ja epäpätevänä.

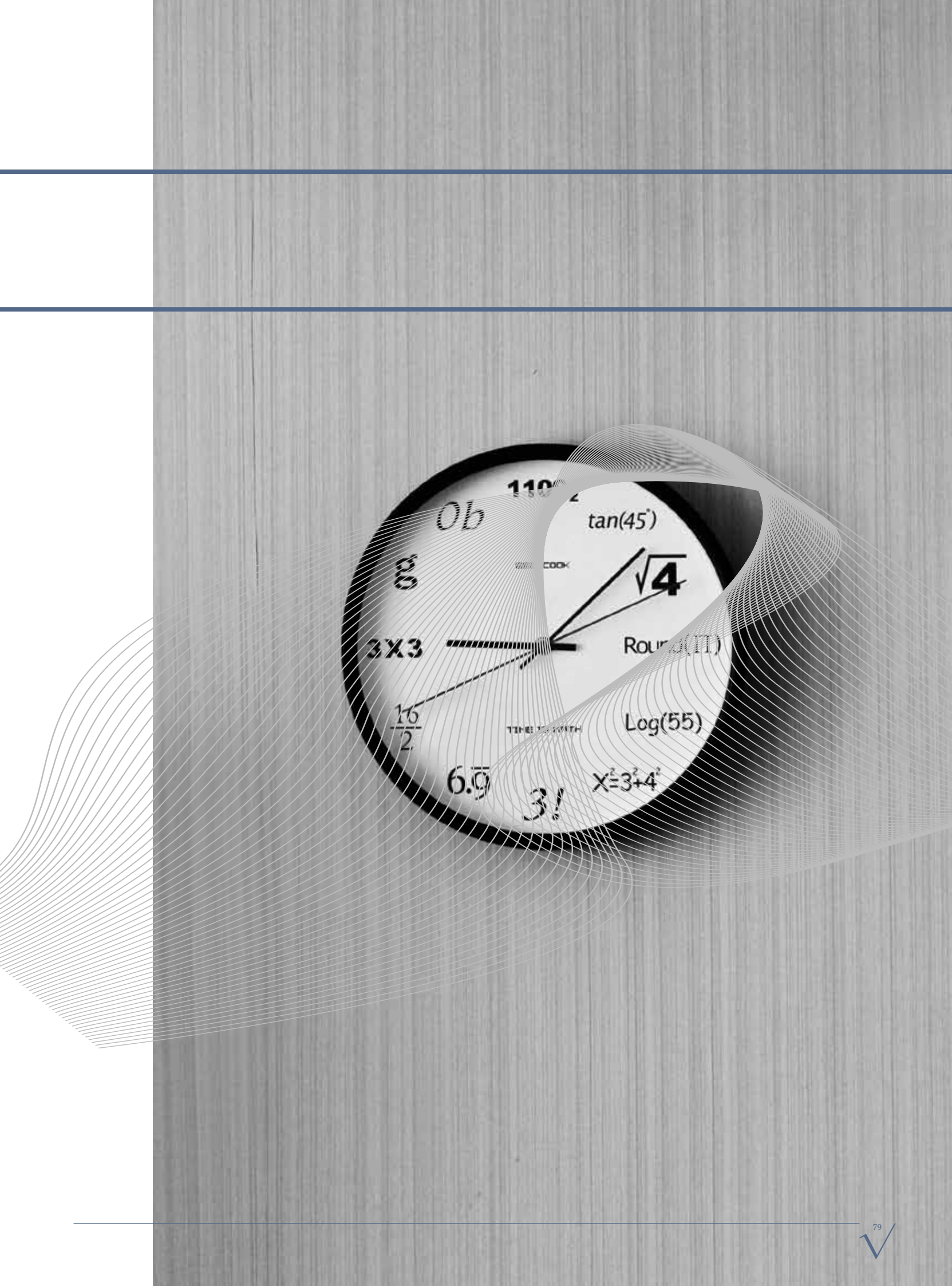
Harkitsin koulutyön lopettamista, koska en pystynyt samanaikaisesti kirjoittamaan gradua ja valmistelemaan tunteja. Gradu val-

mistui, mutta koulutyötä en lopettanut. Neljä vuotta myöhemmin ymmärsin, että taidan sittenkin olla opettaja, vaikken sellaiseksi ollut koskaan aikonut. Niinpä auskultoin ja opiskelin kasvatustieteitä.

Opetustyön lisäksi olin rehtorin apuna hallinnollisissa tehtävissä. Koulutyön ohella toimin pedagogisessa järjestössämme MAOLissa ja Aineopettajaliitossa. Halusin vaikuttaa koulumaailmaan ja ymmärtää sitä. Järjestötyö tuki ja kasvatti opettajuuttani ja siitä minulle on minulle myönnetty opetusneuvoksen arvonimi.

Rakastin opetustyötä, vaikka aluksi jännitin olla luokan edessä. En ollut itse koulussa huippuoppilas, mutta ehkä sen takia osasin asettua opiskelijan asemaan. Pohtia ja miettiä kuinka selvittää opiskelijoille jotain sellaista, jota ei itsekään ollut aikoinaan oikein ymmärtänyt.

Kolmen viikon opettajasijaisuus johti 38 vuoden uraan opettajana samassa koulussa. Vain kahden vuoden syrjähyppy Opetushallituksen lukion fysiikan ja kemian oppimistulosten arvioinnin projektipäälliköksi katkaisi tämän elämän mittaisen koulu-urani. ●



SENIORI PROJEKTITÖISSÄ



Namibiassa suomalaiset auttoivat viranomaisia uraani-lainsäädännön kehittämisessä.

Jäin eläkkeelle eräänä marraskuisena perjantaina. Koska aloitin samassa virastossa konsulttina seuraavana maanantaina, en viitsinyt kovin kummoisia läksiäisjuhlia pitää.

Tein Säteilyturvakeskuksen (STUK) kanssa toimeksiantosopimuksen. Sopimuksen mukaan toimin asiantuntijana STUKin palvelutoimintaan liittyvissä kansainvälisissä hankkeissa. Lisäksi sovittiin, että olen valmis tekemään myös muita erikseen sovittavia tehtäviä. Tämä viimeinen lause toikin mukanaan mielenkiintoisia työtehtäviä, joten tällainen kannattaa aina kirjata työ/toimeksiantosopimukseen.

Toimeksiantosopimuksessa sovittiin lisäksi tuntipalkka ja kuukausittain lähetettävä lasku. Sovittiin myös, että työtä tehdään pääasiassa STUKin toimitiloissa käyttäen STUKin tietovälineitä ja muita työkaluja.

Tässä työssä totesin, että tällamoista olisi työn teon pitänyt olla aina. Koko hallinnollinen byrokratia putosi harteiltani ja ainut hallintoon viittaava asia oli kuukausittainen

laskun lähettäminen. Myös työajoista päätin itse ja myöskin siitä, mihin projekteihin osallistuin. Seuraavassa esimerkkejä projekteista, joissa olin mukana.

Fyysikko terroristijahdissa

Aether-projektissa tutkittiin terroristien aiheuttamaa CBRN-uhkaa lentomatkustajille (CBRN = Chemical, Biological, Radiological, Nuclear). Projektin tavoitteena oli mm. selvittää tiedonkulkua ja tilannekuvan muodostumista ilmailuliikenteeseen kohdistuvassa häiriötilanteessa.

Keskeisenä osana projektia oli valmiusharjoitus, jossa Finnairin lentokoneessa matkalla Hong Kongista Helsinkiin havaitaan osalla matkustajista terveysongelmia. Samaan aikaan saadaan eräältä terroristi-



Oppitunti Ukrainan raja-asetalla. Projektin tarkoituksena oli avustaa Ukrainaa torjumaan terrorismiuhkaa erityisesti jalkapallon EM-kisojen aikana.

ryhmittymältä uhkavaatimus mahdollisesta laajemmasta CBRN-uhasta EU:n jäsenmaissa.

Kaksipäiväinen valmiusharjoitus oli eräs Aether-projektin kulminaatiopisteistä. Ensimmäisenä päivänä pidettiin Säätytalolla tilannekuvaharjoitus, jossa kaikki osallistujat harjoittelivat rakennukseen luodussa tilannekuvakeskuksessa. Toisena päivänä harjoitettiin käytännön toimintaa Helsinki-Vantaan lentokentällä, jossa harjoituksen käytössä oli Finnairin Airbus 320 lentokone. Projektin osanottajina oli sekä viranomais- että muita organisaatioita Suomesta, Ruotsista, Italiasta ja USA:sta.

Valmiusharjoituksen toinen päivä harjoitteli tilannetta, jossa kone on laskeutunut lentokentälle ja valmistaudutaan koneen evakuoimiseen. Lentokone on paikallaan ovet suljettuina. Portaiden eteen on pystytetty

peräkkäisistä teltoista koostuva matkustajien käsittely/dekontaminointi -linjasto ja kenttäsairaala. Kentällä pelastustoimintaa johtaa lentokentän palokunnan palopäällikkö.

Ensin täytyy selvittää, mistä mahdollisesti on kyse. Koneeseen nousee tehokkain suojavälinein varustettu pelastuspartio mukanaan tarvittava mittauskalusto. Mittauksin suljetaan pois, että kyse olisi kemiallisesta myrkystä tai kaasusta. Säteilyturvakeskuksen mittauspartio toteaa, että kyse ei ole radioaktiivisista aineista. Pelastuspartio seuloo matkustajat kiireellisyysjärjestykseen hoitotoimenpiteiden suorittamiseksi. Osa matkustajista kykenee itse kävelemään pois koneesta, osa joudutaan kantamaan paareilla. Seitsemän matkustajaa on tajuttomana.

Kenttäharjoituksen taustalla tapahtuu suuri määrä asioita: tilannekuvan muodos-

taminen, tiedonvaihtoa eri viranomaisten ja muiden turvatoimijoiden välillä, EU-maiden turvatoimijoiden verkoston hälyttäminen, tiedon leviäminen internetiin ja tiedotusvälineille, terroristit esittävät uhkavaatimuksia, näkyy merkkejä, että terroristit ovat suunnittelemassa samantapaisia iskuja myös muiden pohjoismaiden ja EU-maiden kohteisiin.

Keskeisiä toimijoita tämännäpaisesa tilanteessa Suomessa ovat Poliisi, jolla on vastuu rikosperusteisen tilanteen johtamisesta, pelastustoimi, joka vastaa pelastustoiminnasta, valtioneuvoston kanslian tilannekeskus, sisäasiainministeriö, liikenteen turvallisuusvirasto Trafi ja lisäksi joukko asiantuntijavirastoja, esim. Ilmatieteen laitos ja Säteilyturvakeskus sekä tietenkin lentoyhtiö.

Namibian uraania

NAMUPOL-projektin (Namibian Uranium Policy) aikoihin 2010-luvun alkupuolella Namibiassa oli toiminnassa kaksi uraanikaivosta (Rössing ja Langer Heinrich). Näiden lisäksi oli neljä lupaavaa esiintymää.

2000-luvulla Namibiassa oli alkanut ”uusi” uraaniryntäys, jolloin uraanin etsintälupia haettiin kaikkiin tunnettuihin kohteisiin. Tämä sai Namibian kaivos- ja energiaministeriön huolestumaan toiminnan vaikutuksista ja ministeriö keskeytti uusien etsintälupien myöntämisen, jotta lainsäädäntö ja ohjeistus voitaisiin saada vaadittavalle tasolle.

Projektin suomalaisten osanottajien Geologian tutkimuskeskuksen ja Säteilyturvakeskuksen tehtävänä oli tukea Namibian viranomaisia lainsäädännön kehittämisessä. Projektin yhtenä tarkoituksena oli luonnostella Namibialle Uraanipolitiikka-paperi. STUKin asiantuntijat olivat mukana erityisesti säteilyturvallisuuden ja ydinmateriaalivalvonnan osalta. Projektin alkaessa projektiryhmä kävi tutustumassa kaikkiin toiminnassa oleviin uraanikaivoksiin ja tunnettuihin esiintymiin.

Projektin suomalaiset asiantuntijat tuottivat projektia varten kirjallista materiaalia, joka kattoi kaiken mahdollisen alkaen työntekijöiden ja ympäristön turvallisuudesta ja päättyen uraanin tuotantoon liittyviin kansainvälisiin vaatimuksiin. Materiaalia käytiin myös esittelemässä projektiin liittyvissä seminaareissa, joissa samalla työstiin tulevaa politiikkapaperia.

Projektin lopputuloksena saatiin aikaiseksi (Draft) Nuclear Fuel Cycle Policy. Tiedossani ei ole, missä määrin politiikkapaperissamme olevia asioita on implementoitu Namibian lainsäädäntöön ja muihin asiakirjoihin. Ehkäpä projektiin liittyvien keskusteluiden seurauksena Namibia kuitenkin ratifioi ydinsulkusopimuksen valvontasopimuksen lisäpöytäkirjan vuonna 2012. Pöytäkirja oli kylläkin allekirjoitettu, mutta sen toimeenpano viipyi.

Namibiassa on kuitenkin perustettu Namibian Uranium Institute, joka koordinoi ja on yhteistyössä kaikkien uraanin louhimiseen liittyvien tahojen kanssa. Yhteistyö alkaa jo siinä vaiheessa, kun uraanin tuotantoa aletaan suunnitella ja jatkuu tuotannon, myynnin ja kuljetusten vaiheissa ja päättyy kaivos-toiminnan alasajoon.

Rautaa rajalle

POL11-projektin otsikkona oli ”Preparedness, Response and Consequence Management of CBRN Threats in Ukraine/Poland Border during UEFA EURO 2012”. Projektin tarkoituksena

oli avustaa Ukrainaa (Ukrainan rajavartiolaitos SBGS:ää) torjumaan RN-aineisiin liittyvää terrorismiuhkaa erityisesti jalkapalloon liittyvien vuonna 2012 Ukrainassa ja Puolassa järjestettävien EM-kisojen aikana.

Alun perin tarkoituksena oli toimittaa rajavartioasemille säteilymittausportteja, mutta ukrainalainen osapuoli halusikin muunlaisia mittalaitteita. Me konsultit olemme joustavia, joten Ukrainan rajavartiolaitos sai listan muista CBRN mittauksiin sopivista laitteista, joista se valitsi toimitettavaksi ChemPro 100i kädessä pidettäviä kemiallisten taistelukaasujen mittaamiseen soveltuvia mittalaitteita suomalaiselta toimittajalta. Ukrainalainen toimittaja puolestaan toimitti rajavartiolaitokselle RN-aineiden mittauksiin sopivia laitteita.

ChemPro 100 i mittalaitteita vietiin kolmelle Ukrainan ja Puolan väliselle raja-asemalle. Projektin aikana koulutettiin näillä raja-asemilla yhteensä noin 50 rajavartijaa. Laittehankintojen ja rajavartioiden koulutuksen lisäksi projektiin kuului projektista saatujen kokemusten välittäminen laajemmalle yleisölle. Tätä varten järjestettiin Brysselissä seminaari, johon osallistui Ukrainan eri viranomaisten edustajia ja Suomesta STUKista ja laitetoimittajalta Environicsilta sekä edustajia Euroopan komissiosta.

Projektin päätteeksi oli myös harkinnassa valmistella projektin kokemuksista laajemmalle yleisölle tarkoitettu julkaisu. Tämän kirjoittaminen ei tietääkseni ole toteutunut.

Kokemuksia projekteista

Tulikasteeni tämäntapaisten projektien parissa työskentelyyn sain, kun aikanaan lupauduin melko mittavan EU-rahoitteisen tutkimusprojektin koordinaattoriksi. Projektin akronyymiksi keksin TENAWAn, joka tulee asiasisältöä kuvaavasta otsikosta ”Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water”.

Tämä projekti vei elämästäni 4 vuotta. Koko sen ajan projektiin liittyvät asiat olivat mielessäni, jos eivät aivan päällimmäisinä, niin ainakin melko lähellä pintaa. Tärkein saamani oppi oli, että tämmöiseen ei pidä toiste ryhtyä.

Kuten EU-rahoitteisiin projekteihin kuuluu, niin osanottajia tuli olla useasta EU-maasta. Tässäkin projektissa oli kaksi tutkimusryhmää Saksasta, kaksi Itävaltasta, yksi Ruotsista ja kaksi Suomesta.

Toinen saamani oppi oli, että projektit ovat hyvin paperinmakuisia. Sen lisäksi että lupasimme laatia suuren määrän projektin sisäisiä, varsinaiseen substanssiin liittyä raport-

Projektin aikana koulutettiin näillä raja-asemilla yhteensä noin 50 rajavartijaa.

teja, tietenkin siinä toivossa, että saisimme rahoituksen, tuli laatia suuri määrä hallinnollisia, EU:lle toimitettavia raportteja. Projektin loppuraporttiin olen listannut, että projektin aikana tai heti sen jälkeen julkaistiin erilaisissa tieteellisissä tai asiantuntijalehdissä 19 artikkelia ja näiden lisäksi projektin sisäisiä raportteja 14 kappaletta. Eri lehdissä julkaistut artikkelit tietenkin pohjaavat näihin projektin sisäisiin raportteihin. Lisäksi on laadittu joitakin posteresityksiä tieteellisiin kokouksiin.

Projektin tiimoilta on laadittu kolme väitöskirjaa, yksi Saksassa ja kaksi Suomessa.

TENAWA-projektin lisäksi olen osallistunut useaan muuhunkin asiantuntijaprojektiin, joista edellä oli kolme esimerkkiä.

Kaikkien projektien osalta, joihin olen osallistunut, olen kyllä ihmetellyt niiden vaadittavien hallinnollisten raporttien suurta määrää. Lukeekohan niitä oikein kukaan? Olen myös todennut, että Euroopan Unionin kieli on Bad English, sekä puhuttuna että kirjoitettuna. Sama pätee muihinkin kansainvälisiin organisaatioihin. •

Viitteet

Aether-projektin loppuraportti: Securing Air Traffic – Case CBRN Terrorism. Toimittanut Timo Hellenberg ja Pekka Visuri. Aleksanteri instituutti, Helsingin Yliopisto 2011.

TENAWA-projektin loppuraportti: Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water. Final Report of the TENAWA project. Toimittanut Martti Annanmäki ja Tuukka Turtiainen. STUK-A169.

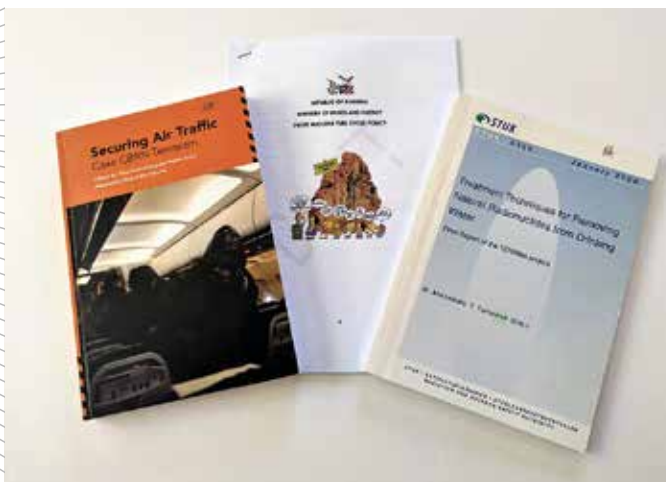
Republic of Namibia, Ministry of Mines and Energy, Draft Nuclear Fuel Cycle Policy.

Radioaktiivisia aineita, mukaan lukien ydinaineet, voi terrorismissä käyttää usealla eri tavalla. Äärimmäinen näistä on ydinpommin tai vastaavan omatekoisen pommin käyttö. Toinen on nk. likainen pommi, jossa tavanomaisella räjähteellä levitetään radioaktiivista ainetta ympäristöön. Kolmas on, että jollain muulla tavalla levitetään ympäristöön laajalle alueelle kontaminaatiota tai saastutetaan esim. vesilaitos.

On olemassa useita kymmeniä valtioita, joiden hallussa on ydinaineita, joista voidaan tehdä räjähteitä. Ydinmateriaalivalvonta ei välttämättä pysty takaamaan, että kaikki aine pysyy valvonnan piirissä. Radioaktiivista ainetta häviää ja toisaalta löydetään kadonneita ”orpoja” lähteitä, joiden ei edes tiedetä kadonneen. IAEA:n arvion mukaan suurta osaa löydetystä lähteistä ei koskaan ole ilmoitettu kadonneeksi eikä suurta osaa kadonneista lähteistä ikinä löydetä.

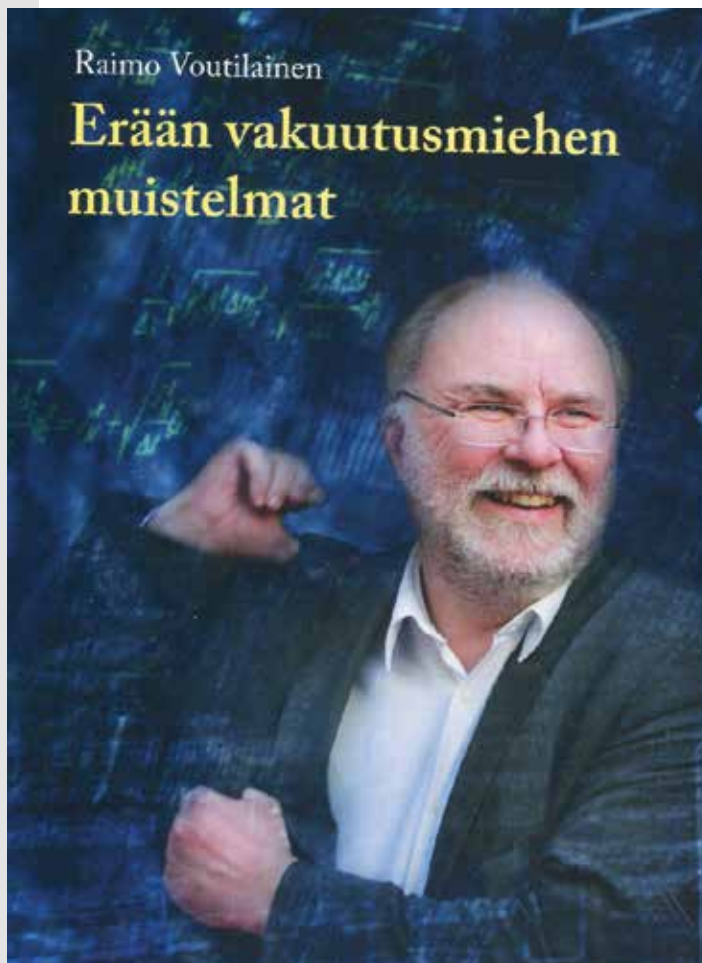
Eräs tietokanta, johon on kerätty julkisuudessa olevista lähteistä tietoa tapauksista, joissa on yritetty hankkia, omistaa tai käyttää CBRN -aineita terroriteossa luettelee noin 100 tapausta, joissa on ollut kyse radioaktiivisista aineista. Pääosa näistä tapauksista on ollut sellaisia, joissa on uhattu käyttää radioaktiivisia aineita tai joissa on yritetty hankkia tai on ollut hallussa radioaktiivisia aineita. Tietokanta luettelee vain noin 10 tapausta, joissa radioaktiivista ainetta on todella käytetty.

Kuuluisin näistä on varmaankin vuonna 2006 uutisoitu Litvienenkon tapaus, jossa käytettiin radioaktiivista poloniumia (polonium-210) henkilön surmaamiseen. Muita luetelluissa tapauksissa käytettyjä radioaktiivisia aineita ovat olleet mm. jodi-131, plutonium-239, uraani-238 ja monatsiitti (sisältää thorium-232:ta). Nämä muut tapaukset ovat olleet melko vähäisiä, lähinnä yksittäisiä rikoksia, eivätkä varsinaisia terroritekoja. Niissä radioaktiiviset aineet ovat lähinnä aiheuttaneet pelkoa eikä niinkään ruumiillisia vammoja tai hengenvaaraa.



DOSENTTI RAIMO VOUTILAISEN SEIKKAILUT VAKUUTUSMAAILMASSA

– HALLUSSA VAKUUTUSYHTIÖIDEN PERUSTAMISEN SUOMEN ENNÄTYS



Opiskelin Helsingin yliopistossa pääaineena matematiikka, vuodesta 1974 vuoteen 1981, jolloin valmistuin lisensiaatiksi. Minulla oli tutkinnossani kolme laudaturia. Matematiikan graduni 1978 oli täysin teoreettinen algebrallisen topologian alalta, mutta lisensiaattitutkimus sovellettua matematiikkaa ns. Kauppamatkustajan Probleemasta.

Ensimmäinen työpaikkani oli Helsingin yliopisto, jossa toimin assistentin ja tuntiopettajan tehtävissä vuosina 1976–1980. Vuosina 1977–1980 työskentelin myös Nokian laskentakeskuksessa tieteellisteknisten sovellusten parissa.

Keväällä 1980 työeläkevakuutusyhtiö Ilmarinen etsi professori **Teivo Pentikäiselle** apulaista. Pentikäinen oli jäänyt jo eläkkeelle Ilmarisen toimitusjohtajan tehtävästä, mutta johti edelleen monia vakuutusalan yhteisiä työryhmiä. Minut nimitettiin Ilmarisen erikoistutkijaksi 16.5.1980 alkaen.

Oli etuoikeus saada toimia ”työeläkejärjestelmän isän” Teivo Pentikäisen apulaisena. Tutkimme sitä, mille tasolle vakuutusyhtiön vakavaraisuusvaatimus tulee asettaa. Suurin osa käytetyistä matemaattisista malleista oli simulointimalleja, joissa simuloitava muuttujana oli vakuutusyhtiön vakavaraisuus, joka riippuu jopa kymmenistä tekijöistä. Ilmarisessa ollessani suoritin vuonna 1983 aktuaaritutkimon (SHV).

Vaikka vakuutusmatematiikka oli mielestäni kiinnostavaa, halusin vähän enemmän taipumuksiani vastaavaa markkinoin-

”Koska aiot tehdä sen väitöskirjan?”
Vastasin, että minkä ihmeen väitöskirjan,
johon hän tokaisi, että sen, joka sinulta
jäi silloin aikanaan tekemättä.

nillista ja liiketoiminnallista työtä. Sellainen tilaisuus tarjoutui, kun Teollisuusvakuutus ja Programatic perustivat yhteisyrityksen tietoturvaluususkonsultointia harjoittamaan ja etsivät sille toimitusjohtajaa.

Aloitin 28-vuotiaana Proteva Security Oy:n toimitusjohtajana marraskuussa 1984, ja toimin tehtävässä vuoden 1988 loppuun, ja vielä sen jälkeen Programaticin johtavana konsulttina helmikuuhun 1990. Protevan asiakkaina olivat maamme suurimmat pankit, vakuutusyhtiöt ja teollisuusyritykset.

Pankkivakuutusura alkaa

Maaliskuussa 1990 siirryin Suomen Yhdyspankkiin apulaisjohtajaksi johtamaan uutta Vakuutuspalvelut-osastoa, jonka tehtävänä oli SYP:n yhteistyön kehittäminen vakuutus-kumppaneiden kanssa. Tuolloin alkoi urallani vaihe, joka on kestänyt nykypäiviin saakka: työskentelin Bancassurance-parissa, joka tarkoittaa pankin ja vakuutusyhtiön yhteistoimintaa vakuutusmyynnin muodossa.

Syksyllä 1992 SYP ensimmäisenä suomalaisena pankkina perusti oman henkivakuutus-yhtiön. Toimin tuossa projektissa uuden yhtiön tuotteiden pääsuunnittelijana, ja henkivakuutusyhtiö Stella näki päivänvalon keväällä 1993.

Samanaikaisesti brittiläinen vakuutus-konserni CIG (Consolidated Insurance Group) valmisti etabloitumista Suomeen ja etsi tätä varten aktuaaria. Tapasin CIG:n johtoa Richmondissa, ja sovimme, että ryhdyin aktuaariksi, mutta lisäksi CIG:n sivuliikkeiden toimitusjohtajaksi Suomessa.

CIG tarjosi yhteistyökumppaniensa kautta lainaturvavakuutuksia mm. asuntolainoihin liitettäviksi. Sen ensimmäinen suuri asiakas Suomessa oli osuuspankkiryhmä, ja yhteistyö sujui erinomaisesti. Silloinen Osuuspankki-keskuksen johtaja **Reijo Karhinen** tarjosi minulle toimitusjohtajuutta OP-ryhmän suunnitteilla olevassa henkivakuutusyhtiössä.

Olin henkivakuutusyhtiö Aurumin toimitusjohtaja vuosina 1995–1998. Yhtiö sai hyvän alun ja on nykyäänkin Suomen kolmen suurimman henkivakuutusyhtiön joukossa. Jouduin lähtemään yhtiöstä johtuen linja-erimielisyyksistä hallituksen kanssa, mutta olin yhtä raskaan sarjan Bancassurance-kokemusta rikkaampi.

Säästöpankki Aktia oli aktivoitumassa Bancassurance-toiminnassa, ja sain tarjouksen ryhtyä Aktian Vakuutusyksikön johtajaksi ja samalla Aktian ruotsalaisen pankkikumppanin Swedbankin Suomeen perustettavan uuden henkivakuutusyhtiön toimitusjohtajaksi ja aktuaariksi. Säästöpankit ja Pohjola ryhtyivät puuhaamaan yhteistyötä, ja ryhdyin säästöpankkien vakuutusasiantuntijaksi liittouman neuvotteluissa.

Tämä oli yksi urani mielenkiintoisimmista vaiheista, mutta pettymykseni oli suuri, kun Aktian omistajat lopettivat neuvottelut yhtiön osalta. Useimmat muut säästöpankit ryhtyivät Pohjolan kanssa strategiseen liittoumaan, joka purkautui syksyllä 2005 osuuspankkileirin ostaessa määräysvallan Pohjolassa.

Keväällä 2004 siirryin Aktiasta sapatille työstämään väitöskirjaani, jonka olin saanut hyvään vauhtiin. Marraskuussa 2004 aloitin IT-yhtiö WM-Datassa vakuutusyhtiöiden strategia-konsulttina. Tein mm. isoa toimeksiantoa Säästöpankkiliitolle, joka oli päättänyt perustaa oman henkivakuutusyhtiön.

Mukaan tuli pian myös Lähivakuutus. Uuden yhtiön liiketoimintasuunnitelma oli paljolti minun käsialaani, ja toimin alkuvaiheessa myös yhtiön vastuullisena aktuaarina.

Eräs asiakkaani oli Nordea Henkivakuutus, jonka toimitusjohtaja **Jukka Venäläinen** pyysi minua huhtikuussa 2007 projektijohtajaksi perustamaan Nordealle eläkerahastoyhtiöt Baltian maihin. Aloitin tuossa tehtävässä kesäkuussa 2007.

Nordea Henkivakuutuksessa aloitti vuoden 2010 lopulla uutena toimitusjohtajana **Pekka Luukkanen**, joka kutsui minut yhtiön

johtoryhmään vastuualueena liiketoiminnan kehittäminen, johon vähän myöhemmin lisätiin aktuaaritoimi.

Vuonna 2014 vapauduin kaikesta linjavastuusta saadessani nimityksen yhtiön tutkimusjohtajaksi. Uudessa tehtävässäni osallistuin akateemiseen tutkimukseen, jolla on yhtiön kannalta merkitystä. Syksyllä 2017 siirryin pois työelämästä 41 vuoden uuras-tuksen jälkeen.

Tohtoriksi työkokemusta hyödyntäen

Valmistuin yliopistosta lisensiaatiksi 1981, ja suunnittelin pari vuotta tohtoriopintoja. Kova työtahti Ilmarisessa ja muuallakin painoi tohtorisuunnitelmat taka-alalle, kunnes vuonna 2002 vanha tuttu professori **Pekka Korhonen** kysyi minulta: ”Koska aiot tehdä sen väitöskirjan?” Vastasin, että minkä ihmeen väitöskirjan, johon hän tokaisi, että sen, joka sinulta jäi silloin aikanaan tekemättä.

Pekka tähdensi, että väitös kannattaa tehdä aiheesta, joka oikeasti kiinnostaa. Totesin, että sellainen aihepiiri on pankkien ja vakuutusyhtiöiden liittoumat, joita olin joutunut paljon miettimään. Väitöspäiväni oli 3.3.2006. Olin hiljattain täyttänyt 50 vuotta. Väitöksessä selvitin, mikä on paras liittoutumisen malli yritysjohtoon, valvontaviranomaisten ja asiakkaiden näkökulmasta.

Olen vaihtanut työpaikkaa useasti uusien haasteiden perässä. Siirryin ”business-maailmaan”, kun halusin uusia näkymiä aktuaari-työn asemesta. Suoritetulla SHV-tutkinnolla on kuitenkin ollut pitkin matkaa suuri merkitys tehdessäni joko konsulttina tai sivutoimisesti aktuaari-tehtäviä. Täyttäessäni 60 vuotta toimitusjohtaja Pekka Luukkanen totesi onnittelupuheessaan, että minulla on uusien vakuutusyhtiöiden perustamisen Suomen ennätys. Väitöskirjani taas oli kauan uinumassa olleen haaveeni toteuma. •

KOHTALONA NOKIA

**Minun tieni, onko se polku
vai ura vai urapolku?
Sitä etsimässä
maailman suurimman
matkapuhelinyhtiön
matkassa.**

Onnekkaita sattumia

Onnekkaita sattumat, polkuriippuvuus, ja tietoiset valinnat ovat kaikki osaltaan vaikuttaneet elämäni kulkuun, missä työelämä, perhe-elämä ja osallistuminen yhteiskunnan rientoihin ovat kietoutuneet yhteen tavalla, jota olisi ollut mahdotonta ennustaa kuusi vuosikymmentä sitten.

Y-sukupolveen verrattuna lapsuus ja nuoruus oli suurilla ikäluokilla henkisesti helpoa. Valintoja ei juurikaan tarvinnut tehdä, koska vaihtoehtoja oli niin vähän. Koulua ja mahdollisimman laajaa yleissivistystä pidettiin tärkeänä. Tärkeää oli myös työn tekemisen oppiminen. Siksi lukio oli luonnollinen valinta, samoin jokavuotiset kesätyöt, jotka aloitin 13-vuotiaana postin varhaisjakelussa äidin apuna.

Kiinnostus tekniikkaan ja siihen, miten kaikki toimii, oli varmasti tärkein tekijä opiskelupaikan valinnassa. Teknillinen korkeakoulu oli selkeä tavoite, vaikka tiesin mikä ”teekkari” on vasta, kun itse olin sellainen.

Onnekaaksi sattumaksi päädyin asumaan TKY4: een, yhdessä kahdeksan muun fuksin ja kolmen vanhemman tieteenharjoittajan seuraksi. Se oli monella tapaa ideaalinen kasvualusta. Porukassa joku osasi ratkaista differentiaaliyhtälöitä, toinen tiesi paljon valokuvauksesta ja kolmas, toinen solun työstä, vaatimalla vaati minua lähtemään mukaan perusteilla olevaan sekakuoroon, josta sittemmin kasvoi Kamarikuoro Dominante.

Valokuvaus jäi lopulta vähemmälle, mutta opintojen melko mutkaton, joskin hitaanpuoleinen suorittaminen ja etenkin teekkari-aulun kautta syntyneet verkostot loivat pohjan loppuelämälle ja myös sen yhteisöllisille ulottuvuuksille. Dominanten rinnalle tuli PK, jonka puheenjohtajana jouduin hoitamaan ensimmäisen ”työsopimusneuvotteluni” kuoron kvartettilaulajien kanssa keikkapalkkioiden tasosta. Neuvottelut olivat tiukat, mutta lakko vältettiin.

Putosin vuosikurssilta, koska päätin kesken kaiken lähteä hakemaan uutta intoa opiskeluun ilmavoimien viestistä. Siitä sitä motivaatiota sitten tulikin. Onneksi siinä myös yhdistyivät monet kiinnostuksen kohteet sopivalla, tekniikkaan nojaavalla tavalla.

Nokia työelämän kiintopisteeksi

Kohtuullinen koulumenestys ja mukavissa tilaisuuksissa näkyminen, tai oikeammin ehkä kuuluminen, sai erään opiskelukaverini kysymään minua kesätöihin Nokia Tietoliikenteen Datasiirto-yksikköön. Nokiasta tulikin työelämäni kiintopiste. Aloitin työt Nokia Data-siirrossa 2.6.1980.

Datasiirron tehtävänä oli kehittää ja myydä datamodeemeja kiinteän puhelinverkon päätelaitteiksi. Modeemeissa oltiin juuri siirtymässä analogisesta digitaaliseen signaalinkäsittelyyn ja ohjelmistopohjaisiin laitteisiin.

Tämä murros ei silloin tuntunut isolta, mutta näin jälkempäin katsottuna muutos oli todella merkittävä. Ohjelmistopohjaiset tuotteet muodostuivat teollisuuden valtavirraksi ja Nokian DSP-pohjaiset modeemit olivat ensimmäinen massatuotantoon päätenyt alan sovellus Suomessa.

Tähän vaiheeseen istui erinomaisesti se, että ehdotin datasiirron johdolle, että olisin vapaaehtoinen lähtemään komennukselle, kun siihen tilaisuus tarjoutuisi. Nokia Data-siirto oli juuri hankkinut tytäryhtiöksi pienen floridalaisen yrityksen nimeltään Kinex.

Tilaisuus tuli vuoden päästä ja niin pakkasimme yhdessä tuoreen puolisoni kanssa vähät tavaramme ja nousimme ensimmäistä kertaa elämässämme Atlantin lennolle ja lopulta kohti uutta kotikaupunkia Largo, FL, jota ei löytynyt mistään kartasta, mitä meillä oli käytettävissä.

Askel oli lopulta pieni. Vaikka teknisesti yhteydet olivat huonot, vain kallis puhelin-yhteys ja 1200 bit/s modeemi, yhteydenpito Datasiirron sisällä oli tiivistä ja ystäviä oli yhteyden kummassakin päässä. Kaksi vuotta Floridassa Nokia-Kinexissä oli selkeä rytminvaihto aikaisempaan elämään verrattuna.

Kohti ensimmäistä GSM-puhelua

Polkuriippuvuus ja verkostot vaikuttivat siihen, että minulle tarjottiin poikkeuksellista tehtävää, tuotekehityksenprojektin vetovastuuta maailman ensimmäisen GSM-puhelimen synnyttämiseksi. Polkuriippuvuus oli siinä mielessä ilmeinen, että tulevan GSM-puhelimen rakenne oli hyvin samanlainen kuin



Joukkioista ryhmäksi: Pekingin tiimi Kiinan muurilla.



Nokia 6650

datamodeeissa oli siihen aikaan, jopa niin, että datamodeeihinkin oli lisätoiminteenä rakennettu digitaalinen puheenkoodaus ja siihen liittyvä salausta.

Vain radiotaajuusosat olivat minulle täysin outoja, mutta niistä oli Salossa ja Oulussa, Nokia-Mobiran silloisissa tuotekehityskeskuksissa erinomainen osaaminen ja kokemus. Lisäksi matkapuhelimien massavalmistuksessa Mobiran kehittämä tuotteiden korkea integrointiaste ja ison volyymituotannon osaaminen olivat vahvuuksia. Mobiralla oli myös vuosia panostettu DSP ja protokolla ohjelmistojen sekä ASIC integroinnin osaamiseen erilaisten koelaitteiden avulla. Edellytykset onnistumiselle olivat hyvät, mutta myös vaatimustaso oli jotain Suomessa ennenkuulumatonta.

Urapolku sukelsi noin kolmen vuoden tunneliin, jossa etenkin Euroopan lentokentät, pimeät tiet Salosta Tampereelle ja Helsinkiin, mutta myös valtava määrä huippuosaavia ihmisiä tulivat tutuiksi.

Nokian kansainvälistyminen toi oman lisämausteensa tuohon sukellukseen, kun tuotekehitys laajeni Englantiin ja Saksaan,

mikä ei tietenkään sujunut ihan itsekseen. Kapulaa piti vaihtaa loppusuoran alussa, mutta projekti lopulta saavutti tavoitteensa, kun 1.7.1991 maailman ensimmäinen GSM-puhelu soitettiin Espan puistosta Nokian puhelimella Nokian rakentamassa verkossa. Ensimmäistä kertaa todella selvästi tunnistin Nokian vahvuuden: Kukaan ei ole täydellinen mutta hyvä tiimi voi olla.

Kapulaa vaihto tuli ajankohtaiseksi monestakin syystä. Itse ajattelen niin, että yrityksen johto näki, että minun parhaat kykyni eivät liittyneet asioiden viimeistelyyn, vaan hajallaan olevien palasten hahmottamiseen kokonaisuuksiksi. Ja alkoi se happikin loppumaan ennen tunnelin loppumista.

Uusi tehtävä digitaalisten puhelimien tuotekehityksessä

Niinpä sain uuden tehtävän: rakentaa systeemisuunnittelufunktion Nokia-matkapuhelimien tuotekehitykseen, koskien kaikkia DSP-pohjaisia matkapuhelimia.

Oli polunhahmottamisen paikka. Tästä työstä syntyi ns. DCT-1 (Digital Core Technology) sukupolvi laitteita, joista Suomessa myyntiin tuli vuoden 1994 alussa Nokia 2110. Ja tässä kohtaa täytyy sanoa, että loppu onkin sitten historiaa. Nokian DCT-alustan tuotteet valtasivat markkinoita joka puolella maailmaa. Viimeinen DCT-5 sukupolvi tuotteita lienee ollut myynnissä vielä 2010 vuoden aikoihin. Ensimmäisten tuotteiden tullessa markkinoille olivat uudet hahmottamisen haasteet itselläni jo muualla.

Kuluttajien kiinnostus GSM-puhelimiin oli ilmeistä heti alusta alkaen ja koko teollisuudessa kaikki resurssit oli suunnattu kilpajuoksuun ensimmäisten tuotteiden tekemiseen. Teknologian jatkokehittämiseen ei oltu kiinnitetty paljoa huomiota. Nokian johdossa heräsi ajatus, että asialle kannattaisi tehdä jotain.

Kun DCT-1 systeemisunnittelu alkoi olla loppusuoralla, sain tehtäväksi selvittää yhtymätasolla kyseistä asiaa. Ajatuksia syntyi runsaasti ja niistä piti hahmottaa sellaiset kokonaisuudet, joilla saataisiin GSM-markkinaan lisävauhtia ja Nokialle tietenkin kilpailuetua.

Esitettyjen ajatusten pohjalta Nokia isännöi ETSI:n (European Telecommunications Standards Institute) työpajan Helsingissä vuoden 1993 lopulla. Työpajassa Nokian ja muidenkin yritysten keräämät ajatukset ja ehdotukset käsiteltiin, ja niiden pohjalta muodostettiin GSM-järjestelmään vaihe 2.

Tätä tukemaan perustettiin Nokialla GSM Plus -tutkimushanke, jonka vastuullisena johtajana pääsin hahmottamaan näköalapaikalta maailman matkaviestinnän tulevaisuutta sekä GSM:n osalta että myös alussa olevan UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) työn osalta.

UMTS-hankkeet, kuten EU:n rahoittama FRAMES-hanke, jäsentyivät sittemmin maailmanlaajuisiksi 3G-hankkeeksi. Nokian tiimit tutkimuksessa, standardoinnissa, tuotekehityksessä ja koko prosessissa ohittivat kilpailijansa ja maailmanluokan johtajuus saavutettiin vuosituhatluppuun mennessä. Ja jo toisen kerran voi sanoa, että loppu onkin sitten historiaa.

Kovin paljon tästä saavutuksesta en voi lukea omaksi ansiokseni, mutta mieltä lämmitävä huomio silti on, että jollain tavalla nykyinen 5G työ noudattaa noita yli 20 vuotta vanhoja käytäntöjä. Työ Nokian tutkimuskeskuksessa 1990-luvulla oli kiehtovaa, visionääristä ja palkitsevaa. Olimme tekemässä parempaa maailmaa, jossa ihmiset kaikkialla voisivat olla helposti yhteydessä toisiinsa.

Työ Nokia matkapuhelimeissa huipentui tehtävään, jossa olin vastuussa ensimmäisis-

tä kolmannen sukupolven tuotteiden tuotekehityksestä. Tavallaan tehtävä oli sama kuin ensimmäisen GSM-puhelimen suunnittelun johtaminen, mutta tiimin koko ja budjetti oli yli 20 kertainen, väkeä projektiorganisaatiossa oli pitkälle toista tuhatta. Ja samoinhan tässä kävi nytkin. Tuotteet saatiin toimimaan, mutta niiden viimeistely jäi muiden tehtäväksi.

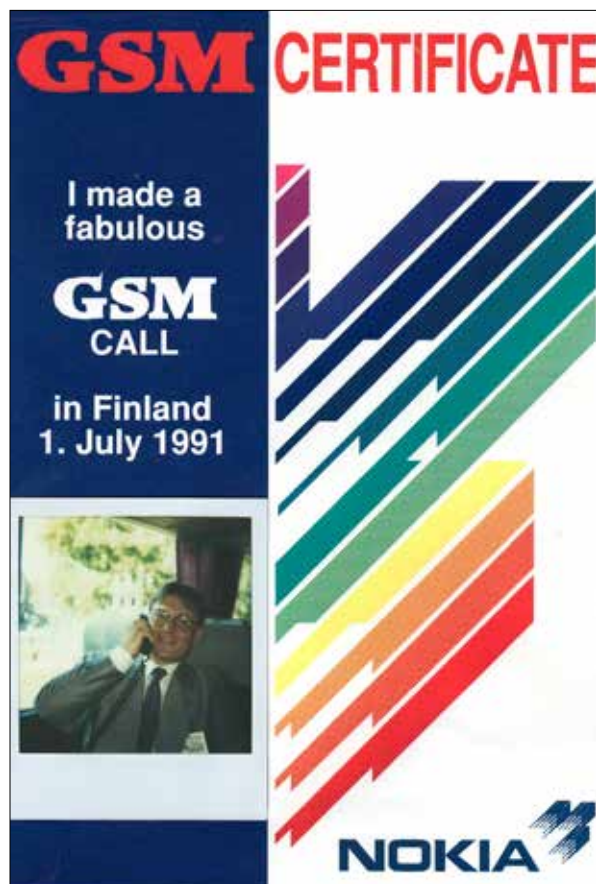
Aika hahmottaa jotain uutta

Uusi vuosituhat toi mukanaan uudet teknologiat ja uudet ihanteet. Mobiili Internet, tuo kummallinen, kahden systeemin hybridin, oli määrä olla se uuden maailman graalin malja. Ja sellainenhan siitä tulikin.

Mutta tämän asian hahmottaminen ei ollut kovin helppoa maailman mahtavimman tuotantokoneiston sisältä käsin. Tai se oli oikeastaan todella vaikeaa. Tämän näin, mutta en osannut hahmottaa, miten asia olisi pitänyt ratkaista Nokian kohdalla. Päätin jättää yhtiön vuonna 2003.

Tämä ei kuitenkaan toteutunut, vaan päätös liudentui kahden vuoden opintovapaaksi, suuntana Otaniemi. Sinä aikana käytiin työstä vapautuneen aikani uusien osaamiskokonaisuuksien oppimiseen. Keskeisiä kysymyksiä olivat Internet-teknologiat ja matematiikka liiketoiminnan tukena, sekä maailman hahmottaminen systeemiälykkyyden avulla.

Mobiili Internet, tuo kummallinen, kahden systeemin hybridin, oli määrä olla se uuden maailman graalin malja.



Opintovapaa edellytti tavoitetta jatko-tutkinnosta. Tutkinto itsessään ei ollut minulle tärkeä, uusien asioiden oppiminen oli. Kurssit soljuivat eteenpäin ja tämä aika on jäänyt mieleeni yhtenä parhaana ajanjaksona elämässäni. Kaikki asiat henkilökohtaisesti ajatellen olivat todella hyvin. Ammatillisesti kiinnostavinta oli touhuta sukupolvea nuorempien teekkareiden kanssa niin harjoituksissa kuin luennoillakin, sekä kuunnella uudella korvalla asioita, joista jo ymmärsin paljon, mutta myös sen, että paljon enemmän olisi vielä ymmärrettävää.

Noin vuoden opiskeltuani sain ehdotuksen Nokialta hakea tehtävään, jossa oli taas jotain uutta hahmotettavaa. Oli tarpeen uudistaa yhtiön standardointi ja siihen liittyvät toiminnot.

Standardoinnissa rakennetaan ekosysteemiä

Standardointi on metaforan tasolla tutkimuksen myyntiorganisaatio. Standardoinnissa kuitenkin vasta rakennetaan ekosysteemiä, missä yhteistyön merkitys on paljon isompi kuin kilpailun. Vähän niin kuin lapsena piti lumituiskun jälkeen aurata luistelurata yhteistyössä, jotta pääsee pelaamaan kiekkoa ja kilpailemaan muiden joukkueiden kanssa. Ja aurattavaa riitti.

Matkaviestiverkot ja verkon laitteet rakentuvat standardoiduista palasista ja viime kädessä tehtävänä oli johtaa globaalia ekosysteemin systeemis suunnittelua yhdessä muiden alan toimijoiden kanssa. Mobiilin Internetin palasia rakenneltiin yli sadassa standardointi-organisaatiossa maailman eri puolilla. Tämän kaiken hahmottaminen uudella tavalla olisi avain siihen, miten koko liiketoiminnan hahmottamisen voisi hoitaa. Näin ajattelin.

Työelämän kannalta tämä oli monessa mielessä toiveiden täyttymys. Ei tarkasti niin kuin olin elämäni hahmottanut lukioikäisenä, mutta lähellä. Olin yksi maailman suurimman matkapuhelinyhtiön teknologia-ekosysteemin vastuullisista johtajista. Tässä työssä pääsin myös täysillä soveltamaan kaikkia uusia oppeja, joita olin kahden vuoden Otaniemi-projektini aikana hankkinut.

Työ oli johtamista minulle sopivalla tavalla. Tiimin ihmiset hoitivat itsenäisesti tehtäviään eri liiketoiminnan osien kanssa ja johtamisen keskeinen haaste oli nähdä asiat toisaalta osiensa summana, riippumattomien hankkeiden portfoliona ja toisaalta summaa suurempana kokonaisuutena.

Aluksi näyttikin siltä, että tunnelin päässä näkyy valoa, mutta tarkemmin katsottuna sieltä näkyikin kaksi valonlähdettä ja ne lähestyivät nopeasti. Niillä oli nimetkin: Apple

ja Google. Todellisuus, jota oli ollut vaikea hahmottaa systeemin sisältä, oli materiaalisoitumassa systeemin ulkopuolelta tulevien haastajien toimesta.

Keskenään taistelevia voimia liike-elämässä on **Michael Porterin** mukaan viisi. Näistä neljä on sellaisia, joiden kanssa yleensä opitaan elämään, mutta se viides, liiketoiminnan korvaava kilpailija (substitutor) on erityisen hankala. Tällainen toimija ei vain tule mukaan kisaan, vaan pelaa kokonaan eri säännöillä. Vähän kuin järven jää olisi sulanut luistelijoiden alta ja peli muuttunut jalkapalloksi.

Tilanne ei ollut yllätys. Mutta yllätys oli se, kuinka vaikeaa on riisua luistimet ja maila ja vaihtaa peliväline kokonaan uudenlaiseksi ja etenkin kuinka strategisesti vaikeaa uusi peli ainakin vanhoille pelaajille oli. Standardoinnissa tämä oli nähtävissä jo varhain, mutta sille ei ollut mitään järkevää tehtävissä, koska uusi peli ei standardoinnista paljon piitannut. Ja tällä kertaa tuloksena olikin sitten historiallinen loppu. Nokia lopulta luopui matkapuhelimista.

En kuitenkaan halunnut jäädä viimeistelemään tätäkään vaihetta, vaan päätin, että jollain tavalla saatuja käytännön kokemuksia sekä teoreettisia oppeja on hahmotettava muotoon, josta voi olla hyötyä jollekin. Sain sovittua työtehtävän, joka oli varsin lähellä sitä, mitä halusinkin.

Tehtävänä oli hahmottaa toisaalta sitä, mitä matkapuhelinmarkkinalle oli tapahtunut ja toisaalta sitä, miten tätä voisi hyödyntää tulevaisuuden Nokian hankkeissa, kun koko maailma digitalisoituu ja talous pohjautuu yhä isommassa määrin tietoon ja tiedon jalostamiseen. Millaisia olisivat data-ajan ekosysteemit ja 5G?

Palasin siis taas hahmottamaan systeemiä, nyt vain yhä ylemmällä tasolla. Jo DCT1 aikojen systeemis suunnittelussa piti ottaa huomioon liiketoiminnan kaikki alueet, sääntelyt, tutkimuksesta tuotteiden suunnittelusta, ja valmistuksesta aina niiden yhteiskunnallisiin vaikutuksiin asti. Niin nytkin, mittasuhteet vain ovat valtavasti isommat.

Teekkarihenkistä Toimintaa

DCT1 aikoihin ja osin sattuman oikusta ystävänä pyysivät minua mukaan Tekniikan Akateemisten (TEK) toimintaan, siis diplomi-insinöörien ammattiliittoon, ryhtymään ehdokkaaksi valtuuston vaaleihin. Olin ollut jäsen opiskeluajoista asti ja koska yhteiskunnalliset kysymykset olivat mielessä työn kautta, sen kummempia miettimisiä lupauduin.

Tästä alkoi uran sivuvirta, jonka kautta olen oppinut ymmärtämään paljon uusia asioita työelämästä, mutta myös laajemmin

yhteiskunnan toiminnasta. Tulen valituksi valtuustoon ja saman tien liiton hallitukseen.

TEK oli silloin tavallaan kahden erilaisen ekosysteemin hybridi, vähän kuin mobiili internet, minkä analogian ymmärsin tosin vasta paljon myöhemmin. Perinteinen STS oli saanut rinnalleen haastajan, KALin, ja nämä kaksi oli päätetty sulauttaa yhteen järjestöön. Alun myllerrykset jäivät melko pian taakse ja toiminta TEKissä toi minulle monia mielenkiintoisia tehtäviä, etenkin teknologia-valiokunnan alueella, missä yhteiskunta ja teknologia käyvät toivottavasti hedelmällistä vuoropuhelua.

TEKin kautta pääsin mukaan teknologioita edistävien säätiöiden toimintaan, ensin ihan pikkuisen KAUTE-säätiön tiimoilta, sitten 9 vuodeksi Walter Ahlströmin säätiön hallitukseen. Ja ehkäpä osin näiden vaikutuksesta Nokia Oyj:n hallitus nimitti minut Nokia-säätiön puheenjohtajaksi, ensi kertaa kaudeksi 2012 ja sillä polulla ollaan edelleen.

Tässä kohtaa on hyvä nostaa esille merkittävä havainto siitä, kuinka tärkeää ja valaisevaa on katsoa asioita eri puolilta. Johtajarooli Nokiasa ei ollut este eikä ongelma katsoa työelämää työntekijän näkökulmasta TEKin tehtävissä, eikä päinvastoin. Ja kolmantena ulottuvuutena säätiöiden tärkeänä tehtävänä on viedä tiedettä eteenpäin puhtaasti ilman kaupallisia intressejä.

TEK ja koko ammattiyhdistystoiminta tuovat teknologian kehityksen näkökulmasta vähintään vuosikymmenen verran jälki-junassa. Se on ymmärrettäväkin. Teknologioiden vaikutukset näkyvät yhteiskunnallisina muutoksina ns. pitkien aaltojen rytmissä.

Sama murros, jonka Nokian matkapuhelimet kokivat 2010 vaiheilla, on vasta alkamassa työurien murroksena tekoälyn ja datatalouden myötä. Tässä murroksessa haastajana ei erityisesti ole ns. halpatyövoima (jos tätä ihmistä halventavaa nimitystä edes pitäisi käyttää), vaan se kokonaan eri tavalla toimiva talous ja yhteiskunta, missä kilpailua käydään ekosysteemien, ei yksittäisten työntekijöiden, ei yritysten tai edes perinteisten kansallisvaltioiden kesken. Ammattiliittojenkin pitää muuttua vastaavasti. Suomelle olisikin eduksi, jos muutoksesta tehtäisiin kivuttomampi kuin paikallaan pysymisestä, kuten **Lauri Ihala-****nen** jokin aika sitten viisaasti totesi.

Lopullisesti uran eri haarakkeet, polut ja osin umpikujatkin yhdistyvät siihen kysymykseen, että onko syytä edes puhua urapolusta. Näyttää pikemminkin siltä, että elämän kaari muodostuu joukosta silmukoita, tai spiraalin kiemuroita, joiden aikana asiat toisinaan jäsentyvät ja toisinaan vain kietoutuvat toisiinsa.

Yksi merkittävä havainto kuitenkin on siinä, miten tärkeää minun urallani on ollut digitaalisen teknologian kehittyminen data-modeemien vaatimattomasta signaalinkäsittelystä matkapuhelimien tehokkaisiin numeronmurskaimiin ja edelleen tekoälyn syviin korrelaattorirakenteisiin.

Nämä kaikki noudattavat periaatteessa samoja ajatusmalleja ja rakenteitakin. Kertaluokat ovat kasvaneet niin signaalien määrässä, laadussa kuin koneiden laskentatehoissakin, mutta se ei haittaa asioiden hahmottamista. Jos kerrankin on nähnyt korrelaattorin konvergoituvan ja silmäkuvion avautuvan modeemin vastaanottimessa, se avaa silmät näkemään vastaavien ilmiöiden dynamiikkoja kokoluokasta riippumatta.

Tekoälyn tunnistamat hahmotukset ovat saman asian miljoonakertaista toistamista murto-osassa aikaa. Systeemisunnittelun peruskysymykset teknologian toimivuudesta ja sen yhteiskuntaa muokkaavista vaikutuksista eivät ole uusia, mutta soveltamisen kysymykset ovat kerta kerralta vaikeampia. Lopulta on vaikeaa erottaa, mikä on koneen ja mikä ihmisen rooli, jos niitä pitkään edes voi pitää erillisinä.

Tätä kaikkea pohtiessa alkaa näyttää siltä, että ei varmastikaan ole syytä puhua urasta, mutta ehkä ei myöskään polusta. Etsimistä ja löytämistä elämä on silti ollut koko ajan. Olisiko kyse siis jostain urapolustosta, missä sattumalla, osaamisella ja tahdollakin, mutta etenkin muilla samassa aika-avaruuden paikassa kohtaamillani ihmisillä on ollut suuri vaikutus, kullakin omalla tavallaan.

Tätä kaikkea pohtiessa alkaa näyttää siltä, että ei varmastikaan ole syytä puhua urasta, mutta ehkä ei myöskään polusta.

Epilogi

Lopuksi voi mainita, että akateeminen ura päättyi oikealle tolalle, kun lähes kahden vuosikymmenen tavoite täyttyi. Väitöskirja ekosysteemien ihmeellisyyksistä hyväksyttiin vuotta ennen suunnitelmassa olevaa eläkkeelle siirtymistä. Onko tämä sitten uran päätös, vai vain välietappi, sen aika näyttää. Ainakin tuore jatkonimitys Tekniikan Museon säätiön hallitukseen seuraavaksi kahdeksi vuodeksi valaisee aikaan sopivalla tavalla polkua hieman eteenpäin.

Olen syvällisesti kiitollinen siitä, että olen saanut tehdä töitä suurenmoisten ihmisten kanssa ja kaikki onnistumiset ovat tulosta kaikkien näiden ihmisten hienosta työstä ja etenkin hyvin toimineesta yhteistyöstä. Epäonnistumisista saan syyttää yksin itseäni. •

MAASEUDUN SÄHKÖISTÄMISESTÄ ENERGIATEKNOLOGIAN VIENTIIN



Kirjoitin ylioppilaaksi Ilomantsin yhteislyseossa keväällä 1974. Näin jälkeen päin ajatellen olin jo ennen yhteislyseoon pyrkimistä elänyt tärkeitä vuosia Ilomantsin Huhuksessa, jossa äitini pyöritti neljän hehtaarin ja kahden lehmän pientilaa ja isäni kuskasi pienyrittäjänä puuta nykyisen Stora Enson tehtaille ja uittoväylien varteen ympäri Karjalaa. Kyllä työn ja sen tekemisen merkitys tuli jo äidinmaidon mukana ja viimeistään kaikenlaisissa pientilan kotiaskareissa ja välillä kesäaikaan isän apuna puunajossa.

Nuorta ylioppilasta kiinnosti tekniikka ja kun vuonna 1973 puhjennut ensimmäinen energiakriisi vaikutti laajasti Suomeen, niin uravalinta oli selvä: Teknilliseen korkeakouluun ja energia-alalle!

Maalaispoika osasi ajoissa pääsykokeisiin Otaniemeen kaikkina neljänä aamuna Vantaan Kivikosta, jossa kortteerini oli ja tuloskin oli hyvä: pääsin sisään koneosastolle, jolta valmistuin vaiherikkaan kymmenen vuoden energiatekniikka ja voimalaitostekniikka (nykyisin energiatalous) pääammattiaineena. Diplomityöni tein Kone Oy:n nosturitehtaalla aiheesta *"Pintakäsittelyosaston energiataloudellinen saneeraus"*. Projektin osarahoitus tuli Kauppa- ja teollisuusministeriön energia-avustuksena, mutta enpä silloin vielä aavistanut, että energia-avustuksia jakelen vielä itsekin. Katse oli vahvasti suunnattu "kunnon hommiin" ja teollisuuteen, virkamiesura ei kiinnostanut tippaakaan.

Valmistumisen jälkeen olin kahdessa pienhekössä energia- ja ilmastointialan yrityk- sessä, ennen kuin pääsin myynti-insinööriksi Aerator Oy:hyn, silloisen Kymi-Strömbergin ja ruotsalaisen Bacho Ventilationin yhdessä omistamaan yritykseen, myymään ja vas- taamaan teollisuuden IV-projekteista. Nyt urapolkuni näytti lähtevän hyvään nousuun. Toisin kävi: Aerator Oy myytiin samantien vesijohtoliike Huber Oy:lle ja yt:t alkoivat muutaman kuukauden kuluttua. Itsestään selvää oli, että viimeksi taloon tulleet nuoret insinöörit lähtivät etsimään muita hommia ja kokeneet (jo aika vanhat mielestäni silloin) saivat pitää paikkansa. Vuosi oli 1985 ja kun silloisesta lähes ainoasta akateemisen rekry- palvelusta eli Hesarista selailin työpaikka- ilmoituksia, silmiini osui Uudenmaan läänin- hallituksen ympäristötarkastajan tehtävä, jo- hon tarvittiin teollisuuden ja energialaitosten ilmansuojeluilmoitusten käsittelyyn lisää asiantuntijoita.

Minustahan ei pitänyt tulla koskaan virka- miestä, mutta kun kävin haastattelussa maa- herran (**Jakob Söderman**) ja osastopäällikkö **Seppo Vuolannon** (se luontoillan aikaisempi lintumies) vetämän isohkon raadin pakeilla ja paikkaa tarjottiin minulle, niin siitä se pitkä virkamiesurani alkoi. Ensimmäinen jakso oli lyhyt, sillä jo vajaan vuoden kuluttua huo- masin edellä mainitussa avaisissa Kauppa- ja teollisuusministeriön ilmoituksen, jossa haet- tiin erikoistutkijaa sähkötoimistoon. Tuntui enemmän minun alaltani. Niinpä aloitin KTM:n energiaosastolla 1.7.1986 erikois- tutkijana. Ensimmäinen tehtäväni oli saattaa loppuun vuonna 1947 valtion tuella alkanut maaseudun sähköistys. Tätä tehdessäni ja kohteita tarkastaessani (valtionalouden tarkastusvirasto oli tekemänsä valtion tuen käyttöä koskevan tarkastuksensa raportis- sa edellyttänyt, että tarkastuskäyntejä pitää tehdä säännöllisesti) tulivat Pohjois-Karjalan pojalle tutuiksi niin Enontekiön kuin Inarin kurut ja Turun Saariston myrskyisät vedet ja upea luonto aina Utöta myöten, jonne maaseudun sähköistysurakka lopulta päät- tyi 1990-luvun jälkipuoliskolla, osittain EU- rahoituksen turvin.

Voimalaitosten ja sähkönsiirtolaitteis- tojen (valtakunnallisesti merkittävät sähkö- asemat ja siirtolinjat) rakentamisluvut, sähköturvallisuusasiat ja myös energiasäästö (kuka muistaa ”mitä jätät huomiselle” kam- panjan ”maapallo kuumenee” logoineen 1990- luvun alussa ministeri **Ilkka Suomisen** ai- kaan), jossa sain vastuulleni teollisuuden hank- keet, olivat tulleet työtehtäviini. Energia-alan ja teollisuuden ympäristöasioita ”pääsin” tieten- kin heti käsittelemään lääninhallitustautani

takia. Enpä olisi silloin arvannut, kuinka mo- nessa ympäristöministeriön työryhmässä tu- lisin vielä valmistelevaan ympäristönsuojelu- lain uudistuksia elinkeinoelämän toiminta- edellytyksistä huolta kantaen. Ja pian käsittelin myös energiatehokkuushankkeisiin liittyviä energia-avustuksia. Näinä vuosina tulivat maa- seudun sähkölaitosten johtajat, teollisuuden energiapäälliköt ja lukuisat kollegat ministe- riöissä, Tekesissä ja muissa organisaatioissa tärkeiksi yhteistyötahoiksi.

Kun vuonna 1997 solmimme ensimmäiset vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset teollisuuden ja suurempien kuntien kanssa Säätytalon juhlallisissa puitteissa ministerim- me ja elinkeinoelämän ja kuntaliiton isot her- rat sopimusten allekirjoittajina, niin taustalla oli yksi urani parhaita valmisteluprojekteja, erinomainen PPP- (Public-Private Partener- ship) hanke, joka on johtanut edelleenkin hy- vin pelittävään yhteistyöhön, jossa 1993 pe- rustamamme Motivan rooli kehitysprojektien koordinoijana (esim. energiakatselmukset) vuosittain tehtävän raportoinnin pyörittäjänä on keskeinen.

Varsinaisten työtehtävien ohella minus- ta tuli silloisen kollegani, nykyisen ystäväni, **Jaakko Ojalan** ylipuhumana KTM:n akava- laisten luottamusmies. Vaali toki käytiin, mut- ta yllättäen olin ainoa ehdokas! Tätä pestiä jatkui rapiat kymmenen vuotta ja yhtäkään en antaisi pois! Kun vielä pääsin KTM:n man- daatilla TEK:n valtion valiokuntaan, niin olin todellisilla näköalapaikoilla myös työmarkki- noiden ja monien muidenkin aiheiden osal- ta. Työmarkkinavaliokunnat tekevät tiivistä yhteistyötä keskenään ja myös TEK:n halli- tuksen kanssa. Pääsin tähän hyvin mukaan, kun olin **Martti Annanmäen** ja **Matti Rop- posen** jälkeen ainakin kolme kautta valtion valiokunnan puheenjohtaja. Sekin oli mukava homma, minä johdin puhetta ja **Hiltusen Pia** toimistolta teki työt!

Jossakin vaiheessa olin hankkiutunut siihen aikaan hieman epäortodoksimaisesti mukaan naapuriosaston kollegoiden avuksi erilaisissa energiateknologian ventiini liit- tyvissä hankkeissa. Vientimme tueksi pe- rustimme mm. Suomen ja Venäjän välisen Energiaklubin, jossa valtiovallan ja yritysten oli tarkoitus yhdessä edistää energia-alan yhteistyötä Venäjän kanssa. Yritys oli hyvä, mm. erilaisia kaukolämpöprojekteja suunnit- teltiin ja tehtiinkin, mutta suuremmat tulokset jäivät saavuttamatta. Yhtenä syynä oli se, että vastapuolella eli Venäjän hallinnossa vaihtui noina vuosina väki yhtenä, eikä pitkä- jänteistä sitoutumista siltä puolelta syntynyt.

Kansainvälinen urani oli alkanut jo 1990-luvun alussa, kun pääsin mukaan

Ensimmäinen tehtäväni oli saattaa loppuun vuonna 1947 valtion tuella alkanut maaseudun sähköistys.



Suomen energiatiimi EU-puheenjohtajakauden 2019 kokouksessa.

kansainvälisen energia-järjestön IEA:n työryhmiin. Muutama reissu joka vuosi Pariisiin oli bonuksena, ennen kuin ETA-sopimus ja 1995 liittyminen Euroopan Unioniin teki matkustamisesta suoranaisen raskutteen. Direktiivien valmistelu sovitteiluineen Euroopan Parlamentin kanssa oli taas ihan uusi maailma, puheenjohtajakautemme 1999, 2016 ja 2019 huipentumina. Työtä riitti, mutta olihan se mukavaa olla ihan keskiössä Neuvoston energiatyöryhmässä loistavien Brysselissä toimineiden kollegoidemme apuna ja asiantuntijoina.

Työurani loppu on painottunut kansainväliseen yhteistyöhön. Vuonna 2010 alkoi Clean Energy Ministerial (cleanenergyministerial.org) yhteistyö. Pyöritin Suomen osallistumista tähän USAn aluksi vahvasti vetämään, pääasiassa G20-maista ja Pohjoismaista koostuvaan CEM:iin, jossa pyörii noin viisitoista jo kehitetyn teknologian globaaliin levittämiseen pyrkivää hanketta, kuten Smart Grids ja Electric Vehicles, joissa kummassakin Suomi on vahvasti mukana. Vuosittaiset ministerikokoukset, ei vähäisimpänä 2019

Pohjoismaiden ja EU:n komission yhdessä järjestämä CEM9 Malmössä ja Kööpenhaminassa ”over the Bridge” teemalla PM-yhteistyötä korostaen. Silloinen energiaministeri **Kimmo Tiilikainen** muistaa varmasti hyvin nuo päivät. Hän oli mukana mm. käynnistämässä ”naiset ja energia” -hanketta yhdessä Ruotsin ja Kanadan ministereiden kanssa. Pääsin tämän hankkeen tiimoilta ensimmäisen kerran urallani samaan paneeliin edustamaan pohjoismaista näkemystä ja kokemuksia energiakomissaarin kanssa maaliskuussa 2020, koronan takia tosin webinaarissa.

Kiinan energiaministeriön kanssa allekirjoitettiin energia-alan MoU vuonna 2018 Kiinan presidenttinvierailun yhteydessä luotujen suuntaviivojen siivittämänä. Tämä yhteisymmärryspöytäkirja konkretisoitui ministeriöiden edustajien allekirjoittamaksi työohjelmaksi, jossa sovittiin energiapilottien valmistelusta yritysten välisenä yhteistyönä, valtiovalan antaessa taustatukea ja poistaen mahdollisia suomalaisen teknologian käytön esteitä Kiinassa. Nyt ensimmäiset pilotit ovat jo käynnistymässä ja uusi kolmen vuoden työ-

ohjelma on käytännössä valmis. Tässäkin PPP toimii hyvin: yritykset vastaavat yritystason yhteistyöstä ja hankkeisiin osallistumisesta, BusinessFinland koordinoi ja pyörittää yhteistyötä ja TEM hoitaa tarvittavat ministeriötason yhteydet.

Olen siis työskennellyt lähes koko urani KTM/TEM energiaosastolla, reilut 30 vuotta. Hienointa siinä ovat olleet monipuoliset tehtävät, yhteistyösuuntautuneet kollegat ja sidosryhmät ja delegoivat, asiantuntijaansa luottavat päälliköt ministeriön ylintä johtoa myöten. Matka maaseudun sähköistämistehtävistä energiatehokkuussopimuksiin elinkeinoelämän edustajien kanssa, neuvotteluihin Kiinan energiaministerin kanssa ja lukuisiin kansainvälisiin projekteihin ja yhteistyöforumeihin osallistuminen on ollut erittäin antoisaa. Tässä kai toteutui se ”asiantuntijaura”, josta TEK:n valtionvaliokunnassakin usein puhuttiin: Pitäisi olla mahdollista edetä ja saada kunnon palkkaa myös asiantuntijana, kaikki eivät halua päälliköksi ja omien havaintojenkin mukaan monesta hyvästä asiantuntijasta on tullut vähemmän hyvä esimies. ●

ILKKA AALTO

1981 Sähköinsinööriä tilasi 60-vuotisjuhliinsa ”ylevän, sähköaiheisen teoksen”. Näin syntyi **Ilkka Aaltosen** ensimmäinen sävellys ja sanoitus, *SIK-hymni*. Teoksen mieltynyt IVO:n vuorineuvos **Pentti Alajoki** tarjosi miehelle töitä.

1



Palaverissa istuminen ja sää kuitenkaan kauaa jaksanut alkoi kulua yhä enemmän t kvartettipalveluiden parissa sai Kuningasidean: hän alkoi

Vv. 1983-2017 kirjoja on id helmenä Tekniikan Akateen käsittää 300 teekkarilaulun

Kvartetin keikkatulot sijoitettiin 1998 Porkkalaan, jonne nousi kokous- ja majoituskartano *Villa Hummerheim*. 2001-2017 sitä on vuokrattu n. 100 tilaisuuteen vuosittain.

4



5

Demenante-kuoro kävi Ilkan ja pokkaamassa kultaa Italiasta 20

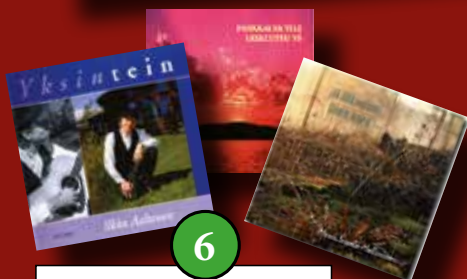


7

Sarjakuvia ja karikatyyreja Ilkka on piirtänyt koko ikänsä. Strippejä on ilmestynyt mm. *Länsiväylässä*, *Kirkkonummen Sanomissa* ja *Ilta-Sanomissa*.

6

Omia CD-levyjä syntyy Kurttilan *kotistudiossa*.



2013 ilmestyi ”pu on kierretty kuin järkäle esittelee r kuvin kirjailijan s

10

Trubaduuri ovat avanneet erikoisia ovia! Mies on mm. viihdyttänyt VIP-vieraita Moskovassa, hämmästyttänyt joulupukkina Japanissa ja laulanut kapinalauluja diktaattori **Lukashenkan** opposition kutsusta Minskissä!



Presidentti **Ahtisaaren** ”jukeboksina” kuunari *Helenalla* 1994.

Uriah Heepin urkuri **Ken Hensley** pyysi nimmaria, kun kuuli haitariversion *July Morningistaan*!



2012 Ilkka osti itselleen osake-enemmistön Villa Hummerheimista.



Ilkan 180 julkaisukelpoisinta hengentuotetta o

TONEN LOI ELÄMÄNSÄ MIELEISEKSEEN!

PAIMIOLAISEN SÄHKÖTEKKARIN USKOMATON TIE HUUMORILAULUJEN AVULLA
MAILMANMATKAAJAKSI, GUINNESS-ENNÄTYSMIEHEKSI JA KARTANONISÄNNÄKSI!

hkölämmityksen kehuminen ei
innostaa luovaa persoonaa. Aikaa
tekkarikuorojen matkaprojektien ja
l. Ekskursioiden rahoittamiseksi Ilkka
oi "räätälöidä" yrityksille **laulukirjoja!**
eoitu jo neljättäsataa – kirkkaimpana
misille urakoitu "pöllökirjasarja", joka
syntyhistoriat nuotteineen.

2

1986 Italian Goriziassa syntyi **Hummeri-
pojat-kvartetti**, joka alkoi viihdyttää maan
talous- ja teollisuuselämää omintakeisin
lauuin. Ilkka hyppäsi insinöörin oravan-
pyörästä kirjoittamaan lauluja ja vetä-
mään yhtyeen perustamia HU-Yhtiöitä
syyskuussa 1989.

3

hdolla
001.

Prinsessa **Viktoria**
ilahtui serenadista –
presidentti **Tarja Halo-
nen** saadessaan kvarte-
tin 20-v. juhliin avecik-
seen "tri **Varajärven**"!

8

Guinnessiin Ennätystenkirjaan maestro
pääsi 2007 soittamalla side silmillä 3333
kappaletta pianolla, haitarilla ja kitaralla!

9

Vv. 2004-2008 Ilkka käsikirjoitti ja ohjasi teatteri
Hyökyvuorelle kolme historiallista **musiikki-
näytelmää** yhdessä **Ilkka Pollarin** kanssa.

11

olielämäkerta" **Muutakin
maailmaa**. 700-sivuinen
unsain valo- ja piirros-
seikkailut 122 maassa!

Lintu- ja kasvibongari
viihtyi erityisesti **Huip-
puvuorilla, Everestillä**
ja **Siperiassa**. Siniseen
vihkoon on maailmalta
kertynyt 530 lintulajia.

12

Fakta ja fiktio menevät iloisesti
sekaisin Porkkalan historioitsi-
jan isännöimissä **Hupailloissa**:
onko venäläiseversti **Gennadi
von Hummerheim** elänyt...?

Kuuluu avausrepliikki "Anteeksi, että ystäväni
on maalta!" on kuultu jo 18 eri kielellä...



NÄKYMÄTTÖMÄSSÄ JA NÄKYVÄSSÄ MAAILMASSA

*Puhdas matematiikka on ymmärryksen
näkemistä maailmankaikkeudessa.
(Novalis)*



Kuten tiedämme, matematiikka on täysin abstrakti tiede ja juuri abstraktisuutensa vuoksi erityisen tehokas tosielämän ongelmien ratkaisemiseen. Urani kietoutui matematiikan ympärille, mutta vei minut myös tosielämän tehtäviin. Joidenkin yhteys matematiikkaan oli lähellä abstraktia.

Opintiellä

Opintieni alku Töölön kansakoulussa 1949 oli sotkuinen. Paidanhihani oli jatkuvasti musteen tahrima. Sitten opettaja huomasi, että kirjoitan vasemmalla ja määräsi vaihtamaan oikeaan käteen. No, sen, minkä siisteys voitti, käsiala hävisi.

Ylioppilaaksi kirjoitin Helsingin Normaalilyseon klassilliselta linjalta 1961 epätavallisessa tutkinnossa. Päivää ennen reaalikoetta tiedotettiin radiossa, että koe on siirretty myöhemmin pidettäväksi. Osa kysymyksistä oli paljastunut. Tutkinnon aikataulusta poikkeaminen on harvinaista. Seuraavan kerran näin tapahtui vasta tänä vuonna, koronatilanteen vuoksi.

Ylioppilaaksi tulo oli valtava elämys. Koulun pakollisuus oli päättynyt ja olin vapaa tekemään, mitä ikinä haluaisin. Mutta mihin suuntautua edessä olevassa moninaisuudessa? Matematiikka oli ollut lempiaineeni. Kuvittelin osaavani sitä, koska olin lukiossa ollut pari kertaa nuorta opettajaamme osaavampi. Niinpä päätin lähteä lukemaan matematiikkaa ajattelematta sen enempää, mihin se minut johdattaisi.

Opiskelua ja uranhakua

Laudatur-ylioppilaana pääsin suoraan Helsingin yliopiston *matemaattis-luonnontieteelliseen osastoon*, vaikka olinkin lukenut vain lyhyen matematiikan. Pakollisen *pro exercitio* -kielikokeen suoritin erikoisluvalla latinassa, sehän oli ollut ensimmäinen vieras kieleni. Latinasta on minulle ollut myöhemminkin paljon iloa.

Yliopistossa kohtasin yllätyksekseni aivan uuden matematiikan maailman. Se ei ollut koulumatematiikan kaavakoneilla varustettu pelihuone, vaan valtava, taivaisiin ulottuva näkymätön katedraali, jota matemaatikot luomistyöllään rakensivat edelleen korkeammalle ja korkeammalle. Tämä sekä luova että ankan looginen rakennustyö kiehtoivat minua vielä paljon koulumatematiikkaa enemmän. Muiksi aineikseni valikoituivat luontevasti fysiikka, teoreettinen fysiikka ja kemia.

Opintoni etenivät sen verran hyvin, että sekä matematiikan laitos että teoreettisen fysiikan laitos pyysivät minua laskuharjoitus-assistentiksi jo ennen valmistumistani. Näin aloin saada tuntumaa opettajan uraan. Samalla vahvistui päätös jatko-opinnoista.



Ylioppilaskeväänä ilman syvällisempää harkintaa tehty uravalinta osoittautui onnistuneeksi. Se vei minut matematiikan näkymättömään maailmaan, jossa viihdyin.

Valmistuin maisteriksi matematiikka pääaineena 1966 ja jatkoin opintojani. Seuraavana vuonna pääsin matematiikan laitoksen assistentiksi ja yliopistouran mahdollisuus alkoi kangastella mielessäni.

Erityisesti minua houkutti akateeminen vapaus. Uskoin, että silloin saisi olla oma heransa ja toteuttaa vapaasti kutsumustaan.

Akateemisen uran ehdottomana edellytyksenä olevan väitöskirjan sain valmiiksi keväällä 1972. Sen aiheena olivat tietyt osittaisdifferentiaaliyhtälöt Riemannin pinoilla. Seuraavana keväänä minut promo-voitiin primustohtorina. Promootiopäivinä me uudet tohtorit opimme mm. sen, että frakissa ja tohtorinhatussa pääsee jonon ohi yökerhoon.

Sotakorkeakoulu

Minua pyydettiin jo lisensiaattina Sotakorkeakouluun matematiikan sivutoimiseksi opettajaksi. Suostuin, olihan kutkuttavaa reservin vänrikkinä käskyttää yliluutnantteja ja kapteeneita. Miellyn upseerien korkeaan opiskelumotivaatioon niin, että jatkoin teh-

tävässä 15 vuotta. Vaikka matematiikka ei ollut keskeinen aihe tuleville eversteille ja kenraaleille, he opiskelivat sitä tosissaan. Kun uuden yleisesikuntaupseerikurssin ensimmäisellä luennolla ilmoitin, että tulen haluamaan listan suoritetuista harjoitustehtävistä, niin kurssinvanhin ryhdistäytyi ja julisti, että he tekevät kaikki antamani tehtävät. Yllätykseni näin todella tapahtui! Yliopistolla en koskaan tavannut tällaista utteruutta edes pääaineopiskelijoilta.

Alma Mater

Yliopistoviran saaminen edellyttää tavallisesti monien vuosien odotusta, että jonkun sopivan viran haltija jäisi eläkkeelle. Minulle tarjoutui oikopolku. Laitokselle perustettiin uusi sovelletun matematiikan apulaisprofessori. Hain sitä ja pääsin heti viran hoitajaksi. Oli uusi elämäys saada vapaasti luennoida, mitä halusi. Virantäyttö oli poikkeuksellisen hidas, mutta päättyi lopulta minulle onnellisesti vuonna 1976.

Apulaisprofessori oli elämäni ensimmäinen vakinainen virka. Olin nyt pysyvästi

yliopistouralla ja olin saanut havitteleman akateemisen vapauden. Se toi mukanaan myös vastuuta, niin kuin kaikki vapaudet.

Osa vastuuta oli osallistua vuorollaan laitoksen ja tiedekunnan hallintoon. Tämä oli erityisen raskasta 1990-luvun laman aikana. Olin silloin matematiikan laitoksen esimiehenä ja jouduin kehittämään kaikenlaisia hätäratkaisuja voidakseni luotsata laitosta mahdollisimman pienin menetyksin eteenpäin. Kävin jopa pääministeri Esko Ahon luona kertomassa yliopistojen ahdingosta, mutta häneltä ei herunut minkäänlaista ymmärrystä.

Suurin vastuu oli kuitenkin vastuu oppiaineeni eli matematiikan ja erityisesti sovelletun matematiikan edistämisestä. Tällä oli opetuksen ja tutkimuksen lisäksi myös muita ulottuvuuksia.

Sovelletun matematiikan opetuksessa oli mielestäni oleellista, että opiskelijoille annetaan normaalikurssien lisäksi tuntumaa todellisten sovelletun matematiikan suorittamisesta. Tästä aatoksesta kehkeytyi lempikurssini: *Johdatus sovellusprojekteihin*. Se oli koko lukuvuoden mittainen *laudatur*-kurssi, jota varten keräilin

joka vuosi yrityksiltä ja tutkimuslaitoksilta sopivia matemaattisluonteisia ongelmia. Niitä sain mm. Ilmatieteen laitokselta, Keskolta, Metsäntutkimuslaitokselta, Nokialta ja Suunnolta. Kurssilla opiskelijat ryhtyivät sitten pienryhmissä ratkaisemaan saatuja ongelmia, asiantuntijan opastuksella. Ongelmat olivat joskus turhan vaikeita, mutta opiskelijat edistivät niissäkin tapauksissa niin paljon, että tehtävänantaja oli tyytyväinen.

Tutkimuksessa siirryin virkani määrittelyä seuraten aiemmasta puhtaasta matematiikasta soveltavampaan matematiikkaan. Aloin tutkia muodon säilyttävää approksimointia. Perustutkimus sujui siinäkin entiseen tapaan kynällä ja paperilla, mutta kun tuloksilleni löytyi käytännön sovellutuksia metsänarvioinnista, tarvitsin tietokonetta.

ATK-ajan alkupuolella, 1970-luvulla tietokoneen käyttö oli hankalaa. Oli itse laadittava tarvittavat ohjelmat ja kirjoitettava ne reikäkortteille, 72 merkkiä per kortti. Korttipino oli vietävä yliopiston laskentakeskukseen, josta tulokset sai vasta seuraavana päivänä. Kerran en varautunut siihen, että iteraationi ei suppenisikaan ja jouduin laskentakeskuksen epäsuosioon ohjelmani varattua koko yön koneajan. Ajan kuluessa ATK:n kehittyminen ja valmisohjelmien lisääntyminen alkoivat helpottaa ja tehostaa laskentaa oleellisesti, nykypäivästä puhumattakaan.

Sovelletun matematiikan professori minusta tuli 1998. Käytännön toimintaani professuuri ei tuonut mainittavaa muutosta. Olin voinut jo apulaisprofessorina opettaa ja tutkia vapaasti. Matematiikan edistämishankkeissa professori tuntui kuitenkin olevan vakuuttavampi kuin apulaisprofessori.

Pro matematica

Teollisen yhteiskunnan menestys on paljolti riippuvainen sen kyvystä käyttää hyväkseen matematiikan valtavaa hyödyllisyyttä. Niinpä matematiikan käytön edistäminen yhteiskunnassa on osa yliopiston kolmatta tehtävää, yhteiskuntavastuuta. Minäkin olin yliopistourani aikana mukana useassa tällaisessa hankkeessa pienemmässä tai suuremmassa roolissa.

Rolf Nevanlinna -instituutti

Merkittävin matematiikan hyötykäyttöön tähtäävä kotimainen hanke, jossa olin osallisena, oli ikään kuin suurennettu versio Matematiikan sovellusprojektit -kurssistani. 1980-luvulla ryhdyttiin suunnittelemaan valtakunnallista instituuttia, joka tekisi sovelletun matematiikan tilaustöitä. Olin mukana arvovaltaisessa

suunnitteluryhmässä, joka laati yksityiskohtaisen esityksen toteutuksesta. Opetusministeriö oli periaatteessa suopea, mutta edellytti, että instituutin virat olisi hankittava yliopistoilta lahjoituksina. Tämä ei kuulostanut rohkaisevalta. Saatuaamme kolmelta yliopistolta lupaukset virkojen siirrosta päätimme kuitenkin toteuttaa hankkeen. *Rolf Nevanlinna -instituutin* juhlalliset avajaiset olivat keväällä 1987.

Instituutista ei tullut toivomaamme menestystä. Yliopistot olivat haluttomia antamaan lupaamia resursseja, joten sinne ei saatu riittävää kriittistä massaa. Se toimi kuitenkin niukkojen resurssiensa puitteissa monta vuotta hyvin. Sitten itsenäiseksi tarkoitettu instituutti liitettiin Helsingin yliopistoon, missä se vähitellen kuihtui pois. Ikävä loppu hyvälle hankkeelle ja surullinen osoitus yliopistojen yhteistyökyvystä.

Paremminkin on menestynyt Saksassa 1986 perustettu kansainvälinen teollisuusmatematiikan säätiö **ECMI** (European Consortium for Mathematics in Industry), jonka toiminnassa olen ollut mukana mm. valtuuston puheenjohtajana. ECMI on kasvanut merkittäväksi teollisuusmatematiikan ja sen käytön edistäjäksi Euroopassa. Konkreettisten sovellustusten työpajojen ja symposiumien lisäksi ECMI on mm. luonut teollisuusmatematiikan koulutusohjelman, jonka voi suorittaa useissa yliopistoissa.

European Mathematical Society

Huomattavin kansainvälinen tehtäväni sai alkunsa, kun aloin Suomen matemaattisen yhdistyksen edustajana osallistua European Mathematical Councilin (EMC) toimintaan. EMC oli perustettu 1978 kaikkien Euroopan matemaattisten yhdistysten epäviralliseksi yhteiselimeksi, epäviralliseksi, koska Itä-Euroopan matemaattiset yhdistykset eivät saaneet liittyä viralliseen yhteistoimintaan.

Kun **Gorbatšovista** tuli 1985 Neuvostoliiton kommunistisen puolueen pääsihteeri, ilmapiiri alkoi muuttua. Niinpä EMC alkoi jo seuraavana vuonna tunnustella toiminnan virallistamista. Vuonna 1988 oli Prahassa EMC:n historiallinen kokous, jossa päätimme yksimielisesti, että aika on kypsä virallisen eurooppalaisen yhteistyöelimen perustamiselle. Tämä tapahtui siis jo ennen Berliinin muurin kaatumista!

Luontevaksi nimeksi valittiin *European Mathematical Society* (EMS). Seuraavaksi oli päätettävä, missä maassa yhdistys rekisteröitäisiin. Aluksi ei edetty, mikään suurista maista ei saanut riittävää kannatusta. Sitten sain ad hoc -elämyksen ja esitin, että Suomi



voisi toimia yhdistyksen kotipaikkana. Tämä hyväksyttiin yksimielisesti. Minut veloitettiin laatimaan seuran säännöt kokouksessa tehtyjen periaatepäätösten pohjalta ja hoitamaan seuran rekisteröinti.

Kotimatalla aloin ihmetellä, mitä Suomessa sanottaisiin omavaltaisesta ehdotuksestani. Onneksi pelkoni olivat turhia, sain vain kiitosta. Sääntöjen muotoilu oli vaivalloista. Piti tyydyttää sekä matemaattiko-yhteisön monisuuntaiset vaatimukset että Suomen yhdistysrekisteri. Kahden vuoden työn jälkeen sääntöjen viides versio tyydytti kaikkia osapuolia. Niinpä European Mathematical Society perustettiin virallisesti syksyllä 1990, kotipaikkanaan Helsinki. Minut valittiin seuran hallitukseen varainhoitajaksi ja kotipaikan asioiden hoitajaksi.

Olin hallituksessa kaikkiaan kahdeksan toimeliasta vuotta. Sinä aikana seura kasvoi hoivassamme vastasyntyneestä terveeksi ja elinkelpoiseksi nuoreksi. Seuran ensimmäinen kansainvälinen kongressi pidettiin jo 1992 Pariisissa. Kotipaikasta johtuen seuran hallitus joutui aina allekirjoittamaan suomenkielisen tilinpäätöksen! Seuran kasvu on jatkunut edelleen ja tämän päivän EMS on vahva ja aktiivinen eurooppalainen vaikuttaja. Kaikkien Euroopan matemaattisten yhdistysten lisäksi siihen kuuluu muita matemaattisia yhteisöjä sekä yli 3000 henkilöjäsentä.

Kun EMS oli päässyt turvallisesti kasvuun, osa perustajista alkoi haaveilla uudesta monitieteisestä yhteisöstä, joka tutkimuksen keinoin edistäisi laaja-alaisesti yhteiskunnan kehitystä ja hyvinvointia. Visiomme konkreettisuutena syntyi 1997 **Euroscience**. Olin sen ensimmäisessä hallituksessa käynnistämässä toimintaa, joka rahavaikeuksista huolimatta lähti hyvin liikkeelle. Meillä on nyt yli 2500 henkilöjäsentä ja 17 yhteisöjäsentä 75 maassa. Yhdistystä on jo kuultu EU:n tiedepolitiikan muotoilussa.

Sine mathematica

Elämäni aikana olen päässyt tai joutunut olemaan mukana monenlaisessa, jossa ei aina ole edellytetty matematiikan taitoja. On niistä silti hyötyäkin ollut. Otan esille muutaman tällaisen sivupolun.

Ylioppilastutkintolautakunta

Ylioppilastutkinto on ollut merkittävä tekijä urallani. Koska olen tästä jo kertonut MAL-lehdessä Jaakko Ojalan haastattelussa (MAL-lehti 2–2020), mainitsen vain muutama asian. Olin lautakunnan toiminnassa eri tehtävissä 40 vuotta. Lautakunnan puheen-

johtajana olin 1998–2006. Tänä aikana toteutettiin kaksi suurta uudistusta: Tutkinnon rakenteen muuttaminen valinnaiseksi sekä reaalikokeen korvaaminen erillisten reaaliaineiden kokeilla. Nimeni on yli 300 000 ylioppilastodistuksessa.

Puheenjohtajana opin nopeasti, että pienikin epätavallisuus tutkinnossa ylittää uutiskynnyksen. Niinpä toimittajien ihmeteleviin kysymyksiin vastaaminen oli osa puheenjohtajan arkipäivää. Samoin oikeus-asiamiehen lausuntopyyntöihin vastaaminen oli toistuva tapahtuma. (Saimme muuten aina puhtaata paperit.)

Ylioppilastutkinto vaati lautakunnalta toimintaa ympäri vuoden. Erityisen hektisiä olivat tutkintopäivät. Silloin lautakunnan puhelimet olivat kuumina koulujen pyytäessä toimintaohjeita monenlaisiin ongelmiin. Mieleeni on jäänyt mm. puhelu, jossa hätäisellä äänellä kysyttiin, mitä tehdä, kun tehtäväkassakaapin avaimet olivat rehtorin taskussa ja rehtori oli Espanjassa. Neuvoimme koulua kiireesti hankkimaan lukkosepän lähimmästä kaupungista ja pitämään kokeilat eristyksissä sen aikaa. Aikanaan kuulumme, että lukko-seppä tuli vahaassa tunnissa ja sai kassakaapin auki viidessätoista minuutissa.

Professoriliitto

Toimin kymmenen vuotta Professoriliitossa useissa tehtävissä, viimeiseksi liiton puheenjohtajana 1993–94. Silloin oli 90-luvun lama pahimmillaan ja toimintamme keskittyi professorien etujen ajamisen sijasta yliopistojen toimintaedellytysten puolustamiseen.

Tässä yhteydessä annoimme yhdessä Assistenttiliiton kanssa julkilausuman, joka ylitti uutiskynnyksen myös ulkomailla. Siinä totesimme yliopistojen rahoitusta leikatun niin paljon, etteivät ne enää selviydy opetus-tehtävästään. Sen tähden yliopistojen ei pitäisi toistaiseksi ottaa lainkaan uusia opiskelijoita! Opetusministeriö antoi minulle kannanotosta nuhteet. Toisaalta ymmärsin, että julkilausumasta oli heille hyötyä neuvotteluissa valtiovarainministeriön kanssa.

European Baccalaureate

Jäin täysinpalvelleena eläkkeelle vuoden 2007 alusta. Samana vuonna minulle tarjottiin European Baccalaureate -tutkinnon tutkintolautakunnan puheenjohtajuutta. Selvisi, että Euroopassa on ensisijaisesti EU-virastojen virkamiesten lapsille tarkoitettuja Eurooppakouluja, joissa lapset voivat suorittaa omalla äidinkielellään sekä peruskoulun että lukion. Yksi kouluista on Helsingissä. Lukio-opetuk-

sen päätteeksi suoritetaan eurooppalainen ylioppilastutkinto, European Baccalaureate. Siinä on viisi kirjallista koetta, joista kaksi vapaavalintaista sekä neljä vaihtoehdotonta suullista koetta. Tutkinnon suorittaa vuosittain noin 1500 kokeilasta. Useissa maissa, mm. Suomessa se rinnastetaan kansalliseen ylioppilastutkintoon.

Otin tarjouksen vastaan. Se oli hyvin mielenkiintoinen tehtävä, jossa joutui matkustamaan paljon. Tyydyn tässä vain pariin havaintoon. Tutkinnon koetehtävät laadittiin opettajien ehdotusten pohjalta. Todistuksen arvosanat riippuivat kokeen lisäksi myös kouluarvosanoista. Matematiikassa oli myös suullinen koe. Kirjallisessa kokeessa tehtävät olivat hyvin mekaanisia ja tehtävänannot sisälsivät suoritusohjeita.

Koin myös epätavallisen tilanteen. Erään kreikkalaisen EU-virkamiehen poika hylättiin tutkinnossa. Sen jälkeen minuun otti yhteyttä virkamiehen suomalainen kollega, joka kysyi, voisinko mitenkään harkita hylkäämistuomiota uudelleen. En voinut, mutta jäin ihmettelemään, onko tällainen kreikkalainen toimintatapa yleistäkin EU:ssa.

Summa Summarum

Ylioppilaskeväänän ilman syvällisempää harkintaa tehty uravalinta osoittautui onnistuneeksi. Se vei minut matematiikan näkymättömään maailmaan, jossa viihdyin. Siellä matkatessani olen nauttinut matematiikan abstraktin katedraalin ainutlaatuisesta kauneudesta sekä ollut mukana sen rakennustöissä. Olen myös oppinut ymmärtämään näkymättömän matematiikan tärkeyden näkyvälle maailmalle ja yrittänyt levittää tätä ymmärrystä laajemmalle. Toisinaan olen poikennut matematiikan maailmasta sivupoluille ja löytänyt sieltäkin paljon kiinnostavaa. Matkastani olen nauttinut niin paljon, että voin vilpittömästi suositella tällaiselle tielle lähtemistä muillekin. •



Merja Korpela

IBM:STÄ INTIAAN

"Iso sininen" eli IBM S/360 ja reikäkorttikone IBM 2560. Kuva: Ben Franske - DM IBM S360.

**Harakka istui seipään päässä,
luki yhtä, luki toista,
luki viimein viittätoista:
Yksi, kaksi, kolme, ... viisitoista.**

Tämä oli yksi niistä loruista, joilla lapsuuden hippaleikeissä saatiin selville hippa eli muita leikkijöitä kiinni yrittävä henkilö tai piiloleikeissä muita leikkijöitä piiloistansa etsivä. Ei ollut montaakaan vuotta ikää vielä karttunut, kun edellä oleva loru tuli tutuksi. Samalla tuli opituksi sujuvasti numerot. Näin leikkiessäkin tuli selväksi, kuinka paljon numeroista on hyötyä. Numerot kiinnostivat jo lapsena. Kansakoulussa (1950- ja 1960-luvuilla käytiin kansakoulua) innostus niistä vielä lisääntyi. Kertotaulutkin olivat suorastaan hauskoja.

Ehkä jo silloin pienenä lapsena tuli selväksi, että hakeudun alalle, missä tarvitaan numeromaista ajattelua. Tosin olin kyllä kiinnostunut niin monesta muustakin asiasta, erityisesti äidinkieli oli ehdottoman tärkeä aine.

Päästyäni ylioppilaaksi hain ihan sattumalta töihin ATK-alan palveluyritykseen. Silloin puhuttiin ATK:sta eli automaattisesta tietojenkäsittelystä, nykyisinhän puhutaan

IT:stä tai ICT:stä. Tämä yritys teki ohjelmia vakuutusyhtiöille. Ohjelmien koodaaminen oli silloin varmasti erilaista kuin nykyisin. Ohjelmointikielenä oli assembler eli tosi peruskieli. Mitä elämyksiä saikaan, kun koodattu ohjelma ei toiminut ja sitten sen virheen löysi! Apuna oli tietysti iso pinkka paperia eli muistivedos, sivukaupalla ykkösiä ja nollia. Tätä ykkösten ja nollien rivejä lukiessa oli apuna myös "haitari", mistä löysi ykkösten ja nollien mukaisesti oikeat käskyt ja lopulta virhekohdan.

Assembler oli kieli minun mieleeni, tarkkaa ja selkeää. Parin vuoden jälkeen tässä yrityksessä otettiin käyttöön ns. lausekieli PL/I, Program Language I. Se olikin helppoa, koska koodatessa saattoi käyttää ihan oikeita sanoja, tosin tietysti englanniksi kuten move ja copy. 1970-luvun alussa tulivat ensimmäiset näyttöpäätteet, ihan uutta koko Suomessa, ehkäpä koko maailmassa. Niinpä aloitettiin tietysti ohjelmien tekeminen näyttöpäätteelle.



Intiassa vapaaehtoistyössä opetin nuorille naisille tietokoneen, lähinnä työasemaohjelmistojen, käyttöä.

Olinpa minä onnekas! Sain olla mukana koodaamassa ensimmäisiä ns. tosiaikaohjelmia.

Olin todella innostunut tietokonealasta. Koko ajan tuli uutta. Monesti olen vuosien mittaan miettinyt, että vaikka tuntuukin suorastaan naiivilta sanoa, että joka päivä on mahdollisuus oppia uutta, niin sitä elämä ja työ olivat, ja on edelleenkin, totta ja innostavaa. Koko ajan kävin erilaisia kursseja uutta oppimassa. Myös työtoverit olivat saman innostuksen vallassa, olihan kaikki, koko ala vasta kehittymässä.

Olin päässyt opiskelemaan Helsingin yliopistoon matematiikkaa. Muutaman vuoden yritin työn ohella opiskella, mutta se oli kuitenkin aika raskasta eikä vapaa-aikaa käytännössä ollut. Opintosuorituksia en oikein saanut aikaiseksi. Vaikka työ olikin innostavaa ja palkitsevaa, tein ratkaisun, jota en ole päivääkään katunut: sanouduin irti työstä ja aloitin kokopäiväisen opiskelun. Se oli ehdottoman hyvä ja oikea ratkaisu. Olin

todella motivoitunut opiskelusta. Vaihdoin parin vuoden kuluttua pääaineekseni tietojenkäsittelyopin, nykyään tietojenkäsittelytiede. Aineen opiskelu olikin helppoa, olinhan ollut päätoimisesti työssä tietojenkäsittelyn kanssa jo useamman vuoden.

Viisi vuotta opiskelin ja sain loppu-tutkinnon suoritetuksi. Yliopisto-opiskelu sopi minulle todella hyvin, itse päätin, mitä kursseja halusin suorittaa ja missä järjestyksessä. Tietysti aika moni kurssi oli suoritettava, koska ne sisältyivät arvosanavaatimuksiin. Opiskelun ohella oli myös vapaa-aikaa, mahdollisuus harrastaa opiskelijaelämää ja seurustella opiskelukavereitten kanssa. Tämä tuntui ja tuntuu edelleen tärkeältä. Ovathan muut ihmiset ja ystävät elinehto ihmisen elämässä kuten myös erilaiset tapahtumat, kirjat, liikunta ja moni muu asia.

Tutkinnon suorittamisen jälkeen olen ollut työssä muutamassa eri yrityksessä. Lähinnä olen ollut työssä IT-alan palveluyrityksissä

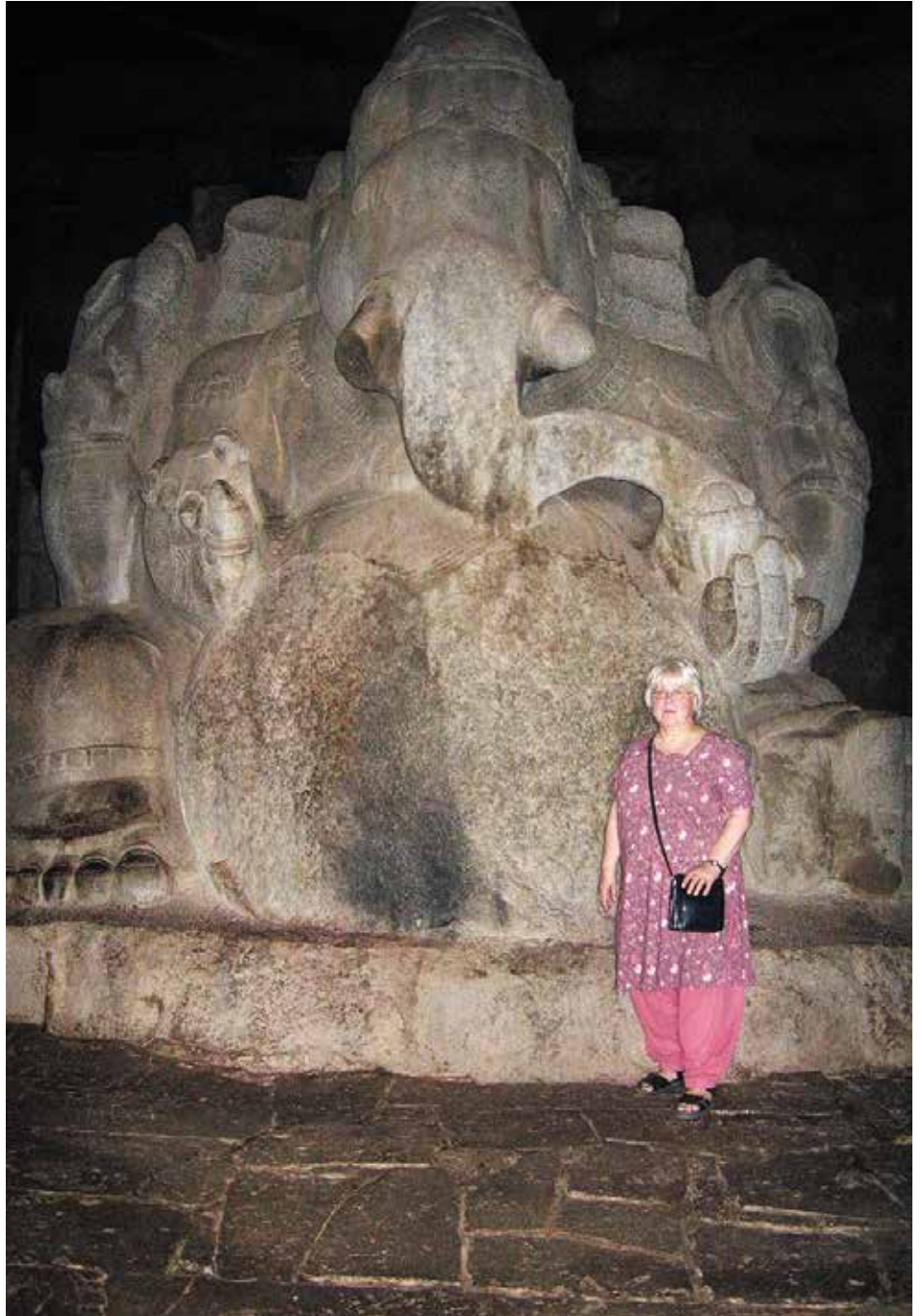
suunnittelijana ja projektipäällikkönä. Jossakin vaiheessa siirryin asiakkaille tehtävien sovellusten projektipäällikön tehtävistä yrityksen sisäisten palveluiden kehittäjäksi ja vastaajaksi, tietohallinnon ohjelmistojen asiantuntijaksi ja tuotepäälliköksi. Innostavaa! Muistan vieläkin sen, miten yleensä yrityksissä oli työntekijöiden kesken hyvä henki. Kaikki olivat myös kavereita keskenään, työssä tehtiin parasta ja kannustettiin muita. Tietohallinnon ohjelmistojen vastuutehtävissä olevat henkilöt eri puolelta Suomea kokoontuivat säännöllisesti ja organisoidusti muutaman kerran vuodessa. Samanlaisia kokoontumisia ja konferensseja järjestettiin myös kaikkien Pohjoismaiden kesken. Nämä olivat erinomaisia tilaisuuksia sekä jakaa omia kokemuksia että saada hyvää tietoa ja ideoita muiden kokemuksista.

Olin taas onnekas, kun työnantajani päätti ottaa käyttöön relaatiotietokannat. Se oli uutta koko maailmassa, IBM oli kehittänyt uudenlaisen tietokannan DB2:n, DataBase2. Relaatiotietokantasysteemi oli asennettu jo muutamassa yrityksessä Suomessa. Meitä oli eri yrityksistä noin viiden henkilön ryhmä, joka kokoontui melko säännöllisesti vaihtamaan kokemuksia. Ryhmässä oli mukana myös IBM:n asiantuntija. Näin ryhmämme kokemukset menivät suoraan IBM:lle DB2-relaatiotietokantajärjestelmän kehittäjien tiedoksi.

Relaatiotietokantojen alkuaikoina, 1980-luvun loppupuolella, kokosimme eri yrityksistä ryhmän ja kirjoitimme kaksi kirjaa, jotka ATK-Kustannus painoi ja julkaisi: *Kokemuksia relaatiotietokannoista ja STST-malli*. STST-malli on tehty relaatiotietokantasovellusten toteuttamiseen ideana suunnittele-toteuta-suunnittele-toteuta. Malli oli kuulemani mukaan käytössä ympäri maailmaa. Kumpikin kirja julkistettiin erityisissä julkistusseminaareissa.

Seminaarit ja konferenssit sekä kotimaassa että ulkomailla jatkuivat. Oli todella kiva tavata innostuneita ja asiantuntevia henkilöitä. Kahden-kolmen päivän aikana osallistujat kuulivat aina useita kiinnostavia luentoja.

Yrityskaupan mukana siirryin isompaan IT-alan palveluyritykseen. Siellä tehtävät jonkin verran muuttuivat, mutta osittain pysyivät entisinä. Projektipäällikkyyttä lisäantyi. Muutaman vuoden kuluttua siirryin tietohallintopäällikön tehtävään. Tehtäväalue muuttui, ja vastuulleni tuli organisoida ja hankkia noin tuhannen henkilön liiketoimintaryhmälle sisäiset työasemapalvelut eli tietoverkot, tietoturva, työasemaohjelmistot.



Kirjoittaja Intiassa.

Varsinaisesta palkkatyöstä olin pois pari vuotta. Tänä aikana olin Bangaloressa, Intiasa muutaman kuukauden vapaaehtoistyössä opettamassa nuorille naisille tietokoneen, lähinnä työasemaohjelmistojen, käyttöä. Koulu oli slummissa, joka oli kaikesta puutteellisuudesta huolimatta erittäin viihtyisää ja siistiä aluetta. Oppilaat olivat innostuneita mahdollisuudestaan opiskella. Englantihan on Intian yksi virallinen kieli, joten opetus oli helppoa. Näille nuorille naisille opetettiin tietokoneen käytön lisäksi englantia (englantia äidinkielenään puhuvat opettajat), talouden hoitoa, terveydenhoitoa ja muutakin, mitä en muista. Samassa koulussa oli aamupäivisin 50–60 lasta, 4–5 -vuotiaita. Nämä kuukaudet Intiassa olivat todella antoisia, olihan minulla jo teininä ollut haave lähteä ns. kolmansiin maihin töihin. Nyt sen haaveen pääsin toteuttamaan.

Intiasta palattuani olin muutaman vuoden projektipäällikkönä IT-sovelluksia toteuttamassa. Sitten jäinkin jo eläkkeelle, pari vuotta ennen varsinaista eläkeikää.

Liityin 1990-luvun alussa TEKiin, silloin STS/KAL. Tämä tuntui oikealta ammattijärjestöltä minulle. Näin se on ollutkin. Olen vuosien mittaan osallistunut monenlaisille kursseille ja matkoille. Yksi monivuotinen haaveeni toteutui, kun kävimme tutustumassa CERNin hiukkaskiihdyttimeen Genevessä Sveitsissä. Ajattelin, että koska en ole fyysikko minulla ei ole mahdollisuutta päästä sinne. Tutustumismatka kuitenkin onnistui, kun SMFL järjesti yhdessä lukioden rehtoreiden kanssa matkan. Matkaohjelmaan kuuluivat esitykset ja tutustuminen sekä Geneven toimintoihin että kiertoaajelu hiukkaskiihdyttimen radan eri pisteisiin. Radan pituus on 28 kilometriä ja siinä on useita kiihdytinlaitteita. Pian TEKiin liittymisen jälkeen liityin myös

sen alajärjestöön MAL, silloin SMFL. Jossakin vaiheessa tulin valituksi myös MALin hallitukseen. Innostavaa!

Lähes koko IT-urani aikana olen ollut aktiivinen myös Tietotekniikan Liitossa, nykyisin TIVIA ja sen alajärjestössä Hetkyssä, nykyisin TIVIA Uusimaa. Olin Hetkyn hallituksessa, kun Systeemyöyhdistys Sytyke päätettiin erottaa itsenäiseksi yhdistykseksi. Ratkaisu olikin erinomainen: Sytyke on erittäin aktiivinen toimija, keskittynyt ja kehittynyt omalla alallaan.

Kaiken kiinnostavan työn ohella ihmisen elämään kuuluu myös vapaa-aikaa. Ulkoilukunta on ollut minulle ehdottoman tärkeää. Retkeily ja vaellukset hiihtäen, kävellen, pyöräillen ja jopa soutaen ovat olleet antoisia. Suoritin myös mm. eräoppaan tutkinnon ja olen vetänyt monen monet retket. Vaellukset kesäisin ja talvisin Lapissa olivat sekä fyysisesti että henkisesti virkistäviä. Toinen toistaan upeammat revontulet ovat olleet mieleenpainuvia. Olin kymmenkunta vuotta ison liikuntajärjestön puheenjohtajana. Se oli mukavaa vastapainoa työlle. Yhdistyksen jäseniä yhdisti liikunta. Erityisen mieluista oli olla vetämässä lasten hiihtokouluja; Helsingissäkin oli joskus lunta.

Omaa työuraani ajatellessa olen tyytyväinen. Olen voinut tehdä monenlaisia IT-alan töitä, kehittänyt erilaisia järjestelmiä, ollut mukana IT-alan kehityksessä jo ennen tosiaikaohjelmia, kouluttanut sekä kotimaassa että ulkomailla IT-asioita. Nyt vain nautin muiden tekemistä palveluista. Tunustan kuitenkin: Ensimmäisen älypuhelimien hankin tämän vuoden (2020) alkupuolella! Vielä en sen kaikkia ominaisuuksia ole hyödyntänyt, mutta ehkä jossakin vaiheessa. Oma kannettava tietokone minulla on kyllä koko ajan ollut, se on tärkeä ja hyödyllinen väline. ●



Kirsti Loukola-Ruskeeniemi



PUURTAMISTA YLI VOIMIEN, SITKEYTTÄ, INNOSTUSTA JA YSTÄVIEN TUKI – JA LASIKATTO MURTUI

Grönlannissa geologia on hyvin näkyvissä. Kuvassa vasemmalla seisoo vanhin poikamme Janne Ruskeeniemi, tietotekniikan ammattilainen.

Porthanian luentosalit olivat täynnä opiskelijoita ja lehtorit piirsivät kaavoja liitutauluun, kun aloitin matematiikan pääaineopinnot Helsingin yliopistossa syksyllä 1976. Tietojenkäsittelyn kursseilla toteutimme Fortran-koodia reikäkortille. Pidín ohjelmoinnista ja suunnittelin jopa vakuutusmatematiikan uraa, mutta lopulta toinen sivuaineeni geologia vei mennessään.

Mineraaleja oli mukava pyöritellä käsissä vanhalla Geologian laitoksella Suurkirkon vieressä ja vapaa-aika kului Ylioppilaskunnan Soittajissa. Kesällä pääsin geologisiin kenttätöihin ja sain työkseni kulkea metsissä, mikä oli luontoihmiselle hieno juttu.

Valmistuin geologiksi, mutta päätin, ettei kaksoistutkinto olisi pahitteeksi. Minut hyväksyttiin Otaniemen Teknilliseen Korkeakouluun opiskelemaan Tietotekniikkaa. Diplomityöksi suunniteltiin tekoälyn soveltamista malminetsintään, mutta se jäi, koska sain Suomen Akatemiasta rahoituksen malmigeologian väitöstudiumukseen. Pääsin mukaan UNESCO:n projekteihin, joissa kuljimme eri puolilla maailmaa tutustumassa mustaliuskekaivoksiin. Pääsin näkemään syrjäseutujen luontoa ekskursioilla Japanissa, Kanadassa, USA:ssa, Neuvostoliitossa/Venäjällä ja monissa Euroopan maissa. Vuotta ennen Tiananmen-aukion verilöylyä eli vuonna 1988

kävimme Kiinassa. Kun pikkubussimme ajoi kohti mangaanikaivosta poliisisaattueessa, kyläläiset kokoontuivat tien varteen ja tuijottivat meitä. Länsimaiset ihmiset olivat siihen aikaan harvinaisia Kiinassa.

Väittelin 1992 Talvivaara-tyyppisistä mustaliuskekalmeista. Malmigeologian lisäksi selvitin malmin luontaisia ympäristövaikutuksia. Talvivaaran kaivoksen ympäristöriskit olivat selvillä jo ennen kaivoksen perustamista ja tiedot olivat kaivosyhtiön käytössä.

Aloitin vuonna 2003 professorina Teknillisessä Korkeakoulussa, jossa oli isot myllerrykset. Koulutusohjelmat uusittiin ja teknillinen geologia ja sovellettu geofysiikka siirrettiin Materiaali- ja kalliotekniikan osastosta Rakennus- ja ympäristötekniikan osastoon. Olin Suomen Akatemian luonnontieteen ja tekniikan toimikunnan jäsen.

Vuonna 2008 siirryin toimialapäälliköksi Geologian tutkimuskeskukseen. Oli paljon alaisia ja ulkomaan ja kotimaan projekteja.

Vuonna 2012 siirryin toimialajohtajaksi työ- ja elinkeinoministeriöön. Päätyökseni hoidin mm. metallinjalostuksen asioita. Kun Talvivaaran kaivoksen kipsisakka-altaat vuotivat syksyllä 2012, valtioneuvosto perusti salaisen Talvivaara-kriisiryhmän, jonka pääsihteeriksi minut nimettiin. Ministeriöuran huippukohta oli terästeollisuuden Global Forum. Kiinan tuotanto oli lisääntynyt ja aiheutti globaalin ylikapasiteetin. Johdin Suomen delegaatiota, kun ministeri Rehn oli estynyt. Lounaalla istuin Kiinan edustajaa vastapäätä ja USA:n edustaja istui vieressäni. He tappelivat kovaan ääneen koko lounaan ajan kauppapolitiikasta niin ettei siinä päässä pöytää saanut kukaan muu sanan sijaa. Kauppakiistat syvenivät pian sen jälkeen.

Vuonna 2017 palasin Geologian tutkimuskeskukseen tutkimus- ja projektityöhön, mutta taas tänä syksynä olen tehnyt päätömisesti töitä ministeriön hankkeessa. Valmistelimme Suomen kansallista akkustrategiaa.

Lasikatto murtuu

Geologian opiskelijoista puolet oli tyttöjä ja puolet poikia, joten meillä oli keskenään tasa-arvoista ja kesätöitäkin sai hyvin, mutta tilanne muuttui valmistumisen jälkeen. Geologian tutkimuskeskuksessa naistutkijoiden määrä oli 20%. Tutkimusten mukaan syrjintä ja ennakkoluulot vähenevät vasta, jos osuus ylittää 40%.

Muutaman kerran jouduin tekemään epäinhimillisiä työurakoita. Esimerkiksi esikoiseni synnyttyä Geologian tutkimuskeskuksesta ilmoitettiin, että minun pitää luovuttaa välittömästi keskeneräisen pro gradu -työni aineistot, koska he piirtävät niiden perusteella geologisen kartan. Halusin tehdä pro gradu -työni, johon olin panostanut kaksi kenttä-kesää Perhossa, joten piirsin gradualueeni kallioperäkarttaa yötä päivää nukkumatta. Välillä hoidin vastasyntyntä ja jatkoin taas kartan piirtämistä. Sain kartan valmiiksi kolmessa vuorokaudessa ja vähitellen kirjoitin gradunkin.

Mietin muutaman kerran alan vaihtoa, mutta tutkimustyö innosti ja hyvät työkaverit pitivät minua geologian parissa. Jollei etelä-pohjalainen osastonjohtaja **Jouko Talvitie** olisi lähtenyt voimallisesti tukemaan ja järjestänyt rahoituksen väitöstutkimukseen, olisin todennäköisesti siirtynyt Nokialle. Minua pyydettiin nimittäin töihin myös sinne. Olin tietotekniikan tekkari ja lisäksi minulla oli FK-tutkinto, ja Nokialla oli siihen aikaan pulaa työvoimasta.

Nuorimmaiseni oli kaksivuotias, kun pääjohtaja määräsi minut vetämään EU:n

TACIS-ohjelman projektin Kuolan niemi-maalla. Yritin kieltäytyä, koska minulla oli kaikki ylityökapasiteetti jo käytössä. Omien projektien ohella olin osaston toinen vara-johtaja.

Vedin projektin ja EU-raportin loppuun, mistä kiitokseksi sain esimieheltä kuulla olevani epäonnistunut työtehtävissäni, koska minun olisi kaiken tämän lisäksi pitänyt tehdä monta EU-hakemusta ja hakea lisää rahaa, ilman avustajia tai kollegoiden apua.

Kun minut valittiin professoriksi Teknilliseen Korkeakouluun, olin Suomen ensimmäinen naispuolinen professori geolalla. Minut oli kahdessa professorihaussa todettu päteväksi. Kansainvälisten arvioijien lausunto oli oleellinen. Vaikka suomalainen arvioija soitti kansainvälisille arvioijille ja yritti vääntää sovittua mieshokastaan ensimmäiseksi, kansainväliset professorit eivät taipuneet, vaan tekivät oman esityksensä hakijoiden julkaisutoiminnan perusteella. Tämäkään ei olisi riittänyt, vaan mieshakija olisi valittu, ellei Teknillisen Korkeakoulun osastonjohtaja olisi lähtenyt puoltamaan. Kuitenkin professoritasoisia naisgeologeja oli Suomessa jo sotien jälkeen, CV:ltään parempia kuin kilpailevat miehet.

Olin Suomen Geologisen Seuran ensimmäinen naispuolinen puheenjohtaja seuran 120-vuotisessa historiassa. Kauteni jälkeen naispuolisia puheenjohtajia on ollut monta.

Nyt näyttää siltä, ettei geolalla enää ole sellaista kovaa lasikattoa, jota vasten minua puserrettiin. Ehkä tämä kaikki on lopulta kannattanut, mutta ilman mieheni, perheeni, ystäväni ja työkavereitten tukea olisi ollut rankkaa.

'Keep your head down and keep on going'

on ollut tärkein strategiani työelämässä. Keskittyminen tuloksen tekemiseen on tuottanut tulosta, mutta ehkä muutaman kerran olisi kannattanut lähteä vastahyökkäykseen tai ainakin pitää puoliaan aktiivisemmin.

Muutamat pitkään valmistellut hankkeet ja kovaa ponnistelua vaatineet urakat eivät lopulta onnistuneet. Milloin kannattaa luovuttaa ja milloin kannattaa panostaa edelleen? Olen yleensä neljän-viiden vuoden yrittämisen jälkeen istunut alas, tehnyt tilinpäätöksen ja tarvittaessa vaihtanut työpaikkaa.

Geokonsortio hyyyti kalkkiviivoilla

Kuvaan yhden hallinnollisen hankkeen hiukan tarkemmin, koska minusta se oli mielenkiintoinen yritys, vaikkei lopulta onnistunutkaan täysimääräisesti. Vedin nimittäin professori



Markku Peltoniemen kanssa puolitoista vuotta opetusministeriön kehityshanketta. Yliopistoihin oli tulossa kiristyksiä ja opetusministeriössä arveltiin, että pieniä tieteenaloja tullaan supistamaan isoja enemmän yliopistojen itsenäisessä hallinnossa. Geoala valittiin testialaksi. Tavoite oli luoda koko maan kattava geologian ja geofysiikan opetus- ja tutkimuskeskittymä, johon kuuluvat eri yliopistoissa toimivat yksiköt. Tiiviisti mukana olisi työ- ja elinkeinoministeriön alainen Geologian tutkimuskeskus. Geokonsortiolta olisi yhteinen opiskelijoiden sisäänotto, yhteiset kenttäkurssit, yhteiset laboratoriot ja sama opetus alempaan korkeakoulututkintoon asti. Yksiköt erikoistuisivat geotieteiden eri osa-alueisiin. Opiskelijat vaihtaisivat alemman tutkinnon jälkeen siihen yksikköön, jonka erikoisalasta he haluavat tehdä pro gradun tai diplomityön. Professorit olisivat välillä virkakierrossa Geologian tutkimus-

keskuksessa ja voisivat siellä keskittyä tutkimukseen ja jatko-opiskelijoiden ohjaukseen.

Täysin yhteiseen hallinnolliseen yksikköön professorit eivät taipuneet, mutta Geokonsortio siitä piti tulla, kunnes papereiden allekirjoitusvaiheessa Helsingin yliopisto teki geolalle karhunpalveluksen ja vetäytyi. Opetusministeriöstä sanottiin, että HY jätetään pois ja muut perustavat Geokonsortion, mutta Geologian tutkimuskeskuksen edustaja sanoi, että jos HY ei lähde, GTK ei myöskään lähde. Se vei pohjan pois Geokonsortiolta ja saimme aikaan vain löyhän Geonet-verkoston. Opetusministeriön antamat laboratoriorahat oli käytetty nimenomaan HY:tä hyödyttävään isoon laitehankintaan, minkä vuoksi päätös oli yllätys. Ehkä aika ei ollut kypsä Geokonsortion tapaiseen valtakunnalliseen yliopistoyksikköön, mutta hankkeen epäonnistumisesta oli se seuraus, että geologian ja geofysiikan yliopistoyksiköt on tämän

jälkeen yhdistetty isoihin tieteenaloihin joka yliopistossa ja kamppailu elintilasta on vaikeutunut.

Toimintakulttuurit ovat sitkeässä

Ministeriössä, tutkimuskeskuksessa ja Teknillisessä Korkeakoulussa oli erilainen toimintakulttuuri. Geologian tutkimuskeskus oli pitkään kuin suomalainen maalaishäyry 1930-luvulla, hyvine ja huonoine puolineen.

Teknillinen Korkeakoulu oli hyvin hierarkkinen. Voi olla, että se on sittemmin muuttanut. Pikkujoulussa professoreilla oli oma pitkä pöytä ja muut työntekijät istuivat pikkupöydissä. Geologian ja geofysiikan yksikkö oli jatkuvien supistusuhkien ja hyökkäysten kohteena. Oli kuitenkin paljon mukavaa, opiskelijat, henkilökunta ja monet kollegaprofessorit. Yritimme luoda TKK:lle Earth System Science -tyyppistä koulutusrakennetta, mutta ei se lopulta onnistunut.

Ministeriöissä poliitikot tuovat omat jännitteensä ja ministerin käyttäytyminen ja persoona vaikuttaa työilmapiiriin. Minusta tuntui, että työ- ja elinkeinoministeriön käytävillä leijui vielä **Bror Wahlroosin** henki. Hän oli vuosikymmeniä Kauppa- ja teollisuusministeriön kansliapäällikkö ja hänellä oli todellista valtaa lukuisten valtionyhtiöiden kautta. Kun teimme muuttosiivousta, kaappien kätöistä löytyi vanhoja papereita. Kansliapäällikön allekirjoittamassa ukaasissa luki, että hän oli tarkkaillut työntekijöiden saapumista työpaikalle, ja muutama tuli myöhässä. Wahlroos uhkasi kirjeessään, että jos porukka ei tule ajoissa töihin, hän laittaa heidät kellokortille.

Tieteelliset ja yleistajuiset julkaisut

Hallinnollisten töiden ohessa olen tehnyt tutkimustyötä ja kirjoittanut. Minulla on ollut monia poikkitieteellisiä hankkeita. Yhteisjulkaisuja on seitsemänkymmenen eri tutkijan kanssa, koska olen aktiivisesti pyrkinyt yhteistyöhön eri alojen osaajien kanssa. Useimmiten avoimuus myös julkaisemattomien aineistojen ja ideoiden osalta on todella kannattanut, vain muutaman kerran olen saanut pahasti takkiini. Mielestäni hyvän tutkimusporukan innostuksessa on sama flow kuin jousikvartetissa parhaimmillaan.

Ministeriössä aloin harrastaa luovaa kirjoittamista, koska se vei ajatukset työongelmista. Viime vuosina olen julkaissut kaksi

historiallista romaania, *Kiljukotkan* ja *Buهران satakielen*, jotka sijoittuvat isonvihan aikaan 1700-luvun alkuun. Tallensin romaaneihin lapsuuteni Etelä-Pohjanmaan arvoja ja asenteita, jotka ovat kulkeneet sukupolvien ketjussa hyvin kaukaa. *”Laiska töitään lukee.”* Jos ehtii muille tarkasti luettelemaan, mitä kaikkea on tehnyt, on saanut liian vähän aikaan. *”Puhumisen hopeaa, mutta vaikeneminen kultaa.”* Pitää keskittyä työn tekoon eikä siitä puhumiseen. *”Työllä on pakko, vaan ruualla ei ole pakko.”* Ruuan kanssa ei nirsoilla, mutta töitä pitää tehdä.

Romaanien loppusivuilla on tietokirjaosuus lähdeviitteineen ja myös fiktiivinen osuus on tupattu täyteen oikeita historiallisia tietoja helposti omaksuttavassa muodossa. Halusin kokeilla tällaista uudentyypistä romaanimuotoa, koska minua kiinnostaa yleistajuinen tiedonvälitys.

Det går som det går, mutta olettakaamme, että kaikki käy hyvin

Työt jatkuvat vielä muutaman vuoden. Sen jälkeen olen suunnitellut lopettavani eteläpohjalaisen suorittamisen ja suoda itselleni vapaata. Paitsi tietysti, jos satun taas innostumaan jostain niin että paiskin töitä onnessani yötä päivää. Työuralla on ollut kiinnostavia tehtäviä, olen oppinut paljon ja mikä parasta, olen saanut hyviä ystäviä joka työpaikasta. Tässä muistelossa nousevat esiin enemmän haasteet kuin onnistumiset, vaikeudet enemmän kuin ilo, mutta onnistumisen kokemuksia ja hauskaa työntekoa yhdessä mukavien työ-kavereitten kanssa on ollut paljon enemmän kuin haasteita.

Urallani olen monesti ollut tekemisissä matematiikan, tietojenkäsittelyn ja fysiikan kanssa. Suomen Akatemian toimikunnassa ollessani geotieteet olivat samassa valmisteluryhmässä kuin tietojenkäsittely. Yhteistyö tietojenkäsittelyn professorin **Kaisa Seren** kanssa oli saumatonta molempien tieteenalojen ja Suomen tieteen eduksi. Fysiikan hakemuksiin tutustuin akatemiaprofessuurien hakupapereita lukiessani ja ihmettelin, miten kova taso fysiikassa on. Olin yhden fysiikan alan huippuyksikön ohjausryhmässä, jossa suomalaisten tasoa ihmettelivät myös ohjausryhmän kansainväliset edustajat. Itse asiassa he olivat vihreitä kateudesta. ●

Lisätietoja kirjoista: www.isoviha.fi

VÄESTÖNSUOJELUA SUOMESSA JA ULKOMAILLA



Skotlannin varautumisjärjestelmiin tutustumassa 2011. Kirjoittaja toinen vasemmalta.



Uran huipulla pelastusylijohtajana 2018.

Lapsuus

Olen kotoisin Perhosta Keski-Pohjanmaalta. Vanhempani olivat älykkäitä ja yritteliäitä. He asuivat pienen tovin 1950-luvun lopulla Keski-Ruotsissa ja muuttivat takaisin Suomeen juuri ennen syntymääni, joten käytän usein itsestäni sanontaa *made in Sweden men född i Finland*.

Yrittäjäperheessä meillä riitti omasta takaa kaikenlaisia hommia. Meillä oli pieni maatila, ravihevosiä ja kettutarha. Isä oli mm. sähköasentaja, palopäälikkö, rakennus- ja koneyrityksen johtaja ym. Maatilalla ja kettutarhassa oli monenlaisia tehtäviä. Kylvö- ja heinätyöt sekä alituinen lannanluonti tuli tutuksi. Me lapset työskentelimme palkatta erilaisissa isän yrityksissä. Kävin mm. puhdistamassa koulun pihat lumesta ennen koulupäivän alkua traktorin etukuormaajalla ja vetelin loma-aikoina isän sähköurakointikohteissa sähköjohtoja rakennusten sähköputkituksiin.

Ensimmäiset työpaikat

Minulla oli kova halu päästä tienaamaan omaa rahaa ja kolmetoistavuotiaana kävin hakemassa töihin vaatetustehtaalte varastoapulaiseksi ja pääsinkin sinne ja siitä lähtien olin ”vieräällä” töissä kaikki loma-ajat yliopistosta valmistumiseen asti. Olin muutaman kesän metsäpalotähystäjänä palotornissa ja nykyisissä tehtävissäni olen vastannut ja kehittänyt metsäpalojen torjuntaa ja tähystystä Suomessa sekä Euroopassa vuosikymmeniä. Yhden kesän olin Tie- ja vesirakennuslaitoksella pitämässä paikallisia teitä ajokunnossa.

Työpaikat hankin itsenäisesti, kunnes lakkiaisuusvuonna hain töitä työvoimatoimiston kautta ja pääsin Ahvenanmaalle Kumlingen saarelle kalanjalostamoon töihin. Se oli hyvä työpaikka ruotsin kielen parantamisen ja hyvän palkan takia.

Keskikoulu ja lukio

Keskikouluun, ennen peruskoulu-uudistusta, piti pyrkiä pääsykokeen kautta. Kunnallinen keskikoulumme muuttui peruskouluksi kesken opintojen, joten olen saanut peruskoulun päästötodistuksen keskikoulun oppimäärän mukaan. Keskikoulun jälkeen pääsin teknilliseen opistoon opiskelemaan rakennusarkkitehdiksi, mutta valitsin lukio-opinnot opiston sijaan.

Kotipaikkakunnallani ei ollut siihen aikaan lukiota, joten kävin lukion naapurikunnassa Vetelissä. Asuimme viikot Vetelissä vanhassa matkustajakodissa muutaman muun ulkopaikkakuntalaisen kanssa. Se aika opetti tekemään ruokaa ja huolehtimaan muistakin itsenäisen asumisen tarpeista. Viikonloppuisin oli taas sitä luovaa työtä kotona navetassa.

Lukiossa biologia, matematiikka, fysiikka ja kemia kiinnostivat kovasti. Opinto-ohjaaja



Sisäministeriön tilannehuone ja säteilyvalvontajärjestelmän näyttö 1993. Saman järjestelmän esittelyä Saksassa Der Rote hahn messuilla Hannoverissa 1994.



Varusmiehenä puhelinlinjaa rakentamassa 1978.



Inkoon kirkon paanukatto juuri valmistuneena 1978.



Suomen TTT-delegaatio Saudi-Arabiassa kauppaamassa säteilyvalvontajärjestelmää. Kuvassa vasemmalta Saudi isäntämme, Rolf Mattsson, Janne Koivukoski, Tuomo Saarinen, Simo Rannikko, Saudi isäntä, Erkki Jatila. Toisessa kuvassa karua Saudi-Arabian eteläosien maastoa vuorineen.

esitti minulle oikeustieteen opintoja, mutta minua se ei innostanut. Fysiikan opettaja oli innostava ja arvioi, että minä ja paras kaverini pärjäisimme yliopistossa ja hän ennusti, että yltäisimme lisensiaatti- ja tohtoritasolle. Olin kiinnostunut biofysiikasta ja hain sitä opiskelemaan kahteen yliopistoon. Kaiken varalta hain myös Teknilliseen korkeakouluun opiskelemaan. Pääsin opiskelijaksi kaikkiin, mutta suoritin asepalveluksen ennen opintojen aloittamista. Kirjoittauduin sisälle Helsingin yliopistoon ja Teknilliseen korkeakouluun.

Varusmiespalvelus ja yliopisto-opiskelu

Asepalveluksen suoritin viestiaselajissa ja pääsin myös kadettikouluun. Varusmiespalveluksessa oppimani viestiopit sekä syntyneet ystävyys-suhteet ovat sittemmin urallani osoittautuneet kestäviksi ja arvokkaiksi. Minun on vaikea kuvitella hyödyllisempää aselajia siviilissä hyödynnettäväksi. Opin radio- ja tiedonsiirtotekniikan sekä salaustekniikoiden perusteet varusmiespalveluksessa. En valinnut sotilasuraa, vaan asepalveluksen jälkeen

reserviupseerina päätin lähteä Helsingin yliopistoon opiskelemaan pääaineena sovellettu fysiikka. Syynä oli se, että laskin, että valmis-tuisin nopeimmin sieltä, kun pääsin suoraan korkeamman tason fysiikan opintoihin.

Tein kaikenlaisia hommia nyrkkeilijä-kuuluisuus **Olli Mäen** yritykselle ennen opiskeluaikaa ja osin opiskeluaikanakin. Puhdistimme Helsingin Energian kivihiili-voimalaitosten kattiloita ja teimme esimerkiksi Inkoon kirkon paanukaton. Inkoosta löysin vaimoni ja työpaikan Fiskarsin

muovitehtaalla. Muovitehtaalla olin töissä koko opiskeluaikani tuotanto-, työnjohto ja suunnittelutöissä. Olin tehtaassa ainoa tietojenkäsittelyä opiskellut, joten ajautuin myös tietojenkäsittely- ja ohjelmointitöihin. Tehdas myytiin Oy Lohja Ab:lle ja osasto, jossa olin töissä, lakkautettiin, joten jouduin hakemaan muualta töitä. Olin saanut tutkinnon valmiiksi kohtalaisen nopeasti, alle neljässä vuodessa ja aloittanut myös jatko-opinnot suorittamalla muutaman lisensiaattikurssin.

Ammattiliitosta osaamista

Opiskeluaikana minulle esiteltiin Suomen matemaatikko- ja fyysikkoliiton toimintaa ja innostuin asiasta sen verran, että kun silloisen SMFL:n puheenjohtaja **Jaakko Ojala** tarjosi minulle opiskelija-asiamiehen tehtävää ja paikkaa liiton hallituksessa, tartuin haasteeseen ja toiminkin hallituksessa 13 vuotta, viimeiset vuodet varapuheenjohtajana. Pienen liiton hallituksessa opin todella paljon ja sain hyvää johtamiskoulutusta sekä opin virkaehtosopimuksen sisällön. Olin mukana liittämässä SMFL:ää Korkeakouluinsinöörien ja arkkitehtien keskusliittoon (KAL). KAL on nykyään TEK ja SMFL on Matemaattisluonnontieteellisten alojen akateemiset (MAL). Nykyinen Säteilyturvakeskus tuli tuolloin tutuksi ja on siitä lähtien ollut todella läheinen yhteistyötaho tähän päivään asti.

Inkoon muovitehtaan työpaikan jälkeen hain useita auki olleita paikkoja ja päädyin valitsemaan Valtion väestönsuojelukoulun opettajanpestin, sillä työpaikka oli Inkoon naapurikunnassa Lohjalla ja sain sieltä edullisen työsuhteasunnon, ja vaimo pystyi hoitamaan töitään Karjaalla. Tehtävään haettiin säteilysuojeluun perehtynyttä opettajaa, joka voisi pitää kursseja myös ruotsiksi. Homma sopi todella hyvin minulle, sillä olin opiskellut biofysiikkaa ja sairaalafysiikan perusopintoja mm. sädehoitolaskentaa. Palkka oli alhaisempi kuin aikaisemmin, mutta sitä kompensoi halpa virka-asunto. Lisäksi ruotsin kieli sujui kohtuullisen hyvin. Vaikka aluksi ruotsinkielisten kurssien luennot pidin hermostuksissani hikimärkinä. Vaaditusta virkamiesten kielitutkinnosta sain arvosanaksi hyvän, joka oikeutti pieneen palkanlisään kuukaudessa.

Väestönsuojelukoulussa, joka oli osa Pelastushallinnon koulutuskeskusta, ei ollut akavalaisia, joten liityin myös Virkamiesliiton alaiseen Korkeakoulujen ja opetusalan henkilökuntaliittoon (KHL), jonka hallituksessa toimin lyhyen aikaa ja olin oppilaitoksen luottamusmiehenä siellä oloni ajan.



USA:ssa Anaheimissa tutustumassa amerikkalaiseen kenttäjohtamiseen 2013.

Sisäministeriöön töihin

Säteilyfysiikan ja tietojenkäsittelytaitojen ansiosta pääsin heti mukaan sisäministeriön säteilyvalvontaohjelmiston kehitysprojektiin rakentamaan Suomen säteilyvalvontajärjestelmää. Kun yksi sisäministeriön virkamies lähti Saudi-Arabiaan väestönsuojeluasiantuntijaksi, minua kysyttiin viransijaiseksi sisäministeriöön. Lähdin sinne epäröimättä vuoden 1985 lokakuussa. Seuraavana vuonna 26.4. tapahtui Tshernobylin ydinonnettomuus, jonka seurauksena ministeriöön perustettiin ylitarkastajan virka, johon minut valittiin.

Vastasin sisäministeriön säteilyvalvontaverkon toiminnasta Tshernobylin onnettomuuden aikoihin ja onnettomuuden jälkeen johdin säteilyvalvontaverkon automatisointia ja rakensimme yhden maailman ensimmäisistä automaattisista säteilyvalvontaverkoista. Olen kiertänyt maailmalla Euroopassa, Venäjällä, Lähi-Idän maissa ja USA:ssa kertomassa kokemuksistamme ja kouluttamassa henkilökuntaa sekä rakentamassa säteilyvalvontaverkkoja. Olen tavannut näissä tehtävissä mielenkiintoisia ihmisiä mm. **Idi Aminin**, Saudi-Arabian prinssin, Venäjän puolustusministerin ja USA:n presidenttiehdokkaan.

Säteilyvalvontaosaamisen vientiä

Saudi-Arabiaan yritimme myydä useamman vuoden ajan säteilyvalvontajärjestelmää. Vierailin Saudi-Arabiassa säteilyvalvontajärjestelmän suunnittelunmatkoilla useam-

man kerran. Ensimmäisellä menomat kallani yllätyin, kun Saudian lentokoneessa Saudi Gazette -lehdessä oli koko sivun artikkeli, jossa minua oli haastateltu kemiallisiin ja säteilyvaaroihin varautumisesta Suomessa. Koulutimme sekä Kuwaitin, että Saudi-Arabian väestönsuojelujohtoa ja avustimme suomalaisia yrityksiä väestönsuojelutekniikan viennissä Lähi-Idän maihin.

Neuvostoliiton aikana vierailin mm. Ukrainassa Tshernobylin sammutustöihin osallistuneiden palomiesten luona ja kuulin heidän kertomuksiaan tapahtumasta. Lähialueyhteistyön puitteissa olin viemässä säteilyvalvontaverkkoja sekä Leningradin, että Sosnovy Borin ydinvoimalaitoksien ympäristöön ja kouluttamassa henkilöstöä niiden käyttöön. Olimme ensimmäinen länsimainen ryhmä, joka pääsi Murmanskin pohjoispuolella olevaan Severomorskin ydinsukellusvene- ja jäänmurtajasatamaan.

USA:ssa olen päässyt vierailemaan Nevadan ydinkoealueelle, jossa on tehty suurin osa USA:n ydinkokeista. Yhden lounaan olen syönyt ydinkoealueella koeräjähdyskeskuksen alapuolella olevassa paikassa. Turvatarkastukset tuolla reissulla olivat elämäni tarkimmat. Vessakäynnilläkin vieressä seisoivat turvallisuustarkkailijat.

Pohjoismaisessa yhteistyössä olen ollut mukana koko virkaurani ajan ja olen työskennellyt Ruotsissa vuoden 1989 aikana pohjoismaisessa virkamiesvaihdossa sisäministeriönsä Råddningsverketissä.



Vierailu Nevadan ydinkoelueella 2009.

Hätäkeskuslaitos ja VIRVE-verkko

Säteilyvalvontaprojektien jälkeen päätehtäväkseni tuli tietojenkäsittelyn kehitystehtävät, joissa olin johtamassa Suomen hätäkeskusjärjestelmän sekä viranomaisradioverkon kehitystyötä. Olin viisi vuotta tietoliikennejohtajana sisäministeriössä ja käynnistin Hätäkeskuslaitoksen sen ensimmäisenä johtajana. Hajasijoituspäätöksen takia Hätäkeskuslaitoksen keskusyksikkö päätettiin siirtää Helsingistä Poriin. En ollut halukas muuttamaan Poriin, joten minä sain valmiusjohtajan paikan sisäministeriön pelastusosastolla.

Olin ollut viranomaisradioverkon (VIRVE) kehityksessä mukana 1990-luvun alusta lähtien pelastustoimen vastuuhenkilönä ja kun hankkeen rakennusvaihe piti saada viimeistelyä, minua pyydettiin hankkeen projektijohtajaksi. Olin vuoden 2003 ajan poliisi-osastolla VIRVE-yksikön projektijohtajana ja sen jälkeen käyttäjäryhmän puheenjohtajana kymmenisen vuotta ja nykyisin VIRVEä operoivan Erillisverkot Oy:n hallituksessa varapuheenjohtajana.

Pelastustoimen tehtävät

Pelastustoimessa olen ollut sopimuspalokuntalaisena ja yksikönjohtajana teini-iässä Perhossa ja valtiolla metsäpalotähystäjänä, opettajana Pelastushallinnon koulutuskeskuksessa ja ministeriössä esittelijänä pelastusylijohtajana. Pelastusylijohtajana toimin vuonna 2018 ja sen jälkeen olen toiminut pelastustoimen toiseksi korkeimmassa virassa pelastusneuvoksena sisäministeriössä.

Viime aikojen suurin hanke, jonka valmistelusta olen vastannut, on sote-uudistus, jossa pelastustoimi sekä sosiaali- ja terveystoimi siirretään hyvinvointialueiden järjestettäväksi ja valtion budjettirahoituksen piiriin. Tämä on jo kolmas yritys saada tämä hanke toteutettua. Toivottavasti se saadaan nyt maaliin ja sitä kautta parannettua yhteiskunnan turvallisuutta.

Kohti lopullista voittoa?

Tutkimus- ja kehittämistehtäviä olen tehnyt koko virkaurani ajan ja koronatilanteen aikana kaivoin esiin vanhat luonnokseni väitöskirjaksi ja hain opiskeluoikeutta tohtorikoulutusohjelmaan. Tarkoitukseni on saada kesken jäänyt tohtoriprojektini loppuun. Tätä uratarinaa kirjoittaessani väitöskirjani on esitarkastuksessa. Tavoitteena on, että Tshernobylin onnettomuuden vaikutusta säteilyvalvonnan kehitykseen selvittävä väitöskirjani väitöstilaisuus olisi lähellä Tshernobylin ydinonnettomuuden 35.vuotispäivää.

Omissa työtehtävissä olen kiitollinen siitä, että olen saanut tehdä hyvin monipuolisia tehtäviä ja hyödyntää kaikissa niissä oppimiani asioita. Ammattiyhdistystoiminnassa olen oppinut neuvotteluprosesseja ja johtamista, joka on auttanut minua urapolullani etenemisessä paljon. •

MUTKIA JA MÄKIÄ IT-ALAN TYÖPOLULLA



Jälkikäteen on näkevinään, että työura on ollut loogista etenemistä osaamisen ja kokemuksen kasvun myötä. Näin minullakin, mutta ei totisesti suoraviivaisesti. Julkaisussani Tietoyhteiskunnan lyhyt historia (SITRA 1999) totean tietoyhteiskunnan edistyneen tango askelin: kaksi eteen ja yksi taakse. Niin on minullekin käynyt, vaikka olenkin huono tanssimaan. Sattumallakin on iso osuus siinä, millaisia tehtäviä on tullut vastaan. Välillä on menty ylöspäin, välillä laskeuduttu alemmas.

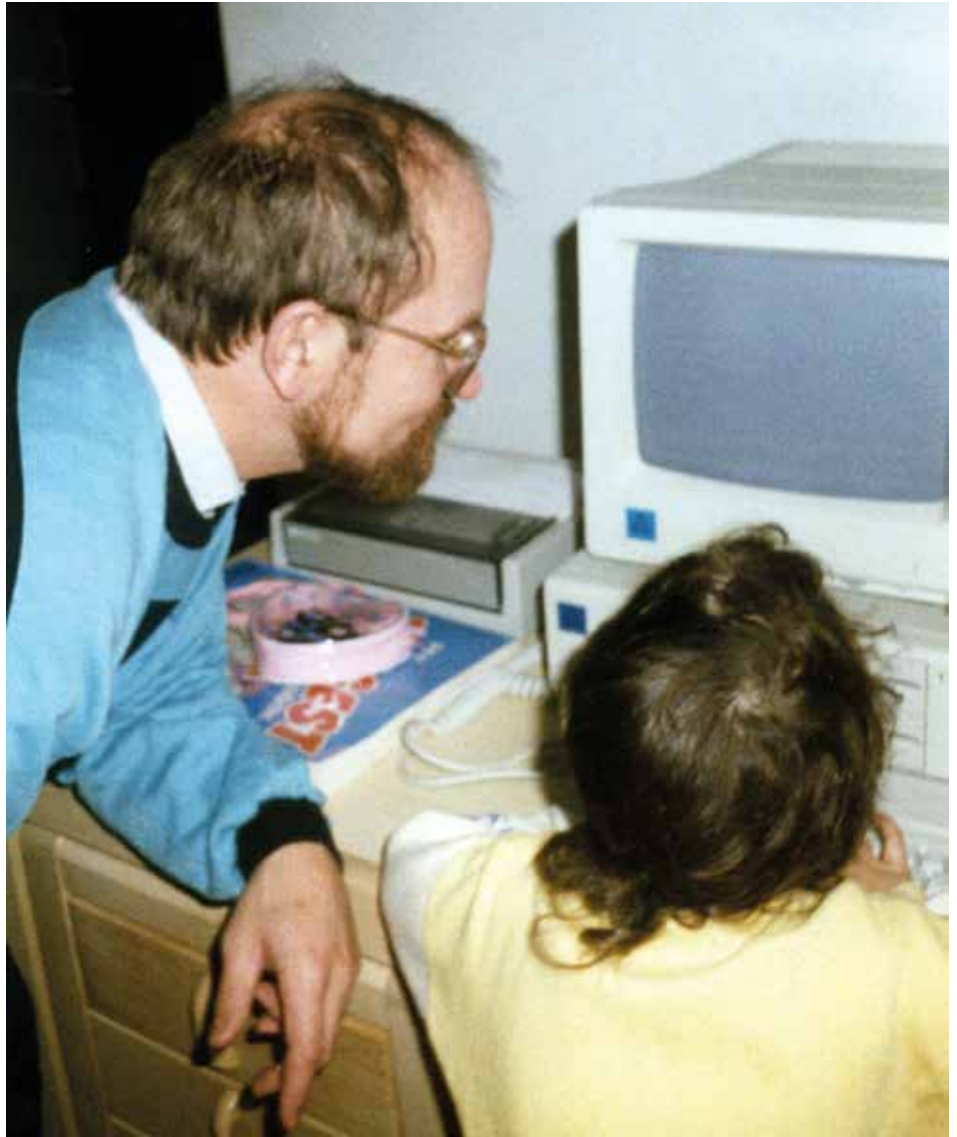
Mallien parissa jo opinnoista alkaen

Noin puolet työelämästäni olen ollut yleisissä hommissa, esimerkiksi tekemässä tutkimusta tai jotakin kansallista strategiaa. Toinen puoli on ollut täsmällistä ammattityötä etenkin laadun mittaamisen ja turvallisuuden parissa. Puolet olen ollut julkishallinnon ja järjestöjen tehtävissä, toisen puolen yrittäjänä. Olen elämäntapayrittäjä vapaana organisaatioiden rajoituksista tai pomojen vaatimuksista. Olen miettinyt, että tässä vaikutti lapsuuteni pienviljelijäperheessä, jossa olimme itsenäisiä mutta myös köyhiä. Tosiasiassa olimme sidottuja menneisyyteen ilman uskottavaa ja tavoiteltavaa näkymää tulevaisuuteen. Siitä piti päästä pois siisteihin sisähommiin.

Lukioaika oli tärkeä, kun silloin piti jo suunnilleen tietää mitä haluaisin ja tekisin. Matematiikka oli selkein vahvuuteni, eli sen piti olla jotenkin osa opintoja ja työtä. Tekniikka kiinnosti, mutta en halunnut rajautua tai erikoistua mihinkään yhteen alaan. Tuotantotalouden linja TKK:lla vaikutti lupaavalta. Sinne pyrin ja pääsin tietämättä juuri mitään opintojen sisällöstä. Meitä oli 20 opintojen aloittajaa vuonna 1971. Varsin pian jakaannuimme muutamaa ryhmään. Itse kuuluin opinnot tosissaan ottaviin, olinhan tottunut aikataulutettuun työntekoon jo kotona.

Osa kursseista oli turhan kevyitä. Matematiikassa pystyin menemään syvemmälle, samoin tietotekniikassa. Ne valikoituivatkin ammattiaineikseni, täydentyen myöhemmin systeemiteorialla lisensiaattivaiheessa. Ikinä en ole katunut näitä valintojani. Ne antoivat ajattelun välineitä, vaikka en olekaan työskennellyt kaavojen parissa. Jotenkin sitä pystyy hahmottamaan yhteiskuntaakin paremmin ja ainakin täsmällisemmin, kun ajattelee sitä osittaisdifferentiaaliyhtälöiden avulla!

Pääosan työelämästäni käytin erilaisten (ennuste/arviointi) mallien ja menetelmien kehittelyyn ja käyttämiseen. Olin muutaman kerran oikeassa paikassa, ja sain siten riittävän haastavia tehtäviä. 1970-luvulla olin useissa pitkän aikavälin ennustamisprojekteissa Taloudellisessa suunnittelukeskuksessa (TAS-KU) teknisenä asiantuntijana ohjelmoimassa laskentamalleja. Tätä työtä tein assistentin vakanssilla TKK:n tietojenkäsittelyopin laitoksella. Tein varantolaskelmia, kuten väestön, asuntokannan ja autokannan kehitysennusteita muutaman vuosikymmenen päähän. Tällöin rupesimme käyttämään ns. skenaariomenetelmää eli laadimme vaihtoehtoisia, eri oletuksiin perustuvia kehityskulkuja.



Sain ensimmäisen kotitietokoneen 1986. Tytär halusi opetella ja oppikin!



Monella mantereella sain käydä standardointireissuillani. Tässä Suomen delegaatio Montrealin kokouksessa 2013.

Ensi askelia tietoyhteiskunnan kehittäjänä

Opiskeluajanani olin ollut laatimassa lukio-laisille tarkoitettua tekniikan alojen ammatinvalinnan opasta. Olin ainakin otsikkotasolla tietoinen tekniikan alojen korkeakouluopinnoista. Olin ollut pitäjälähdessä Vaarojen Sanomat kesätoimittajana vuonna 1971 ja oppinut tuottamaan tekstiä ilman pitkää muhimisaikaa. Sikäli olin - omastakin mielestäni - sopiva valinta Teknologiakomitean pääsihteeriksi vuonna 1979. Siinä riitti kunnianhimoa ja vuorta kiihättäväksi nuorelle miehelle! Julkaisimme päämietinnön ja jaostomietintöjä yhteensä yli 1600 sivua, melkoinen työmäärä sen ajan kirjoituskonetekniikalla. Matematiikkaa tarvittiin etenkin automaation ja tietotekniikan työllisyysvaikutusten laskentaan senaikuisten tilastojen pohjalta.

Laskin myös tietotyötä tekevien määrän kaikista työllisistä, muistaakseni 25 % vuonna 1975 ja 30 % vuonna 1980. Tietotyön kasvu oli siis nopeaa, samaten kuin automaation aiheuttama työpaikkojen katoaminen. Eniten työpaikkoja katosi pankkialalta 1980-luvulla. Nykytilanne on noin 75 % tietotyötä tekeviä kaikista. Teknologiakomitea oli hyvä esimerkki uusien mahdollisuuksien avautumisesta nuorelle suurten ikäluokkien edustajalle, töitä tuli samaa tahtia kuin hyvinvointiyhteiskunta kehittyi.

Takaisin tekniikan pariin

Opintojeni ensimmäisenä kurssina vuonna 1971 oli Basic. Se olikin minulle tärkeä, kun en ollut sitä ennen ollut tietokoneiden kanssa tekemisissä. Opinnoissa pääsin syventymään lisää. Niinpä oli luontevaa siirtyä VTT:n palvelukseen muutamaksi vuodeksi. Teki mieli laskeutua ylälmoista konkretian pariin. Huomaan, että olen tehnyt myöhemminkin samantyyppistä hissiliikettä yleisiin aihepiireihin ja sitten takaisin hyvinkin tarkkoihin ammattitöihin.

Olin VTT:n atk-palvelujen graafisen atk:n ja CAD/CAM-aihepiirin pomona. Oli tosi mielenkiintoista! Jännittävin toimeksianto oli osakekirjojen turvapainatuskuvien digitalisointi. Ne tehtiin aiemmin kaiverruskoneella Suomen Pankissa. Turvapainatuskuvien teko tietokoneella osoittautui ylivoimaiseksi, niinpä jouduimme tekemään niitä urakalla. Mieleen muistuu yhden metsäyhtiön osakekirjan himmeänä taustakuviona ollut kuusipuu. Oli siinä miettimistä, mikähän on kuusen matemaattinen yhtälö... En kerro vielä, oli sen verran järeät salassapitopykälät.

Mielenkiintoisena sivupolkuna olin kymmenisen vuotta yhdyskuntasuunnittelun sivutoimisena erikoisopettajana 1980-luvulla,

aihepiirinä matemaattiset menetelmät ja tulevaisuudentutkimus. Opin, että eri ammattialojen välillä on enemmän yhteistä kuin erityistä. Olin mukana useiden Asunomessujen taustatöissä. Sain aikaan kollegojen kanssa menetelmän ja mallin asuinalueiden laatutason arviointiin. Se perustui professori Saatyn kehittämään AHP-menetelmään, joka on yksi konkreettisista tavoista yhdistää monitavoitteista päätöksentekoa ja sumeiden joukkojen teoriaa.

Tuotantotaloudessa olennaista on yhdistää tehokkuusajattelu ja valittu tekniikan ala. Minulla tekniikan alana on aina ollut ohjelmistotuotanto. Muutaman vuoden VTT-jakson jälkeen halusinkin erikoistua tähän lisää. Aluksi tein erilaisia määrittelykeikkoja Oy Dava Ab:n konsultoinnin vetäjänä. Menetelmäharrastukseni johti siihen, että rupesin kehittämään **Matti Kajeen** kanssa laajojen järjestelmien kuvaustapoja, etenkin ns. DAJE-matriisia. Kun sen yhdisti **Kari Saaren-Seppälän** kehittämään seinätekniikkaan, niin syntyi aihio nykyisin niin suositusta ketterästä kehitystavasta. Projekti-ryhmä sai oman työtilan, jonka seinillä pidettiin yllä lapuista ja villalangasta koottuja perusajatuksia toteutuivat jotenkin.

Ensi askeleet yrittäjänä

Koitti aika koettaa omia kykyjä yrittäjänä. Erikoistumisalakseni tuli ohjelmistoprojektien etukäteisarviointi, ns. estimointi. Oli menty lähes järjestään pieleen, projektit myöhästivät reilusti ja kustannukset karkasivat. Yritysjohdossa tälle ei oikein mahdettu mitään, vaikutti ikuisuusongelmalta. Koetin hakea ratkaisua ottamalla käyttöön toimintopistelaskennan eli ohjelmiston loogisen koon mitan. Kun sen avulla kerättiin kokemustietoa toteutuneista projekteista, saatiin myös uusille projekteille kalibroitu ennustepohja.

Tavoitteena oli ennustaa ainakin tarvittava työmäärä ja realistinen aikataulu, joskus myös projektin riskit. Lisäapuna oli erilaisia työmääriä ennustavia malleja. Arvioiden tarkkuus oli eniten kiinni määrittelyjen hyvydestä, eli se oli jo tuolloin ongelma. Tein tällaisia estimointikeikkoja toistasataa 1980-luvun loppupuolella. Kovasti oli opettavaista, tuolloin opin IT-alan moninaisuutta sekä teknisenä alana että organisaatioiden liiketoiminnan osana.

Kuusi vuotta Tieässä

Oli aika astua urahissiin. Toimin Tietotekniikan kehittämisskeskus ry:n toiminnanjohtajana kuusi vuotta, juuri synkimmän laman

aikaan 1990-luvun alussa. Oli siinä tekemistä, että sai rahoituksen raavittua kasaan. Kokemus liike-elämästä auttoi sen verran, että ymmärsimme palvelujen monistamisen tarpeen. Piti tehdä helposti käyttöönotettavaa ja massakäyttöön soveltuva.

Tärkeimmäksi tuli Tietokoneen ajokortti, varsinainen hitti! Reilusti yli sata koulutusorganisaatiota halusi ottaa sen käyttöön. Kehitimme siihen verkossa toimivan tentin. Myöhemmin ajokortti monistui ja jakaantui moneksi. Tiekke sai tehtäväkseen tietoyhteiskuntastrategian teon, ja siitä syntyi lukuisia projekteja eri puolilla Suomea. Sen projektipääällikkyyksi pisti tiukalle!

Tiekke tarjosi mahdollisuuksia tehdä jota-kin myös IT-projektien paremman onnistumisen puolesta. Kokosimme porukalla noin 15 yrityksen ryhmän, jotka sitoutuivat keräämään kokemustietoa omien IT-projektiansa työmääristä ja aikatauluista. Syntyi LATURI (laatu, tuottavuus, riskit), tietokanta IT-projektien toteutumista. Se on hyvissä voimissa edelleen osana FISMA ry:n toimintaa ja kokemusten vaihtoa.

Laadun pariin ja yrittäjäksi

Itse siirryin pikkuhiljaa laadun arvioinnin puolelle. Olin kokenut, että pelkkä projektitaso ei selitä tehokkuuden ja onnistumisen suurta vaihtelua. Vaikka olisi kuinka hyvä projekti, olosuhteet ja ulkoiset tekijät vaikuttavat usein tehokkuutta huonontavasti. Jo opintojen aikaan ja erityisesti osana systeemiajattelua olin perehtynyt prosessijohtamiseen. Nyt tuli aika koettaa konkretisoida sitä IT-alalla. Samaan aikaan 1990-luvun alkupuolella syntyi kova kiinnostus ISO9001-sertifiointiin. Kun vielä IT-alan standardoinnissakin rupesi tapahtumaan edistystä elinkaarimallien ja prosessiarvioinnin puolella, ainekset alkoivat olla kasassa. Osaltani alkoi prosessien arvioinnin aika.

ISO/IEC:n piirissä ruvettiin kehittämään ns. SPICE-standardia. Se on menetelmä ja asteikko yksittäisten prosessien hyvyyden mittaamiseen. Täsmällisemmäksi aiheeksi valikoitui prosessin kyvykkyys, eli sen ominaisuus ja varmuus päästä haluttuihin tavoitteisiin. Asteikosta tuli viisiportainen: kyvykkyystasot 1 – 5 ja vielä sen alapuolella nollataso. Tästä tuli minulle työelämän loppuajan perusmarkkina, tein reilut 200 SPICE-arviointia. Yhdysvalloissa oli kehitetty vastaava CMM/ CMMI-malli organisaatioiden kypsyysarviointiin, ja kerkesin tekemään näitäkin arviointeja reilut 50 kappaletta. Näitä täydensi lähes sata ISO9001-arviointikeikkaa, joten voin sanoa, että IT-ala tuli tutuksi!



Työuran varrella oli paljon tilanteita, jossa olen mukana poseeraamassa. Tässä Thaimaan varapääministerin seurueessa vuonna 2006 ISO-kokouksessa.

Taas teki mieli astua urahissiin ja laskeutua konkretian pariin. 2000-luvun alkupuolella pääsin mukaan ydinturvallisuuden kansalliseen turvallisuusohjelmaan SAFIR. Se on jatkunut parikymmentä vuotta nelivuotisin jaksoina. Olin mukana turvallisuuskriittisten järjestelmien ohjelmisto-osuuksien arviointimenetelmien kehittäjänä. Se perustui pääosin SPICE-standardiin ja tuloksena onkin Nuclear SPICE-menetelmä. Tavoitteena on nähdä ja vakuuttua jo järjestelmän kehittämisvaiheessa, että siitä tulee turvallinen ja se voidaan ottaa käyttöön riskittömästi. Toki on otettava huomioon monia asioita, kuten vaadittava turvallisuustaso, ydinteknisten standardien täyttyminen jne. Luotettavuus on matemaattisesti ja formaalisti määritelty laatuominaisuus, joten jo nuorena opitulle oli taas käyttöä!

Pitkään standardointitöissäkin

Viimeiset 30 vuotta olen ollut aktiivisesti mukana ohjelmistoalan standardoinnissa. Sittemmin se on laajentunut myös järjestelmiin, "System and software engineering". Standardointityö on antanut paljon uusia näkemyksiä

ja kasvattanut kollegaverkostoa. Suurin osa meistä on vapaaehtoisia ammattilaisia eri maista, kannustimena saada aikaan yhteistä hyvää.

Olemme puhuneet kollegojen kesken, että standardi on eräänlainen yhteiskunnan muisti. Siihen kertyy pikkuhiljaa kaikki se yleinen kokemustieto, jota laadukkaiden järjestelmien kehittämiseksi tarvitaan. Standardointityö on myös hyvin ajan hermolla, esimerkkinä työn alla oleva koronaviruksen tarkoitettujen IT-järjestelmien laatuohjeistus. Kannattaa katsoa mitä standardeissa on sanottu esimerkiksi ohjelmiston laadusta, kaikkea ei kannata yrittää keksiä itse.

Huomaan olevani järjestöihminen. Työelämän aikana olen osallistunut Systeemityö-yhdistys Sytyke ry:n toimintaan, myös sen puheenjohtajana 1980-luvun lopussa. Vielä nykyäänkin toimin FISMA ry:n Senior Advisorina, koettaen edistää IT-alan ja erityisesti ohjelmistotuotannon laatua. Vapaa-aikaani olen käyttänyt paljon asuinalueeni Lounais-Espoon Omakotiyhdistyksen LEOKY ry:n toimintaan. Se on auttanut minua kotiutumaan Nöykkiöön ja tuntemaan Espoon toiseksi kotiseudukseni Pohjois-Karjalan lisäksi. •

MUISTIKIRJAMERKINTÖJÄ JA POHDINTOJA TYÖVUOSILTANI PUOLUSTUSVOIMISSA

”Nainen älköön vaietko seurakunnassa” - näin kuului rohkaiseva kehoitus pyytäessäni puheenvuoroa aloituskokouksessa, joka pidettiin eduskunnan oikeusasiamiehen *Jacob Södermanin* ollessa suorittamassa säädöspohjaista tarkastuskäyntiään Lentotekniikkalaitoksella, Tampereen Vuoreksessa sijaitsevassa Ilmavoimien joukko-osastossa. Elettiin viime vuosisadan viimeisten vuosikymmenten vaihdetta ja merkittävien muutosten vuosia Puolustusvoimissa.

Koin oikeusasiamiehen ystävällisen lausahduksen silloin eräänlaisena enteena tulevista muutoksista PV:n toiminnassa, jossa muutamia vuosia myöhemmin naisten vapaaehtoinen asepalvelus sitten mahdollistui 16.10.1995 alkaen ensimmäisten naisten aloittaessa vapaaehtoisen asepalveluksensa Suomen Puolustusvoimissa.

Olin itse ollut tuolloin noin kymmenen vuoden ajan Puolustusvoimissa Ilmavoimien palveluksessa kemistin siviilitehtävässä asiantuntijatyössä, muiden PV:n tekniikan alan siviiliasiantuntijoiden, -viranhaltijoiden ja erikoisupseereina työskentelevien joukossa. Työssäni toimin myös läheisessä yhteistyössä luonnontieteellistä tutkimustyötä tekevien korkeakoulutettujen ammattilaisten kanssa sekä PV:n piirissä, että sen ulkopuolella.

Vaikka vastaavissa tehtävissä toimivien naiskollegojen määrä organisaatiossamme oli harvalukuinen, en kokenut silloin enkä nyt myöhemminkään vuosikymmenten jälkeen työurani aikaisia tapahtumia mieleen palauttaessani ”tulleen vaiennetuksi naisena” - tai

kokenut edes sellaisen uhkaa missään vaiheessa. Sen sijaan sain työnantajaltani mahdollisuuden jo ennen naisten vapaaehtoisen asepalveluksen aloittamista luennoida useamman kerran upseerien virkaurakursseilla aiheesta ”nainen asiantuntijatyössä Puolustusvoimissa” ja tuoda esille omia kokemuksiani ja ajatuksiani aiheesta.

Ensimmäinen työsopimussuhteisen kemistin tehtävässä

Ennen ’tuloon’ tuloani oli Ilmavoimiin perustettu ensimmäinen työsopimussuhteisen kemistin tehtävä ja olin sen ensimmäinen tehtävänhaltija. Koin siis saavani vahvan tuen erikoisupseeri- ja upseeriesimiehiltäni tässä uudessa tehtävässä kemiaa ja kemistejä edustavana ammattilaisena - niin työni alkutaipaleella kuin myöhemminkin siirryttyäni vaativampiin alani tehtäviin Ilmavoimien Esikuntaan ja edelleen urani loppuvaiheessa viranomais-tehtävissä Pääesikunnassa Helsingissä.

Sen sijaan hyvin tutuiksi tulivat vuosien mittaan lukemattomat istunnot, joissa me eri ammattiryhmiä edustavat luottamusmiehet ja työsopimusneuvottelijat istuimme työnantajan edustajien kanssa napit vastakkain milloin minkinlaisissa tunnelmissa sorvaamassa sopua eri osapuolten välille tai vääntämässä työehtoihin osapuolille hyväksyttävissä olevia kirjauksia. Toteutettiin esimerkiksi niin kutsuttua luottamusmiesmenettelyä tai käytiin työsopimusneuvottelua.

Näissä kokoontumisissa kirkkaita voittoja syntyi vähemmän millekään osapuolelle, voitot olivat enintään torjuntavoittoja ja lopputulemana tyydyttiin jonkinlaisiin tasapeleihin.

Edunvalvontatyön käännteissä aika ajoin inhimilliset tunteet loistavat läsnäolollaan ja argumentointikin saattaa olla ankaraa, mutta siitä huolimatta organisaatioissa kyseisiä sopimusneuvottelujärjestelmiä ja niiden eteen työtä tekeviä kunnioitetaan, joskus kiitelläänkin saavutettuihin loppuratkaisuihin pääsemisestä.

Tämän vuosituhannen alkupuolella Puolustusvoimissa jouduttiin säästösyistä lakkauttamaan tai yhdistelemään useita joukko-osastoja, jolloin henkilöstöä - erityisesti siviilejä - jouduttiin irtisanomaan tai sijoittamaan uudelleen myös toisille paikkakunnille. Puolustusvoimienkin oli toteuttava valtiovalan määräys asiassa piirun tarkkaan, ehkä tarkemmin kuin monikaan muu niistä organisaatioista, joita tämä velvoite koski.

Julkisuudessa on viime viikkoina uutisoitu ja ollut keskustelun aiheena Puolustusvoimien henkilöstön tai yksittäisten henkilöiden ja esimiesten sekä työnantajan ja henkilöstöryhmien väliset ristiriitatilanteet, joissa on koettu vääryyttä, osapuolten välistä väärinymmärtämistä tai jopa kaltoin kohtelua. Tämän tyyppiset tilanteet liittyvät kaikissa järjestäytyneissä työorganisaatioissa luottamusmiestehtävässä toimivan henkilön karuun arkeen, omalla kohdallani akavalaisen DI-kunnan luottamusmiehenä ja myöhemmin pääluottamusmiehenä lähes kolmen vuosikymmenen ajan.

Vastakkain joutuneita organisaation tarjoa edustaville henkilöille nämä ristiriitatilanteet saattavat olla hyvinkin haastavia - mutta kuitenkin aina ennen kaikkea työtä; ratkaisuhakuista, periksi antamatonta sovittelutyötä. Joskus saattoi käydä niin, et-



Ilmavoimien taitolento-osasto Midnight Hawksin ylilento Puolustusvoimain lippujuhlan päivän paraatissa. Kuvaaja Sakari Kiuru/Museoviraston kokoelmat.

tä luottamustoimessaan joutui sovittelijana edustamaan molempia, näkemyksissään vastakkainasetteluun päätyneitä osapuolia. Kokemukseni tästä 'asetelmasta' ovat olleet kahtiajakoiset – tilanteesta voi olla loppuratkaisun kannalta hyötyäkin, kun pyrkimys molempia osapuolia tyydyttävään ratkaisuun on erityisen vahva kaikilla osapuolilla.

Nykyisen työelämän haasteet

PV:ssa luottamustoimessani saamani kokemuksen pohjalta arvioituna pitäisi näköpiirissä tai pinnan alla kytteviin tai jo syntyneisiin ristiriitatilanteisiin tai tyytymättömyyteen reagoida mahdollisimman nopeasti ennen kuin keskinäinen luottamus koko henkilökunnassa alkaa heikentyä ja työilmapiiri sakata - siitähän huolimatta mitä tietoa organisaatioiden vuosittaiset työilmapiirikyselyt saattavat välittää.

Lukuisissa käydyissä keskusteluissa valtion eri toimialojen sekä yksityisen sektorin luottamushenkilöstön kesken olemme todenneet aikaisen toimimisen, muun valppauden ohella, erääksi tärkeimmistä luottamusmiestenkin työvälineistä takaamaan innostavan, tasapuolisuutta vaalivan ja kannustavan työilmapiirin säilymisen organisaatiossa.

Oman työurani aikana näin lähes poikkeuksetta organisaatioiden eri tasoilla henkilöstön taholta vahvaa motivaatiota ottaa ajoissa esille epäkohtia ja halua ratkaista niitä ja samoin työnantajapuolelta kannustusta näin toimimaan. Onko tässä asiassa nyt tapahtunut taantumista, on mielestäni hyvä kysymys.

Onko ihmisten työtaakka paisunut liiaksi näinä kovina kustannussäästöjen aikoina,

onko koulutusta tai valmennusta saatavilla esimerkiksi ammattiliittojen tai työnantajan avustuksella organisaation jäsenille ryhtyä vaikuttamaan ja tekemään työtä hyvin toimivien, innostavien työyhteisöjen eteen ja olisiko sille työlle saatavissa resursseja, riittävästi aikaa? Toimivatko keskusteluyhteydet edelleenkin hyvin etenkin näin etäaikana?

Kun arvioidaan hyvin toimivia ja innostavia työyhteisöjä nousee merkittävään asemaan henkilöstöryhmien ja työnantajan välillä neuvoteltujen työehtosopimusten pohjalta sovitut työehdot ja sitä kautta raamit kohtuulliselle ja oikeudenmukaisuuteen pyrkivälle henkilöstöpolitiikalle. Voisiko näiden sopimusasiakirjojen sisältämien asiakokonaisuuksien edes jossain määrin parempi tuntemus henkilöstön keskuudessa yhdessä työlaissa säännön tärkeimpien peruseräkkeiden tiedostamisen kanssa auttaa työyhteisöissä välttämään joidenkin konfliktien syntyä? Mieleen on tullut, voisiko tähän työhön luottamushenkilöstön lisäksi olla saatavissa apuja muualtakin organisaation piiristä.

Puolustusvoimat työpaikkana

'Armeijan leipiin' tulevan olisi tärkeää tiedostaa, mitä työltään ja työuraltaan tavoittelee ja mikä on mahdollista eri henkilöstöryhmiin kuuluville. Miten uraorientoituneena siviilinä, erikoisupseerina tai upseerina priorisoi mahdollisesti useammatkin tavoitteensa Puolustusvoimien organisaatioissa. On ennen pitkää oltava riittävästi selvillä mitä oikeuksia tyydyttävien työurien etenemisen kannalta on työntekijällä ja mitä oikeuksia työnantajalla, mihin laki ja sopimukset osapuolia velvoit-

tavat. Mitä kannattaa lähteä tavoittelemaan, mikä ehkä ei ole mahdollisuuksien rajoissa tai näyttäisivätkö etukäteisodotukset ja olemassa olevat mahdollisuudet kohtaavan uran aikana.

Edellä mainitut PV:n henkilöstösupistukset vaatimuksineen eivät omaan työsopimusperusteiseen tehtävääni vaikuttaneet, mutta saotin tässä organisaatioiden uudelleen järjestelyjen yhteydessä päästä toiveeni mukaisesti siirtymään ylemmän esikunnan alaisiin vaativampiin ja laajalaisempiin tehtäviin.

Kemian alan asiantuntijatyössäni painotui sen jälkeen enenevässä määrin henkilökunnan, siviili- ja sotilashenkilöstön koulutus-tehtävät sekä monipuolinen ulkomainen yhteistyö erityisesti Pohjoismaiden kesken. Luottamusmiehen sekä järjestön puheenjohtajan tehtävät olivat vaihtuneet jo aiemmin pääluottamusmiehen työksi, mikä seurasi vielä mukana aloitettuani viimeisen siirtymisen jälkeen työni osastoinföörinä Pääesikunnan viranomaistehtävissä Helsingissä.

Puolustusvoimille tehtävän asiantuntijatyön piirissä, sen laajassa kirjossa erilaisia työtehtäviä, tarjoutuu myös korkeakoulutetuille erikoisosaajille koulutustaan erittäinkin hyvin vastaavaa työskarkaa. Parhaimmillaan saattaa työuran aikana esimerkiksi kansainvälisten työtehtävien kautta avautua laajoja näköaloja yhteistyön ja oppimisen mahdollisuuksille. Tällaiset mahdollisuudet toteutuessaan palvelevat työuralla yksittäistä ammattilaista hänen ammattitaitonsa kehittämisessä ja motivoivat ottamaan vastaan tarvittaessa kovia haasteita. Siinä samalla rakennetaan koko työyhteisön tulevaisuutta ja organisaation kykyä selviytyä sille kuuluvista tehtävistä. •

ARKKITEHDIKSI PITKÄN KAAVAN MUKAAN

Olen luonteeltani proaktiivinen ja helposti lähestyttävä luotettava lajeja ja tietojohdantamista käytäntöön soveltava arkkitehti. Sekä asiakkaiden, alaisen ja työtovereiden aktiivinen kuuntelu ja tukeminen ovat minulle tärkeitä asioita. Vahvat henkilökohtaiset arvoni ovat elinikäinen oppiminen ja luottamuksellinen toiminta. Erilaiset työt lakien soveltamista hyödyntävien organisaatioiden parissa ovat vahvistaneet juristikoulutukseni kautta saatua oppia arkkitehdin tehtäviin.

Tästä tarinasta voitte lukea miten elinikäisen oppimisen kautta olen löytänyt omat vahvuuteni.

Opinnot alkoivat

Synnyin monta vuotta sitten Tampereella Marian sairaalassa, olin vanhemmilleni esikoinen. Mielikuvani alkavat Pispalan vuosista, kun siellä rinteessä portaitsiin piti kieli liimata ja kuumalla vedellä sieltä pois ottaa. Mukavia kavereita oli ja isolla joukolla asioita teimme. Muutimme ennen kansakoulun alkamista Tesomalle syntyvään uuteen lähiöön. Rahoilan koulussa aloitin ja Tesomajärven koulun valmistuessa päätin nelivuotisen kansakoulun hyvin arvosanoin. Tampereen yhteislyseo sai minusta oppilaan Aleksanterin kirkon taakse. Tampereen lyseosta kirjoitin ylioppilaaksi matematiikan laudatur taskussa. Olin sukuni ensimmäinen ylioppilas. Hain ja pääsin mm. Tampereen Teknilliseen Korkeakouluun, mutta Kuopion Korkeakoulu ja lääketieteellinen fysiikka vei voiton.

Perusopintoni aikana etsin ja sain erilaisia työtehtäviä: myynti-, kerhotäti- ja leipomotehtävät sekä hautausmaan puutarhan hoito. Tehtävä olivat nuorelle mielenkiintoisia, yritysmaailmaa eri puolilta esitteleviä. Lääke-

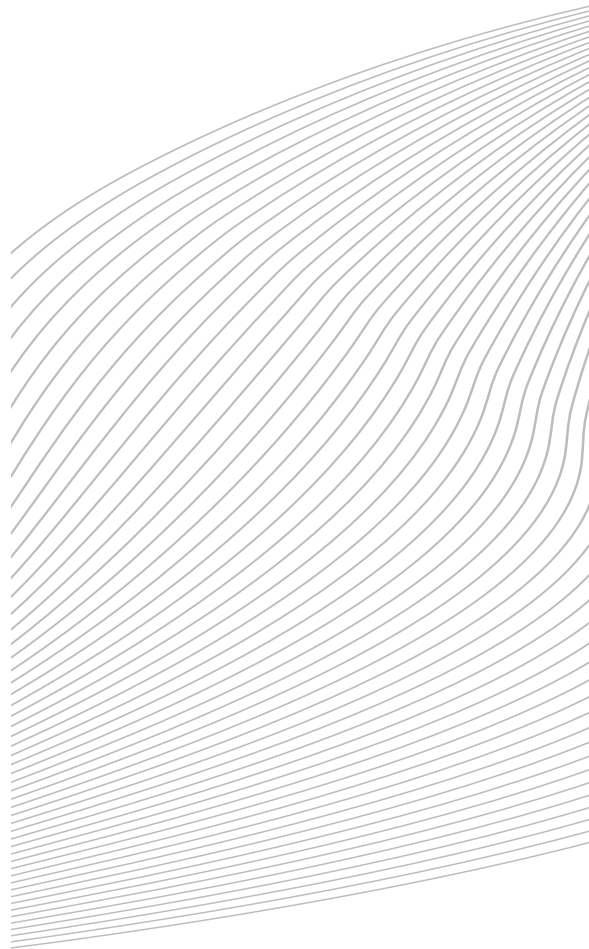
tieteellisen fysiikan opintojen aikana olin hoitajana eri tasoissa vanhainkodissa Tampereella ja toimintaesteisten neurotutkimuksessa Kuopiossa. Fysiikan maisteritutkintoa tekemään lähdin Espooseen Lääketehdas Orionille, missä olinkin sitten viisi vuotta. Ja menin naimisiin miehen kanssa, joka edelleenkin minua tukee parhaalla mahdollisella tavalla. Asuimme Lauttasaareissa ja ensimmäinen poikamme syntyi Kätilöopistolla.

Liityin Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset – yhdistykseen heti kun yhdistys oli liittynyt Tekniikan Akateemisiin ja työttömyyskorvaukset oli mahdollista hoidtaa tämän kautta. Vuosi oli 1984. Olin aluksi opiskelijajäsen.

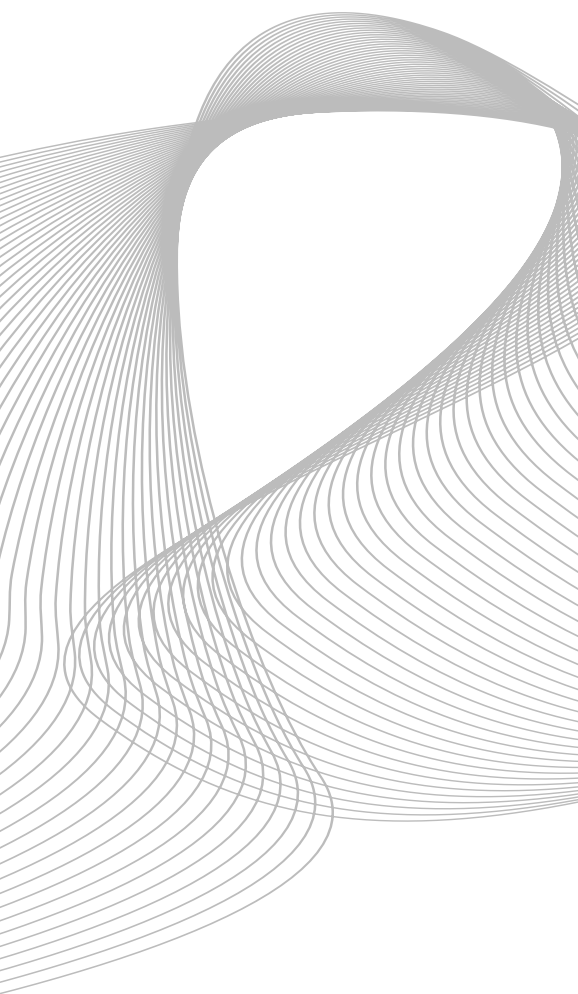
Filosofian maisteriksi fysiikasta ja ensimmäinen rakennusprojekti

Tein maisteritutkintoni Lääketehdas Orionin lääketutkimuskeskukselle prekliinisen lääketutkimuksen alueelta, kyseessä motiliteettitutkimus, datan keruu Animex-laitteelta mikrotietokoneella ja analysointi VAX-tietokoneella. Sain tästä työstäni työantajaltani ja korkeakoulusta parhaan mahdollisen arvosanan, josta oli minulle sitten jatkossa hyötyä. Mielenkiintoista tälle ajalle oli se, että minut palkannut henkilö on tänä päivänä ystäväni, on ollut sitä monta vuotta. Orionilta löytyi myös muita pitkäaikaisia ystäviä.

Koska elämä vei mukanaan pääkaupunkiseudulla, niin opinnot Kuopiossa jäivät. Kävin aina välillä yrittämässä mammuttikurssin Solubiologian suorittamista – nelivaiheisessa tenttimisessä oli epäonnistumisia ja onnistumisia. Helsingin yliopiston fysiikan laitos ymmärsi hankaluuteni ja pääsin sinne toisen poikamme vanhempainlomalla tekemään puuttuvat opinnot. Tein mm kirjallisuustutkimuksen Tserno-



Tästä tarinasta voitte lukea
miten elinikäisen oppimisen
kautta olen löytänyt omat
vahvuuteni.



bylin säteilyaltistuksesta Suomen maaperällä ja pitkien puoliintumisaikojen vaikutuksista. Opinto- oikeuden päättymisilmoituksen saatuani totesin että kaikki tarvittavat opinnot oli suoritettu. Sain filosofian maisterin todistuksen sisältäen fysiikan, matematiikan, kemian ja tietotekniikan opinnot lisättynä tarpeellisilla lääketieteen perusopinnoilla. Olin Orionilta siirtynyt Kansallis-Osake-Pankkiin esimieheksi sijoituspankkitoiminnon tietohallintoon. Vahvana osaamisalueenani olivat erilaiset asioiden yhdistämiset tietotekniikan osa-alueella.

Olimme ensimmäistä poikaamme odottaessa ostaneet Hyvinkäältä rivitaloasunnon ja muutimme sinne sen valmistuttua. Asuimme rivitalossa kolmisen vuotta ja aloitimme rakennusprojektin Hyvinkään Vehkojalla. Siinä testattiin pienen lapsen kanssa rakentaminen, rakennusbuumi Suomessa ja tarvikkeiden saatavuuden haasteet. Talo kakso-kerroksinen tiilitalo ja kuvaavaa tilanteelle oli, että portaat yläkertaan saimme, kun olimme jo saaneet rakennusvalvonnalta muuttoluvan.

Lisäopinnot työn ohessa ja toinen rakennusprojekti

Vuosi sen jälkeen, kun olin vihdoon perusopintoni saanut valmiiksi, siirryin Kansallis-Osake-Pankin rahoitusriskien hallintaan apulaisjohtajaksi. Näitä rahoitusriskien laskentaan tarvittavia tietoja ja taitoja hain Markkinointi-instituutista yrityshallintokoulutuksesta. Kahden vuoden koulutuksessa tein englannin kielellä projektityön ”Asset and Liability Management in Bank”. Samaan aikaan olin myös Kauppakorkeakoulussa jatko-opiskelijana. Aika ei vaan ollut minulle vielä kypsä väitöskirjan tekemiseen, vaikka aihe oli kiinnostava pk-yritysten rahoitusvaihtoehtojen suhdannevaihteluissa. Taitaisi olla vieläkin

ihan kiinnostava aihe! Olin pankissa yhdeksän vuotta.

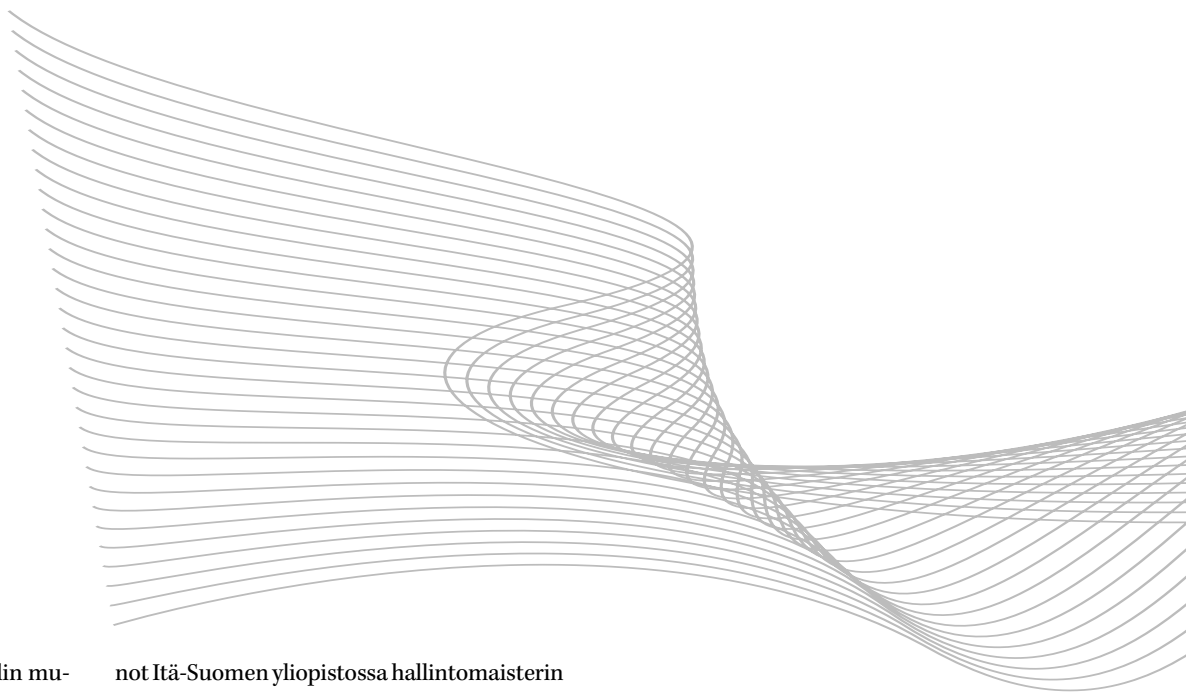
Sen sijaan toinen rakennusprojektimme Hyvinkäällä perustui allekirjoittaneen suunnitelmaan. Saimme myytyä Vehkojan talomme nopeasti, itse asiassa sen osti ensimmäinen katsoja. Hirsinööriin titteli ansaittiin rakentajina aviomiehen kanssa. Hirsitalovalmistaja teki rakennesuunnitelman ja meni konkurssiin. Onneksi aktiivisena henkilönä olin pitänyt huolta kunnan vakuuksista, joten selvisimme rahallisesti. Ainoastaan aikaa meni hukkaan. Asuimme hirsitalossa 15 vuotta.

Pankista siirryin kehityspäälliköksi Telecom alueelle. Olin esimiehenä terveydenhuoltotoimialan asiakasratkaisujen liiketoimintavastaava. Työhöni kuului erilaisten järjestelmien yhdistämistä, projektimenetelmien kehittämistä ja niiden noudattamisen valvontaa sekä tietojärjestelmien määrittelytehtäviä. Telecom – yrityksen kaksi vuotta olivat aktiivisia, sisälsivät mm. Teleregattaa, helikopterilentoja että kanootilla kosken ylitystä.

Näiden kahden vuoden jälkeen jatkoin Telecom toimintaa projektijohtajana Tieto Oyj:ssä pari vuotta. Toimin esimiehenä Mobile - järjestelmiin keskittyneestä tulosyksikössä. Työhöni kuului myös kansainvälisiä projekteja. Suoritin Kauppakorkeakoulussa Account Management – koulutuksen (työnimi ”joko”). Tallinnassa suoritin eMBA – tutkinnon. Järjestäjänä oli Baltic Sea Academy, joka oli Tallinna Technika Ylikooli ja Tampereen Ammattikorkeakoulun yhteisyritys. Työnantaja maksoi minulle nämä koulutukset. Näistä oli hyötyä Baltiassa (Viro, Latvia, Liettua) tehdyssä asiakastyössä.

Tiedosta siirryin Suomen Postiin. Postissa toimin esimiehenä yksikössä, missä tehtävänä olivat sähköisten viestinvälityspalveluiden palvelutuotanto ja liiketoiminnan tarpeisiin





sopivien ratkaisujen kehittäminen. Olin mukana tietohallinnon johtamisessa. Kunnes minut rekrytoitiin johtajaksi Novoon vastaamaan ulkoistuspalveluiden kehittämisessä. Pääsin alkuun ja sitten sain kutsun esimiehen juttusille: toinen henkilö oli palkattu minun jälkeeni mutta sain lähteä. Tämä on esimerkki työlainsäädännön vastaisesta toiminnasta. Nielin kuitenkin harmini ja tuttavien kautta aloitin palvelupäällikkönä KeyPartnersissa. Olin esimies Retail and Finance – yksikössä, sekä lisäksi projektijohtajana J2EE-arkkitehtuuriin pohjautuvassa kanta-asiakasjärjestelmän kehityshankkeessa ja toimin yhdessä vaiheessa myös myyntijohtajana. Yhden vuoden jaksoin ja sitten sanoin itseni irti. Samana päivänä, kun olin itseni irtisanonut, sain työtarjouksen Eläketurvakeskuksesta.

Juristin opinnot työn ohessa ja kolmas rakennusprojekti

Eläketurvakeskuksessa toimin pääosin esimiehenä yksikössä, jonka tehtäviä olivat lähituki, käyttövaltuusasiat ja käyttöpalvelut. Olin asiakasvastuullisena erilaisissa integraatioprojekteissa sekä projektitoiminnan että ICT – arkkitehtuurin ohjaamisessa ja kehittämisessä. Toteutin julkishallinnon hankintalainsäädännön mukaisesti kilpailutettavien hankintojen ohjeiden ja prosessien kehittämistä sekä käytännön hankintojen hoitamista tarjouspyynnöistä sopimusneuvotteluihin. Olin Eläketurvakeskuksen palveluksessa kymmenen vuotta.

Suoritin Eläketurvakeskuksen aikana Finanssi ja vakuutuskoulutus FINVAN vakuutus-tutkinnon ja vuoden mittaisen ETK-akatemian ja siinä projektityön ”Tehokkuuden mittaaminen prosesseissa – kannattako sähköistää?”. Lisäksi aloitin oikeustieteen opin-

not Itä-Suomen yliopistossa hallintomaisterin tutkintoon suuntaavassa opinahjossa. Hankintojen tueksi keskityin siviilioikeuteen, mihin hankinnat laskettiin. Muita aineitani olivat finanssioikeus ja oikeustaloustiede. Kandiditutkintoni lopputyö oli ”Julkishallinnon tilaajan haasteet vakiosopimusehdoissa hankinnassa”. Maisteritutkintoni lopputyö oli ”Rakentamisen tietomalli, huomioitavaa hankinnassa ja ennakoivassa sopimisessa”. Vuonna 2012 minusta tuli erikoisjuristi hallintotieteiden tutkinnon myötä.

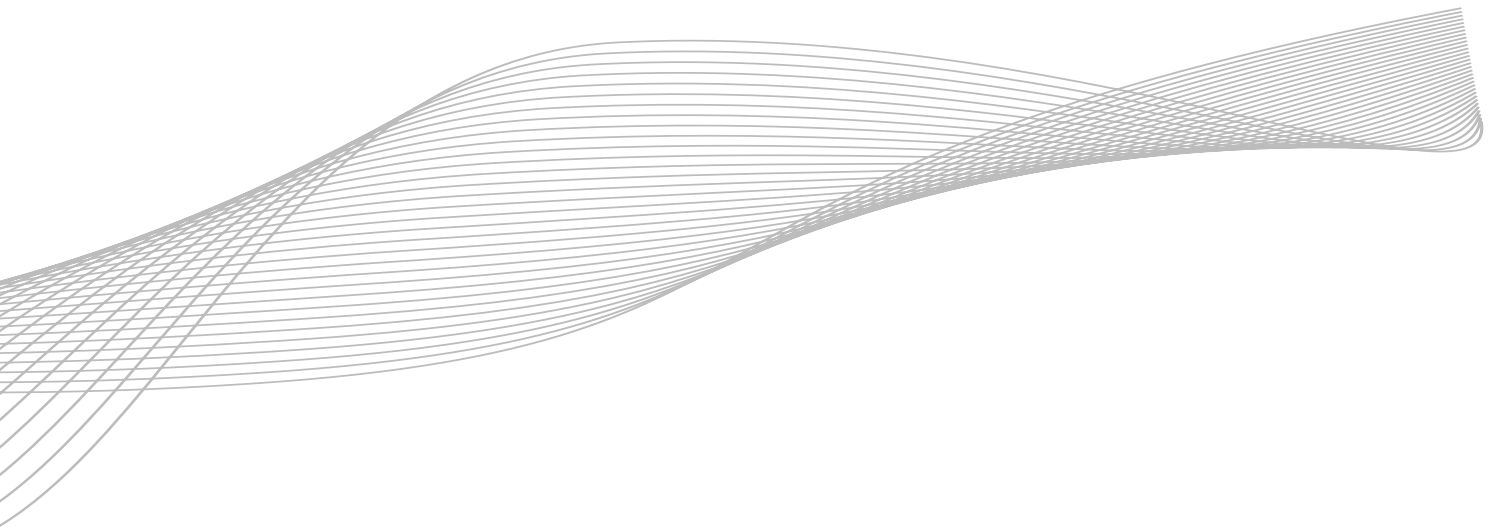
Vuonna 2008 aloitimme kolmannen rakennusprojektimme. Tässä työssä toimin arkkitehtinä. Kyseessä on erillinen saunarakennus ja puolitoista kerroksinen puutalo. Ensin teimme saunarakennuksen, ja se valmistui 2010. Talon rakentaminen alkoi sen jälkeen ja rakennusprojekti kokonaisuudessaan valmistui vuonna 2014. Kun olin opintojeni kautta tutustunut rakentamisen tietomallinnukseen (BIM), niin otin kuvat kaikista työvaiheistamme (mallia tietomalli). Tämä pelasti talon hyväksynnän asutokäyttöön, kun rakennusmestari oli meidät unohtanut.

MAL johtoryhmään ja tiedottajana aloitin vuonna 2013 ja vuonna 2016 minut valittiin puheenjohtajaksi, missä tehtävässä olin vuoteen 2019. Tekniikan Akateemisten valio-kunnissa olin vielä vuonna 2020.

Tohtorintutkinto ja arkkitehdin tehtävät

Sain Eläketurvakeskuksesta rahallisen kädenpuristuksen ja suostuin lähtemään. Muutimme takaisin Tampereelle ja otin suunnakseni opettajan tehtävät. Suoritin Tampereen Yliopistossa vuoden kestävät pedagogiset opinnot. Minulla on fysiikan ja matematiikan lukion opettajan profiili. Vuosien 2015 ja 2016 aikana yliopistossa vedin tietokantaharjoituksia





(SQL) ja pidin tietokantojen luentoja tehtäviä harjoittaen. Valmennusyrityksessä toteutin yhden vuoden ajan lääketieteelliseen pyrkivien fysiikan opetusta, kokeiden pitämistä ja niiden korjauksia. Lisäksi toimin sijaisena peruskoulussa. Syksyllä 2016 totesin kuitenkin, että opettajan tehtävät päätyönä eivät ole minun juttuni. Tampereen johtamiskoulutuksen seminaarin kautta etsin itselleni lokakuussa 2016 harjoittelupaikan Citrus Solution Oy:n. Minut palkattiin henkilökuntaan 5.12.2016 alkaen.

Aloitin väitöskirjaprojektini vuonna 2013 Tampereen Teknillisessä Yliopistossa. Sisään pääsyäni perustui hyvään arvosanaan perusopinnoissani. Ja filosofian maisteritutkinnon johdosta minusta tuli Filosofian tohtori. Mielenkiintoista on että opinnot Tampereen Teknillisessä Yliopistossa olisivat voineet alkaa jo heti ylioppilastutkintoni jälkeen. Asioilla on kuitenkin aikansa. Opinnotni kuluivat linjaan talous ja rakentamisen ympäristö ja sisälsivät tietomallinnusta, rakentamisen tietotekniikkaa, ohjelmistotekniikkaa, tietojohdantaa ja tulevaisuuden tutkimus. Väitöskirjani ”Rakennusvalvonta digitaalisen muutoksen pyörteessä” hyväksyttiin 19.10.2018. Finlaysonin palatsissa oli karonkkani samana päivänä – olin tosi ylpeä kun onnistui väitöskirjani valmiiksi saamaan. Filosofian tohtorin nimikettä sain luvan käyttää alkaen 30.11.2018.

Pitkä tie lakia tuntevaksi arkkitehdiksi

Väitöskirjassani kuvaan tietäni yhdistämällä lainsäädännön, tietotekniikan ja rakentamisen. On hienoa, kun pystyy ydinosaamisiaan hyödyntämään niin kokonaisvaltaisesti. Rakennusvalvonnan toiminta on perustellaan lakiin kirjoitettua. Englannin kielinen julkaisuni vuodelta 2017 on ”Contractual and Ownership Aspects for BIM” (International Research Conference, Salford).

Citruksessa olen tehnyt asiakastöitä arkkitehtina julkishallinnon toimijoille. Päätehtäväni tällä hetkellä on tietoarkkitehdin tehtävät julkishallinnon virastossa. Minun nimeni on ensimmäisenä julkaisussa ”Kokonaisarkkitehtuurin kuvaus: Kehitetään ikäihmisten kotihoitoa ja vahvistetaan kaiken ikäisten omaishoitoa” (<http://urn.fi/URN:IS-BN:978-952-00-4006-2>).

Viisi vuotta tulee täyteen nykyisen työnantajan palveluksessa. Jos on mahdollista niin lakia soveltavan arkkitehdin tehtävät jatkuvat tästä eteenpäinkin kun on aika miettiä muita tuulia. Elinikäinen oppiminen on edelleenkin vahvuuteni. Aloitin asuntoyhtiömme hallituksen puheenjohtajana kuukausi sitten. ●



OPIskelemaan



Kirjoittaja LHC-tunnelissa häviöilmaisimien kytkentöjä tarkastamassa.

Lähdin Helsingin yliopistoon opiskelemaan tähtitiedettä. Vuosituhannen alussa opiskelu oli nykyistä paljon vapaampaa, joten valitsin opintoihini sekalaisia kursseja fysiikasta, teoreettisesta fysiikasta, tähtitieteestä, geofysiikasta, sekä tietojenkäsittelytieteestä. Fysiikan opiskeluni painottui kokeelliseen fysiikkaan, mittaustekniikkaan, sekä hiukkasfysiikkaan.

Toisen opiskeluvuoden jälkeen pääsin kesäharjoittelijaksi ja myöhemmin tutkimusavustajaksi yliopiston Seismologian laitokselle. Työtehtäviini kuului erilaiset ohjelmointitehtävät C++ ohjelmointikielellä, sekä osallistuminen seismisten asemien huoltotehtäviin. Olin mukana myös uuden seismisen mitta-aseman perustamiseen Olkiluodon Onkalo-työmaata varten.

Varsinaisesti päädyin hiukkasfysiikoksi kesätöiden kautta. Tulin valituksi yhdeksi Fysiikan tutkimuslaitoksen kesäopiskelijaksi Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuslaitokselle Cerniin TOTEM-kokeeseen. Tuohon aikaan LHC-kiihdytintä oltiin vielä rakentamassa, joten pääasialliset työtehtäväni liittyivät ohjelmistosuunnitteluun ja mallinnukseen.

Koska Cernin kiihdytin ei ollut vielä käytössä, Pro Gradu -tutkielmani liittyi sen ajan tehokkaimman käytössä olevan Tevatron-hiukkaskiihdyttimen CDF II -kokeeseen. Kiihdytin sijaitsi Yhdysvalloissa Chicagon lähellä Fermilab-tutkimuslaitoksella. Tutkielmani aiheena oli kokeen pii-ilmaisimien mallintaminen.

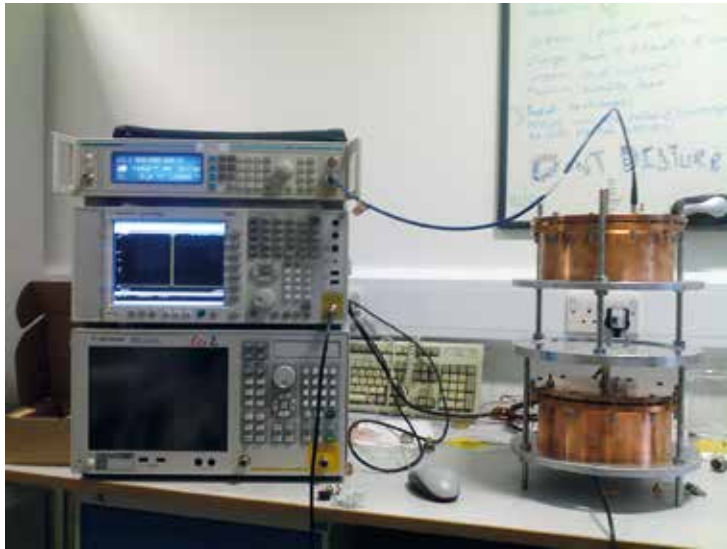
Pienen pohdiskelun jälkeen päädyin jatko-opiskelijaksi Fysiikan tutkimuslaitokselle. Olin mukana projektissa, joka suunnitteli aikaprojektioammiota Saksaan rakenteilla olevan FAIR-tutkimuslaitoksen PANDA-antimateriaalilaitokseen. Fysiikan tutkimus-

laitoksen painotus FAIR-osallistumisessa kuitenkin muuttui parin vuoden aikana, joten siirryimme osaksi NuSTAR-koetta, joka tutkii ydinfysiikkaa suprajohtavalla fragmenttiseparaattorilla. Väitöskirjatutkimukseni painottui GEM-TPC ilmaisimien mallinnuksen lisäksi, GEM-kalvojen optiseen laadunvalvontaan ja konenäkösovelluksiin.

Pimeää ainetta etsimässä

Väitöstilaisuuden jälkeen suuntasin Iso-Britanniaan Lancasterin yliopistoon. Varsinainen työpaikkani oli tällöin Cockcroft-instituutti, joka on Lancasterin, Manchesterin, Liverpoolin, ja nykyisin myös Strathclyden yliopistojen yhteisinstituutti. Se sijaitsee Britannian Tiede- ja teknologialaitosten neuvoston STFC:n kampuksella Warringtonin Daresburyssä. Instituutissa tutkitaan ja kehitetään hiukkaskiihdytinteknologiaa, sekä sen sovelluksia.

Tutkimuksen lisäksi instituutti tarjoaa koulutusta jäsenyliopistojen opiskelijoille, sekä järjestää kiihdytinfysiikan kursseja, seminaareja ja konferensseja. Tämä tarjosi myös minulle hyvän mahdollisuuden opetella kiihdytinfysiikan teoriaa ja menetelmiä. Tämä on osoittautunut todella hyödylliseksi myöhemmissä työtehtävissäni.



Piilosektorin hiukkasia etsivä mittalaitteisto laboratorion pöydällä.



Daresburyn laboratorio sijaitsee maaseudulla kanavan varrella.

Työssäni kehitin mittaussjärjestelmän, jolla voidaan havaita hypoteettisia piilosektorin hiukkasia, pimeitä fotoneja. Teorian mukaan on mahdollista, että piilosektorin hiukkaset vuorovaikuttavat näkyvän valon kanssa. Tätä voidaan tutkia esimerkiksi virittämällä kiihdytinkaviteetti, joka värähtelee tietyllä taajuudella. Mikäli tällaisen kaviteetin viereen asetetaan toinen identtinen kaviteetti, vuotaa kuormitettu kaviteetti myös rinnakkaiseen kaviteettiin. Jos tyhjän kaviteetin ympärille rakennetaan suojaus, ainoastaan piilosektorin fotonit voivat kulkeutua kaviteettiin. Niiden kytkeytyminen tavalliseen valoon aiheuttaa ilmaisinkaviteetin täyttymiseen. Tällöin ilmaisinkaviteetista kyettäisiin lukemaan signaalia, joka erottuisi taustasta selvästi. Koska lämpösäteily kykenee virittämään kaviteetit, tulee ilmaisinkaviteetti laittaa kryostaattiin.

Suuri hadronitörmäytin

Cernillä on omat ohjelmat opiskelijoille ja tohtorin tutkinnon suorittaneille. Hain Cernin tutkijaohjelmaan ennen kuin kahden vuoden sopimukseni Lancasterin yliopiston kanssa oli ehtinyt tulla päätökseen. Hieman myös omaksi yllätyksekseni tulini valituksi ryhmään, jonka vastuulla oli Suuren hadronitörmäytin, eli Cernin LHC-kiihdyttimen hiukkassuihkun häviöilmaisimet.

Häviöilmaisimien tehtävä on pitää LHC:n hiukkassuihkusta ulosvuotavan energian määrä riittävän pienenä, jotta yhdenkään yli 1200 magneetin lämpötila ei nouse yli kriittisen rajan. Suprajohtavuuden äkillinen häviäminen voisi johtaa ketjureaktioon, joka voisi johtaa samanlaisiin vaurioihin kuin mitä tapahtui 2008 LHC:n ensimmäisen käynnistuksen yhteydessä.

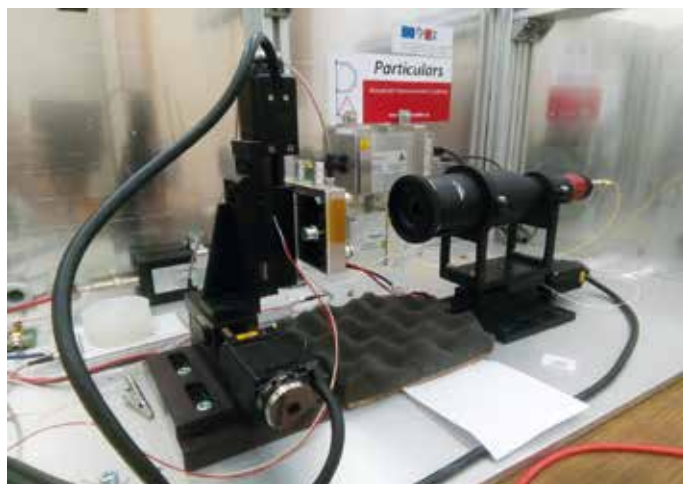
LHC:ia suojaa lähes 4000 häviöilmaisinta. Ne ovat tyypittäytteisiä ionisaatiokammioita, joita on sijoitettu 27 kilometrin kiihdytinen renkaan eri alueille. Jokaisella ilmaisimella on 12 aikaikkunaan jaetut kynnysarvot, joiden ylittyessä suihku ohjataan välittömästi ulos LHC:ista. Arvot riippuvat ilmaisimien sijainnista.

Aloittaessani Cernissä ensimmäinen pitkä huoltokatko oli juuri päättymässä. Tämän aikana yli 800 ilmaisinta oli uudelleensijoitettu häviöt paremmin havaitsevaan paikkaan. Lisäksi sekä häviöteoriat ja simulaatiomallit olivat parantuneet, joten kaikki arvot oli laskettava uudelleen. Tämän lisäksi valmistelimme uutta ohjelmistoa, jolla arvot saadaan ajettua LHC:n ohjainjärjestelmään. Tehtävinäni olisin osallistua työryhmän kokouksiin, joissa suunnittelimme muutokset, esitellä muutokset laitteistonsuojeluraadille, sekä LHC:n ohjausneuvostolle, ja lopuksi ajaa muutokset kiihdyttimen ohjausjärjestelmään. Lisäksi ohjasin uuden sovelluksen kehitystä.

Kroatian valtiollinen tutkimuslaitos

Ruder Bošković -instituutti (RBI) on Kroatian pääkaupungissa Zagrebissa sijaitseva valtiollinen tutkimuslaitos. Se on myös Kroatian suurin tutkimuslaitos noin 850 työntekijällään. Tutkimusalat kattavat fysiikan, kemian ja biotieteiden lisäksi ympäristö- ja merien tutkimuksen.

Kroatia on yksi maista, joita kannustetaan hakemaan rahoitusta EU:n ERA Chair -ohjelman kautta. Ohjelman tarkoituksena on kehittää uusien jäsenvaltioiden tutkimusinfrastruktuuria tarjoamalla mahdollisuuden palkata ulkomaisia osaajia kehittämään ja toteuttamaan rakenteellisia muutoksia olemassa oleviin tutkimusympäristöihin.



Projektin aikana laboratorioon hankittuja puolijohdeiden karakterisoinnissa käytettäviä laitteita.

Cernin jälkeen päädyin RBI:n PaRaDeSEC (Particle and Radiation Detectors, Sensors and Electronics in Croatia) ERA Chair -projektiin tutkijaksi. Projektin tarkoituksena oli kehittää instituuttiin laboratorio, jossa olisi laitteisto puolijohdeilmaisimien tutkimiseen. Pääasiallisena kohteena oli tukea jo olemassa olevan kroatialaisen Cernin CMS-kokeeseen osallistuvan ryhmän toimintaa.

Takaisin lähtöpisteeseen

Kroatian jälkeen oli aika palata Suomeen. Vanhin lapseni oli täyttänyt seitsemän ja hänen oli aika aloittaa koulutiensä. Pohdimme eri vaihtoehtoja ja totesimme Suomeen paluun olevan paras vaihtoehto. Päädyin ensi Aalto-yliopistoon QCD-ryhmään, joka tutkii kvanttietokoneiden komponenttien kehittämistä ja sovelluksia. Pestini Aallossa jäi kuitenkin lyhytaikaiseksi, kun sain tarjouksen Fysiikan tutkimuslaitokselta. Pätäkätöiden sijaan sain toistaiseksi voimassa olevan työsopimuksen yliopistotutkijana Ilmaisinelaboratoriossa, eli paikassa, jossa olin tehnyt väitöskirjani. Vaikka olin takaisin tutussa paikassa, aloitus oli jotain muuta kuin olin kuvitellut. Ehdin olla viikon uudessa työpaikassani, kunnes koronavirus pakotti siirtymään etätöihin.

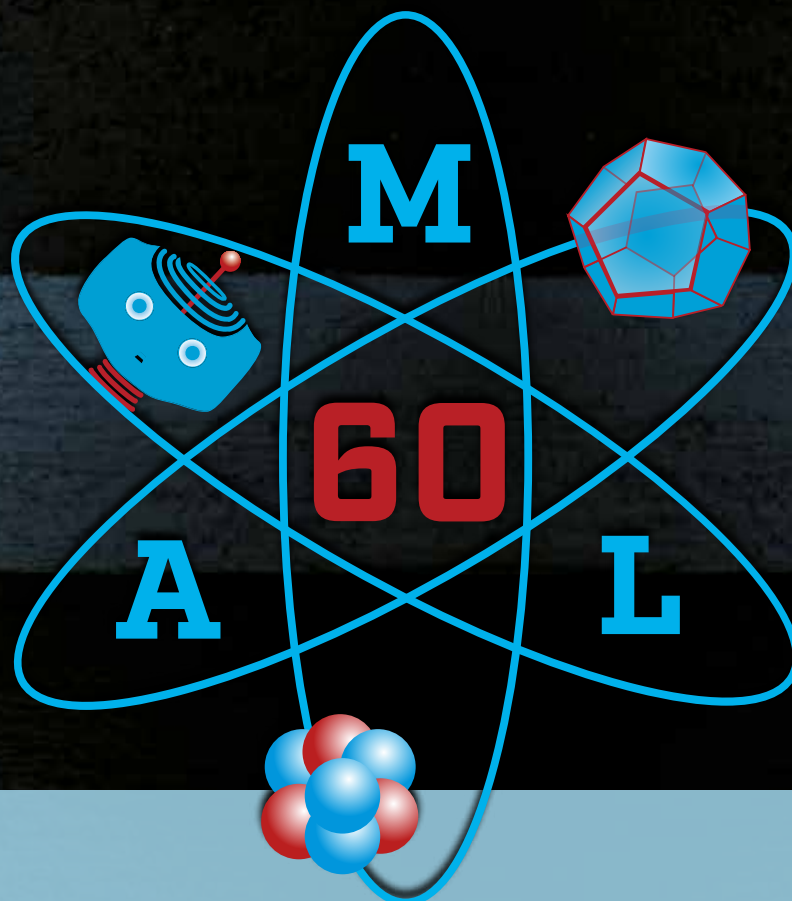
Edellisen yhdeksän vuoden aikana muutin viisi kertaa neljään eri maahan ja olen työskennellyt viidessä eri työpaikassa. Molemmat lapseni ovat syntyneet ulkomailla, joten jokainen muutto oli aina edellistä hankalampi. Työpaikan lisäksi tuli aina selvittää perheen sopeutuminen uuteen ympäristöön. Uudessa maassa asunnon etsiminen alueelta, jota ei tunne lainkaan oli aina oma työnsä.

Koska sopimukset ovat yleensä kaksi- tai kolmivuotisia, tulee uuden työpaikan etsintä aloittaa jo ensimmäisen työvuoden jälkeen. Tällöin pitäisi kuitenkin pystyä keskittymään tuloksiin, joiden perusteella olisi ylipäänsä mahdollista hakea uutta työtä.

Kaikesta huolimatta ulkomailla työskenteily on ollut hyödyllistä. Eri työkuultuureihin tutustuminen antaa uusia ideoita ja näkökulmia nykyisen työn kehittämiseen. Lisäksi kaikki uusi osaaminen auttaa myös nykyisten projektien kehittämisessä edelleen. Ulkomailla saadut kontaktit ovat osoittautuneet tärkeiksi uusien avauksien luomisessa.

Laaja-alainen yliopistotutkinto on osoittautunut hyödylliseksi uusiin tutkimusryhmiin siirtyessä. Vaikka uusi tutkimuskohde ei kuuluisi suoraan oman aikaisemman tutkimuksen aihepiiriin, on se helpompi sitoa kokonaisuuksiin, kun pohjatiedot ovat riittävät. Lisäksi hyvä kielitaito auttaa sopeutumaan uuteen ympäristöön nopeammin. ●

Koska sopimukset ovat yleensä kaksi- tai kolmivuotisia, tulee uuden työpaikan etsintä aloittaa jo ensimmäisen työvuoden jälkeen.



MAL (Matemaattis-luonnontieteellisten alojen akateemisten liitto) on vuonna 1961 perustettu järjestö, joka edustaa akateemisia matemaatikoita, fyysikoita ja tietojenkäsittelyn ammattilaisia.

MALin jäsenet toimivat matemaattis-luonnontieteellistä asiantuntemusta vaativissa tehtävissä sekä yksityisellä että julkisella sektorilla.

MALin jäsenet ovat samalla Tekniikan Akateemisten Liitto TEKin jäseniä.

MAL, aikaisemmalta nimeltään SMFL, toimi aluksi itsenäisenä akavalaisen liittona, kunnes se päätti vuonna 1983 liittyä TEKiin (STS/KALiin). Yhdistymisen jälkeen MALin jäsenten edunvalvonnan on hoitanut TEK.

Yhdistymisen jälkeen MAL on jatkanut ammatillis-aatteellista toimintaa. Tässä toiminnassa MAL TEKin tuella toimii jäsenten ammattipätevyyden kehittäjänä ja luonnontieteellisen ajattelutavan edistäjänä.

MAL järjestää jäsenilleen koulutus-, tiedotus- ja keskustelutilaisuuksia sekä tutustumiskäyntejä alan yrityksiin ja laitoksiin.



{MAL}

ISBN: 978-952-94-6792-1

Julkaisija:

Matemaattis-luonnontieteellisten
alojen Akateemiset ry