

MAT

LEHTI 3-2023

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLISTEN ALOJEN AKATEEMISET

00
100
14

MAL ja TEK yhdessä 40 vuotta

Kouluopetuksen seminaarisarjan
satoa



Onko mielessäsi hyvä jutun aihe?
Muistissa hauska tai haastava työjuttu?
Oletko lukenut mielenkiintoisen kirjan,
joka kiinnostaisi kenties myös kollegoita?

Kirjoita tai ideoi juttu MAL-lehteen!

Lehteen tarvitaan eri pituisia ja eri aiheisia kirjoituksia jatkuvasti ja kaikenlaiset alaa sivuavat jutunaiheet ovat tervetulleita!

Tartu kynään ja kirjoita lehteemme artikkeli haluamasi aiheesta. Jutun pituus 2500-6000 merkkiä ja lisäksi kuva/kuvia mahdollisuuksien mukaan.

Eryyisesti toivomme saavamme uratarinoita, mutta myös aivan vapaamuotoiset muut kirjoitukset sopivat lehteemme.

Kirjoittamasi artikkelin voit lähettää lehteemme päätoimittajalle **Suvi Lahdenmäelle** (suvi.lahdenmaki@gmail.com) ja/tai MALin tiedottajalle Ilkka Norrokselle (tiedottaja@mal-liitto.fi).

Jos et itse halua kirjoittaa artikkelia, mutta sinulla on kiinnostava aihe, niin senkin voi lähettää edellä mainituille henkilöille. Etsimme sitten sopivan kirjoittajan. •

MALin toimintaa

Edellisen MAL-lehden jälkeen tapahtunutta:

- Koronan viivästyttämä MALin ekskursio Kajaaniin toteutui 12.-13. lokakuuta.
- Mahtavaa matematiikkaa teemapäivän puitteissa MAL tarjosi jälleen ilmaisia matemaatikkelokuvanäytöksiä keskustelun kera.
- MALin gradupalkinnon sai Ilkka Suuronen Turun yliopistosta.
- MAL (tuolloin SMFL) päätöksestä yhdistyä TEKiin (tuolloin KAL) tuli marraskuussa kuluneeksi 40 vuotta, ja tämän kunniaksi järjestettiin seminaaritalaisuus.

Näistä kaikista löytyy tietoa tästä MAL-lehden numerosta.

{MAL} 3-2023

MAL ja TEK yhdessä 40 vuotta	4
Vaikuttava yhteistyö yliopistossa	5
Vihreään siirtymään tarvitaan muutakin kuin matematiikkaa - mutta ennen kaikkea matematiikkaa	7
Parkinsonin taudin tunnistaminen EEG-datasta	9
Matematiikan ja luonnontieteiden osaaminen nousee kouluopetusta kehittämällä	10
Paneelikeskustelu matematiikan osaamisesta Tampereella	11
MAOL ²	13
MAL tutustui huippututkimukseen Kajaanissa	14
Mooren laki ei ole luonnonlaki	16
Suomen kielen asema tieteen ja tutkimuksen kielenä	19
Gunnar Nordström - suhteellisen merkittävä teoreetikko	21
Teollisen vallankumouksen alkupiste	23

PUHEENJOHTAJA



Matematiikan ja luonnontieteiden soveltamisella joustavuutta ongelmien ratkaisemiseen

Matematiikan ja luonnontieteiden kouluissa saavutettavan oppimistason heikentyminen on johtanut kasvavaan huoleen tutkimuksen ja talouden toimikyvyn säilymisestä. Joulukuussa 2023 julkistettu PISA-tulosten odotettu romahtaminen nosti ongelmat yhä voimakkaammin julkiseen keskusteluun. Ratkaisujen pohtiminen oli jo käynnissä kouluopetuksen valtakunnallisessa seminaarisarjassa, joka esitti opetuksen kaikille tasoille juurihoitoa.

Suomen energiasäätöjärjestelmän ongelmat maamme välttämättömän energiantarpeen huolehtijana ovat myös korostuneet alkuvuoden aikana. Sekään ei ole yllätys: Suomen leveysasteilla kesän ja talven väliset erot vaativat monipuolisia energiaratkaisuja. Vihreää sähköä tuotetaan jo ylimäärin kesällä, mutta silti se ei riitä talven pakkasilla. Akut ja pumppuvoimalat ovat nimenomaan säästövoimaa, joka ei riitä vuodenaikojen välisten erojen hallintaan. Talven pakkasjaksot ovat tässä vaikeimpia. Tämän talven pakkasjaksot osoittivat, että huolimatta suurista sähkön säästöistä sähkömarkkinat eivät pystyneet hoitamaan tilannetta, kun tuulivoimaa ei juuri ollut. Sähkön puute taas johti pörssisähkön rajuihin hintavaihteluihin. Ydinvoimaloiden lisärakentamisella voitaisiin hoitaa talviolosuhteet, mutta kesällä talvelle suunniteltu kapasiteetti on turhan suuri. Varastointi lämpönä on välttämätöntä ja siihen olisi järkevää liittää myös aurinko- ja geotermistä lämpöä sekä CHP-tuotantoa. Pienydinvoimaloita joutuu vielä odottelemaan muutamia vuosia. Vihreästä sähköstäkin seuraa haittoja luonnolle: aurinkopaneelit, tuulivoimalat ja siirtolinjat vievät metsää pois muusta käytöstä ja heikentävät ratkaisuja hiilen kiertokulun varmistamiseen. Vety on energiavarasto ja sille on kyllä käyttöä, mutta vetytalouteen on pitkä matka.

Kolmas ongelma on hyvinvointialueiden rahoitusvaikeudet, mutta ehdotetuilla leikkauksilla ei saavuteta todellista säästöä. Ihmiset säilyttävät toimintakykynsä pitkään, jos ravinto, liikunta ja palautuminen säilyvät tasapainossa ilman stressiä. Tähän päästään ainoastaan ennaltaehkäisyä vahvistamalla ja siinä lähellä oleva terveydenhuoltoverkosto olisi hyvä edistäjä. Hoitoyksiköiden leikkaukset ja hoidon keskittäminen katkaisevat tämän tuen. Vanhenevan väestön hoitotarpeen kasvua tulisi kaikin keinoin rajoittaa.

Tässä lehdessä esitetyissä seminaarisarjan johtopäätöksissä painopiste on tutkimuksen ja teollisuuden osaajatarpeen vaatimista toimista. Erilaisten energiasäätöjärjestelmien ja hyvinvointialueiden hallinnassa on sama osaajaongelma. Tarvitsemme matematiikkaa ja luonnontieteitä soveltavia uusia ratkaisuja eri aloille ja myös itsellemme.

- Esko Juuso

PÄÄTOIMITTAJA



Tieteen puolella

Tätä kirjoittaessa on menossa presidentinvaalien ensimmäinen kierros. Kilvasta on tulossa galluppien perusteella tiukka. Tällä kertaa ei ole tullut seuratuksi juurikaan tenttejä (koska oma ehdokas on jo selvillä) ja mietinkin, miten paljon niissä on kysytty tieteen ja opiskelun merkityksestä.

Tässä lehdessä julkaistussa juhlapuheessa Arto Maaninen tuo esiin sen, miten yritysten tuki tieteelle on vähentynyt. Tiede ja tieteen tekijät ovat muutenkin vaikeuksissa tänä totuuden jälkeisenä aikana, jossa uskotaan suurin joukoin erilaisiin foliohattuteorioihin ja tekoälyllä tuotettuihin videoihin mieluummin kuin tieteilijöiden ja tutkijoiden vuosien työn tuloksiin. Keskittymiskykyä haastava aika ei arvosta pitkäjänteisyyttä. Toivottavaa olisi, että tuleva presidentti suhtautuu tieteeseen ja sen tekijöihin arvostaen ja tukien, samoin kuin seisoi koulutuksen ja opetuksen puolella. Helmikuussa tiedetään, kuka johtaa maata ainakin seuraavat kuusi vuotta. Elämme jännittäviä aikoja.

Tässä lehdessä palataan MAL:n ja TEK:n yhteistyön 40-vuotisjuhlan tunnelmiin sekä kouluopetuksen seminaarisarjaan. Samoin saadaan lukea, miltä näyttää Kaajaanin saatu CSC:n LUMI-supertietokone. **Niklas Hietalan** artikkeli kertoo fyysikko **Gunnar Nordströmistä**, jonka kuolemasta tuli viime joulukuussa 100 vuotta. Lisäksi luettavaa on kielitieteilijä **Janne Saarikiven** esittely suomen kielen asemasta opiskelukielenä ennen ja nyt.

Hyviä kevättalvisia lukuhetkiä!

- Suvi Lahdenmäki

MAL ja TEK yhdessä 40 vuotta

Suomen matemaatikko- ja fyysikkoliitto (SMFL), nykyiseltä nimeltään MAL, päätti syksyllä 1983 liittyä yhteen Korkeakoulu-insinöörien ja -arkkitehtien keskusliiton (KAL), nykyisen TEKin, kanssa. Tämän onnistuneen päätöksen 40-vuotispäivän kunniaksi järjestettiin 1.11.2023 pieni seminaari ja juhlatilaisuus Ostrobotnialla.

MALin puheenjohtajan **Esko Juuson** avattua tilaisuuden TEKin toiminnanjohtaja **Jari Jokinen** piti tervehdyspuheen, jossa hän korosti matematiikan ja luonnontieteiden merkitystä osaamisen perustana ja menestyksen pohjana: ”Suomen vientiteollisuus perustuu pitkälti teknologiaan, joka vaatii korkeaa matematiikan ja luonnontieteellisten aineiden osaamista. Matemaattinen sivistys ei kuitenkaan tapahdu itsestään, vaan sen tasosta on pidettävä huolta.” Jokinen kiitti lämpimästi ”MALin sitoutuneita ja sitkeitä aktiiveja, teitä, jotka olette pitäneet tinkimättömästi esillä matematiikan merkitystä”.

Jokinen oli tyytyväinen hallituksen 280 miljoonan lisäykseen vuoden 2024TKI-panostukseen sekä LUMA-strategian toimeenpanoon, joka vahvistaa oppilaiden matematiikan ja luonnontieteiden valmiuksia kaikilla koulutusasteilla. Samalla hän muistutti, että työ ei ole vielä läheskään tehty, kun suomalaisten nuorten sijoitus PISA-testeissä laskee, poikien vielä erityisen huolestuttavasti.

MALin **Konsta Karioja** arvioi LUMA-aineiden digitalisointia sekä uhkana että mahdollisuutena. Esko Juuso käsitteli matematiikan kouluopetuksen valtakunnallista seminaarisarjaa. Tavoitteena on kerroksittain rakentuva osaamisen kehittyminen, jonka pohja luodaan jo varhaiskasvatuksessa. Motivaation vahvistaminen on keskeistä vaiheittaisesti kouluasteisiin sovitussa oppimisessa kohti itsenäistä työskentelyä. Jäsenyysvastaava **Vesa Taskinen** esitteli TEKin vahvistunutta opiskelijatoimintaa tiedeyliopistokentässä.

Seminaarin annista julkaisemme ohessa **Arto Maanisen** juhlapuheen sekä **Jussi-Pekka Teinin** esitelmän vihreän siirtymän vaatimasta matematiikan osaamisesta. Tästä numerosta löytyy myös laajennettu versio Esko Juuson esitelmästä.

Jari Jokinen ja TEKin yhteiskuntasuhdejohtaja **Juhani Nokela** jakoivat juhlassa TEKin ansiomerkkejä MALin aktiiveille. Jetonin saivat **Pekka Koivisto**, **Katja Lauri** ja **Lasse Paajanen**, kultaisen ansiomerkkin Esko Juuso, **Jyri Jämsä**, **Merja Korpela**, **Pirjo Silius-Miettinen** ja **Raimo Voutilainen**, ja hopeisen **Lasse Kähärä**, **Ilpo Mäkinen**, **Ilkka Norros** ja **Marja Penttilä**. •



TEKin toiminnanjohtaja Jari Jokinen.



Lasse Paajanen, viiri ja Esko Juuso.



Vaikuttava yhteistyö yliopistossa

Arvoisa juhlayleisö, arvoisat tilaisuuden järjestäjät, kollegat ja ystävät,

Minulla on suuri kunnia pitää juhlapuhe tässä illallis-tilaisuudessa, jossa juhlistamme Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset ry:n ja Tekniikan Akateemiset ry:n 40 vuotista yhteistyötä. Toimin Oulun yliopistossa yhteistyösuhteista vastaavana vararehtorina ja tänä iltana puhun teille vaikuttavasta yhteistyöstä yliopistossa. Yliopistojen kolmas tehtävä, yhteiskunnallinen vuorovaikutus tai vaikuttavuus ympäröivään yhteiskuntaan on nostanut voimakkaasti merkitystään viimeisten kahden – kolmen vuoden aikana. Tästä näkyvänä esimerkkinä on muun muassa se, että tänä päivänä yli puolessa Suomen yliopistoja on niin sanottu yv-johtaja tai vararehtori. Lisäksi yhteiskunnan kiinnostus on vahvasti keskittynyt tähän kolmanteen tehtävään.

Yliopistot tuottavat osana kansainvälistä tiedeyhteisöä uutta tieteellistä tietoa ja siihen perustuvia ratkaisuja, sekä kouluttavat tulevaisuuden osaajia kestävämmän, älykkäämmän ja inhimillisemmän maailman rakentamiseksi.

Maailma muuttuu. Välillä hitaammin ja ennustetavasti ja toisinaan kriisien kautta nopeasti yllättäen. Vain muutos ja sopeutuminen siihen pysyvää. Sen me yliopistolaisina hyvin tiedämme ja teemme yhteisönä töitä tieteen ja koulutuksen keinoin juuri sen eteen, että ymmärrämme muuttuneita tilanteita ja pystymme yhteiskuntana kestävällä tavalla sopeutumaan muutoksiin. Sivistys kantaa kriisien yli. Parhaimmillaan työemme tukee sitä, että pystymme estämään tai lieventämään ei-toivottuja ilmiöitä, kuten ilmaston lämpenemistä, nälkää tai eriarvoisuutta. YK:n kestävä kehityksen globaali toimintaohjelma toimii erinomaisena ohjenuorana sille, mitä tavoittelemme.

Tieteellinen tutkimus voidaan jalkauttaa tehokkaasti vaikuttamaan yhteiskuntaan ja siksi yhteiskunnan tarpeet tuleekin integroida vahvasti tutkimukseen. Yliopistot toimivat tärkeinä osina alueellista innovaatiojärjestelmää ja alueiden hyvinvoinnin tukeminen tekee yliopistoista alueellisen kestävä kasvun moottoreita. Yliopistojen erityinen vahvuus on tuoda tiede ja yhteiskunnan eri toimijat lähemmäksi toisiaan. Tätä tehdään aktiivisesti arjessa alueellisten ja kansallisten hankkeiden sidosryhmytyksessä, mutta erityisesti osana monikansallisia projekteja. Työtä tehdään vahvalla tahtotilalla ja tuloksekkaasti.

Yrityksillä on suuri tarve korkean osaamisen työvoimaan, mutta työvoiman saatavuus on kriittinen haaste ja osaajista tulee olemaan yhä kovenevaa kilpailua. Kansainvälisten osaajien saaminen Suomeen



on tulevaisuudessa välttämätöntä, ja yliopistot ovat tässä merkittävimpiä vetovoimatekijöitä. Työvoiman tarpeeseen voidaan vastata myös elinikäisen oppimisen kautta. Luomalla kansainvälisiä verkostoja voimme vaikuttaa myös alueen yritysten kilpailukykyyn. Näihin haasteisiin ja mahdollisuuksiin tulee hakea aktiivisesti ratkaisuja, purkaa pullonkaloja ja löytää toimivampia toimintamalleja. Toimintaympäristön tuntemus ja ymmärrys sen muutoksesta on kriittisen tärkeää.

Yliopistojen kolmannelta tehtävästä

Yhteiskunnan kiinnostus on keskittynyt vahvasti yliopistojen kolmanteen tehtävään, vaikuttavuuteen ympäröivään yhteiskuntaan. Tiedeyhteisö tekee vaikuttavuutta monin eri tavoin. Alastalo, Kunelius ja Muhonen (Teoksessa Tutkimuksen kansallinen tehtävä, vuodelta 2014, sivut 119 – 149) ovat luonnostelleet viisi vaikuttavan tieteen mielikuvastoa, joissa tutkimuksen vaikuttavuus käsitellään eri tavoin: 1) innovaatiotiede, 2) huipputiede, 3) evidenssitiede, 4) professiotiede ja 5) julkinen tiede.

Innovaatiotiede kohdentuu markkinoihin ja talouden ja siinä luvataan talouskasvua ja kilpailukykyyn parantumista ja hyvyttä mitataan rahalla, patenteilla, keksinnöillä, uusilla tuotteilla ja start-up -yrityksillä.

Huipputiede on se, mihin perinteisesti pyrimme akateemisessa maailmassa. Siinä vaikuttavuuden kenttä on kansainvälinen tieteen kenttä ja meitä mitataan tieteen edistymisen, maineen ja vertaistunnustuksen kautta kansainvälisten huippujulkaisujen, huippuyksiköiden ja tieteen arviointien avulla.

Evidenssitieteessä vaikutus ymmärretään tutkimustiedon hyödyntämiseksi päätöksenteossa ja siinä mittarina toimivat muun muassa hyvät käytännöt ja rationaalinen päätöksenteko.

Professiotieteessä vaikuttavuus määrittyy tieteen roolina uusien ammatillisten käytäntöjen ja pätevyysien tuottajana. Se perustuu humboldtilaiselle traditiolle tutkimuksen ja opetuksen yhteydestä, ja vaikuttavuuden tärkeimpänä keinona nähdään uusien ammattilaisten kouluttaminen, uudet pätevyudet ja menettelytavat.

Viidennessä eli julkisessa tieteessä vaikuttavuuden kohteena on kansalaiset ja kansalaisyhteiskunta. Osallistamalla kansalaisia luodaan yhteistä hyvää. Tämä voidaan nähdä myös kansalaisten ja tieteen vuoropuheluna.

Tutkimusorganisaatioiden yritys-yhteistyöstä

Elinkeinoelämän ja tutkimusorganisaatioiden vahva yhteistyö on ollut suomen menestyksen perusta jo usean vuosikymmenen ajan. Työ- ja elinkeinoministeriön raportti vuodelta 2021 - *Yritysten ja tutkimusorganisaatioiden vuorovaikutus Suomessa - erityisnäkökulmana yritys-yliopisto yhteistyö*, luo mielenkiintoisen katsauksen yhteistyön nykytilanteeseen ja suosittaa myös useita kehitystoimenpiteitä.

Yritysten TKI-rahoituksen osuus yliopistojen tutkimusmenoista on laskenut jatkuvasti vuodesta 2008 alkaen. Tuolloin kahdeksan prosenttia yliopistojen tutkimusrahoituksesta tuli yrityksiltä. Vuonna 2017 osuus oli laskenut jo alle neljään prosenttiin ja vuonna 2019 se oli 3,8 prosenttia. Samalla rahoituksen määrä on laskenut 81 miljoonasta 54 miljoonaan euroon. Tämä tarkoittaa, että vuosien 2008 ja 2019 välisenä aikana yrityksistä yliopistolle tuleva t&k-rahoitus kuitistui noin 46 prosenttia. Kehitettävää siis riittää ja tähän saadaan varmasti muutos myös uuden 4 prosentin TKI lain myötä. Yliopistoilla on nykyisin rooli kaikissa innovaatioprosessin vaiheissa perus- ja soveltavasta tutkimuksesta kehittämiseen ja edelleen lähempänä markkinoita oleviin vaiheisiin, ei vain alkuvaiheen tiedon tuottamisessa.

Meidän yliopistolaisten kannalta huojentava tieto on, että yritykset eivät ensisijaisesti odota yliopistoilta jonkin yksittäisen konkreettisen ongelman ratkaisemista tai innovaatioiden aikaansaamista, vaikka tällainen käsitys välittyy usein julkisissa keskusteluissa. Yhteistyö pikemmin parantaa yritysten näkyvää tutkimukseen ja uusiin teknologioihin sekä auttaa arvioimaan uuden osaamisen sovellettavuutta omassa liiketoiminnassa jo varhaisessa vaiheessa.



Yliopistoilla on omat syynsä yhteistyöhön. Ne kehoittavat lisärahoitusta tutkimukseen ja infrastruktuurin kehittämiseen, hankkivat yhteistyökokemusta, edistävät tutkijoiden ja opiskelijoiden työllistymismahdollisuuksia sekä saavat uusia tutkimusaineistoja ja apua uusien tutkimusaihioiden identifioimisessa. Yhteistyö vauhdittaa myös tutkimustulosten jatkosoveltamista ja saattamista lähemmäksi käytäntöä. Listasin Oulun yliopiston yritys yhteistyön muotoja, ja pääteemojen, opiskelija-, koulutus-, tutkimus- ja innovaatioyhteistyön alle tuli yhteensä 30 erilaista yhteistyön muotoa. Kuten esimerkiksi opiskelijoiden harjoittelu- ja loppuyöpaikat; Industrial doctorate ohjelma; yhteistyö Business Finland ja EU hankkeissa sekä lisensiointi ja patenttien myynti yrityksille.

Yliopistojen rahoitusmalli ei tänä päivänä juuri kannusta yritys yhteistyöhön. Kun yhteistyön laatua ja määrää halutaan nostaa, tulee parantaa vuorovaikutuksesta palkitsemista merkittävästi ja tehdä yhteistyön arvostuksesta näkyvämpää. Lisäksi tarvitaan pitkäjänteistä yhteistyöresurssien lisäämistä sekä uusia toimintatapoja ja yhteiskehittämisen alustoja. Rahoituksen ohella muita keinoja ovat muun muassa yhteistyön tunnustaminen meriitiksi ja akateemisten urapolkujen

luominen yhteistyöhön kannustavaksi. Tiedeyhteisöön tulisi mahtua monenlaisia arvostettuja uria niin tutkimuksen, koulutuksen kuin yhteiskunnallisen vuorovaikutuksen näkökulmasta.

Yliopistojen yhteiskunnallisen vaikuttavuuden ja sen myötä yritys yhteistyön ei tulisi olla yliopistojen näkökulmasta irrallinen tai ristiriidassa tieteellisen tutkimuksen ja korkeimman opetuksen tehtävien kanssa. Yhteiskunnallinen vaikuttavuus ja erityisesti yritys yhteistyö näyttää silti turhan usein jäävän erillistoiminnoksi, jota ei yliopistolaitoksessa tueta näkyvällä ohjauksella tai kannustavalla rahoitusmallilla.

Yhden luukun palvelu yhteistyölle

Etlan selvitys vuodelta 2018 suomalaisten yliopistojen tutkimuksen kaupallistamisesta ja teknologian siirron nykytasosta nosti muun muassa esiin, että tutkijan henkilökohtainen tavoitteellisuus ja ympäristön tarjoama tuki vaikuttavat merkittävästi siihen, lähteekö hän kaupallistamaan omaa osaamistaan.

Oulun yliopistossa olemme vastanneet tähän kokoamalla innovaatioihin, yritys yhteistyöhön ja liiketoiminnan kehittämiseen liittyvät palvelut yhteen, yliopiston innovaatiokeskukseksi. Tutkijoita, opiskelijoita ja yrityksiä yhden luukun periaatteella palveleva keskus aloitti toimintansa vuoden 2019 alussa.

Innovaatiokeskus hoitaa immateriaalioikeuksiin (IPR:ään) liittyvät palvelut, yritys yhteistyön koordinoitujen hoitamisen yhteistyössä tiedekuntien kanssa sekä kaikki liiketoiminnan kehittämiseen liittyvät palvelut ideoinnista, hautomo- ja kiihdyttämistoimintojen kautta rahoituksen hankkimisen avustamiseen lupavimmille yritysaihioille.

Aiemmin jokainen tutkija on toiminut itsenäisesti ilman koordinoitua tukea, pitkälti omalla parhaaksi näkemällänsä tavalla, mikä on saattanut vaikuttaa sekavalta ulkoisten yhteistyökumppanien ja ympäröivän yhteiskunnan suuntaan.

Vuonna 2019 toukokuussa palkattiin myös ensimmäinen liiketoiminnan kehittämisen päällikkö ja en-

simäinen asiakkuuspäällikkö yliopistotasolle. Tällä hetkellä liiketoiminnan kehittämisen asiantuntijoita on kolme, joista jokaisella on myös oma kohtainen start-up -tausta, ja yliopistotasoisia asiakkuuspäälliköitä on myös kolme. 2020 lanseerattiin avainasiakkuus-päällikköiden toiminta tiedekuntiin, joissa on nyt yhteensä 13 osaa- aikaista asiakkuuspäällikköä.

Riittävä aihepiiriin resurssointi, riittävä määrä kiinnostavia koulutuksia ja riittävästi käytyjä kahdenkeskisiä keskusteluita tutkijoiden kanssa on mahdollistanut parhaiden käytänteiden ja toimintamallien lanseerauksen tiedekuntien ja niiden tutkijoiden toimintaan. Viesti on mennyt hyvin perille ja voidaankin sanoa, että tutkijatasolla asiat alkavat olla kunnossa.

Vuodesta 2019 yritysten suora tilaustutkimus on kasvanut 42 prosenttia euroilla mitattuna. Tämän lisäksi jätettyjen keksintöilmoitusten määrä on ollut tasaisessa kasvussa ja uusien patenttihakemusten määrä on saatu vakiinnutettua noin kymmenen jätetyn hakemuksen vuosivauhtiin.

Parasta aikaa olemme laajentamassa sidosryhmäyhteistyön toimintamalliamme kattamaan tutkimuksen lisäksi räättälöidyn ei-tutkintoon johtavan koulutuksen, jatkuvan oppimisen, opiskelijayhteistyön ja varainhankinnan. Toimintamallin laajennus palvelee paremmin myös koko yliopistoyhteisöä. Samalla toiminnan kompleksisuus kasvaa uusien palvelutoimintojen tullessa mukaan, ja siksi paljon painoa on laitettu sisäisen kommunikaation kehittämiseksi kohti yhtenäisen viestin luomista sidosryhmien suuntaan.

Avain yliopiston menestykseen innovaatio toiminnassa on ollut systematiikan ja koordinaation tuominen sidosryhmäyhteistyön. Olemmekin siirtymässä tutkimustulosten kaupallistamisesta kohti tutkimusosaamisen kaupallistamista.

Näillä sanoilla haluan onnitella Matemaattisluonnontieteellisten alojen Akateemiset ry:tä ja Tekniikan Akateemiset ry:tä 40-vuotisesta yhteistyöstä.

Kiitos. •

Väliotsikot toimituksen.

Vihreään siirtymään tarvitaan muutakin kuin matematiikkaa - mutta ennen kaikkea matematiikkaa

Vihreä siirtymä

Vihreä siirtymä on laaja käsite, jota jäsenämme TEKissä kahden ilmiön kautta: ilmastonmuutoksen ja luontokadon. Molemmat näistä on kiireesti pysäytettävä. Tekniikan alan osaajat ovat näiden viheliäisten ongelmien ratkaisemisessa avainasemassa, sillä kaikki lähtee tuotesuunnittelusta, joka on insinöörien leipälaji.

TEK on viime vuosina syventynyt vihreän siirtymän työvoima- ja osaamistarpeisiin oman jäsenkuntansa, eli tekniluonnontieteellisten alojen yliopistokoulutettujen osalta. Hyvin karkeasti löydökset voi tiivistää niin, että alan osaamistarpeiden kova ydin ei muutu mihinkään, vaan insinöörikunnan ja muiden tekniikan alan osaajien tulee jatkossakin saada vahva matemaattisluonnontieteellinen pohja opinnoistaan. Toinen keskeinen löydös on, että alan osaajia tullaan tarvitsemaan määrällisesti huomattavasti nykyistä enemmän.

Kohti kiertotaloutta

Ensimmäisen selvityksen aiheesta teimme syksyllä 2021, kun selvitimme Ethica Oy:n avustuksella Pohjoismaisessa yhteistyössä STEM-alojen (Science, Technology, Engineering & Mathematics) osaamistarpeiden muutoksia kiertotaloudessa. Raportissa tarkasteltiin vain laadullisia osaamistarpeiden muutoksia, sillä kiertotalouden vaikutukset työvoiman määrällisten tarpeiden muutoksiin ovat todella vaikeita arvioitavia. Sen sijaan laadullisista muutoksista on helppo sanoa paljonkin. Raportin keskeiset tulokset on koottu ns. T-mallin osaajaprofiiliin (kuva 1), jossa horisontaalinen osaaminen eli kaikki alan koulutukset läpäisevä osaaminen sekä vertikaalinen osaaminen eli kiertotalouden osa-alueeseen erikoistuminen on erotettu toisistaan.

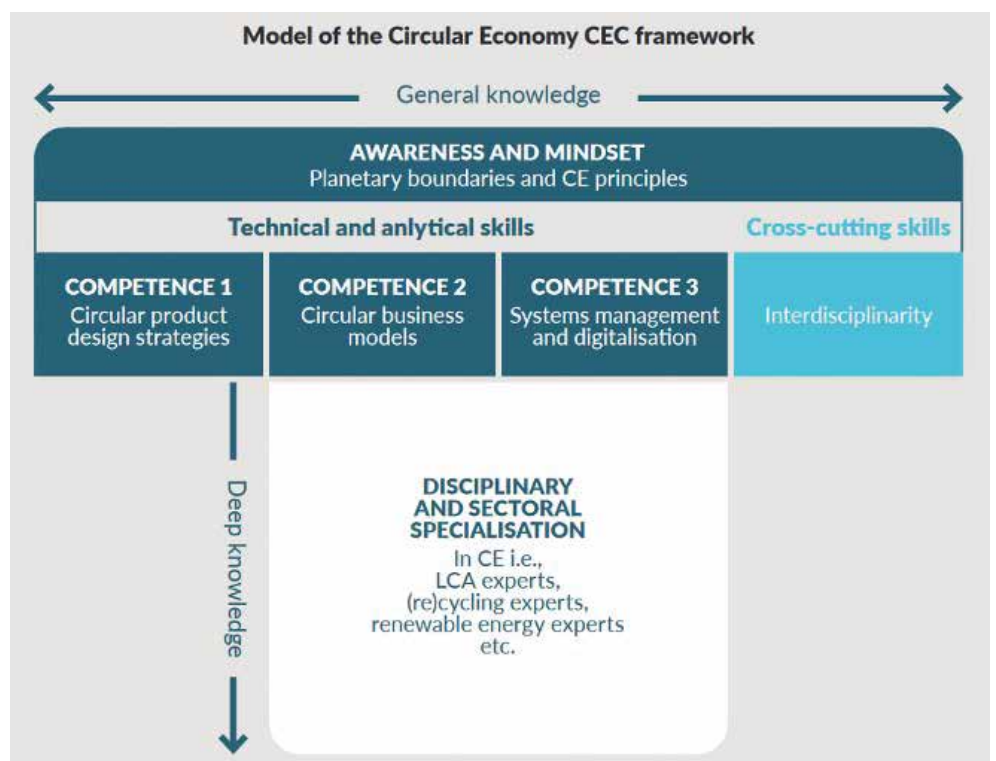
Kaikkiin tekniikan alan tutkintoihin tulisi siis nähdäksemme saada tietoisuutta planetaarisista rajoista ja kiertotalouden ajattelumalleja, kiertotalouden tuotesuunnittelua, kiertotalouden liiketoimintamalleja, vahvaa systeemiajattelua, digitalisaatio-osaamista sekä kykyä poikkitieteelliseen yhteistyöhön. Näistä erityisesti kiertotalouden tuotesuunnittelu ja systeemiajattelu vahvistaminen korostavat entisestään matemaattisluonnontieteellisen osaamisen tärkeyttä tutkinnoissa.

Kohti vähähiilisyttä

Toisen selvityksen teimme keväällä 2022. Tuolloin julkaisimme kansallisessa insinöörijärjestöjen yhteistyössä tilatun, Gaian toteuttaman selvityksen vähähiilisiirtymän



Esitys MAL-TEK 40v -seminaarissa. J-P Teini työskentelee TEKissä kestävä teknologiyhteiskunnan vaikuttamistyössä.





Raimo Mustonen ja Matti Suomela. Selin Martti Annanmäki.



Merja Korpela.



Juhani Nokela, Arto Maaninen ja Ilkka Norros.



Lauri Laitinen ja Maija Lakio-Haapio.

aiheuttamista työvoima- ja osaamistarvemuutoksista tekniikan alan korkeakoulutetuille. Vähähiiliisiirtymä on kiertotaloutta suoraviisaisempi muutos, sillä se ei ole kiertotalouden tavoin täysin uusien toimintamallien varassa, vaan vähähiiliisiirtymä voidaan toteuttaa suoraviivaisesti korvaamalla saastuttavan teknologian puhtaalla vastineella. Vähähiiliisiirtymän yksinkertaisemman luonteen myötä pystyimme arvioimaan myös sen työllisyysvaikutuksia. Raportissa tarkasteltiin kolmea sektoria (prosessi-, rakennus- ja energiateollisuus) ja niiden alla yhteensä viittä alasektoria (prosessiteollisuuden osalta akkuteollisuus ja vetytalous; rakennusteollisuuden osalta korjausrakentaminen; sekä energiateollisuuden osalta sähköverkkojen rakentaminen ja uusituvan energiantuotannon rakentaminen).

Raportissa on kaksi keskeistä tulosta: osaamistarpeiden muutokset ja työvoimatarpeiden muutokset. Työvoimatarpeiden muutosta arvioitiin vähähiiliisiirtymään suunniteltujen investointien pohjalta. Kaikki suunnitellut investoinnit eivät realisoitu, mutta toisaal-

ta kaksi vuotta sitten tehdyssä selvityksessä oli mukana vain murto-osa nykyisistä suunnitelluista vihreän siirtymän investoinneista, joita on Elinkeinoelämän keskusliiton tietojen mukaan jo 216 miljardin euron edestä. Raportin arvioimat työvoimatarpeen muutokset lienevät siis ennemmin ala- kuin yläkanttiin. Tulosten perusteella Suomessa tarvittaisiin vuosittain 3000–4500 tekniikan alan korkeakoulutettua lisää vähähiiliisiirtymän tarpeisiin. Osin tarpeeseen voidaan vastata täydenniskouluttamalla nykyistä työvoimaa ja lisäämällä työperäistä maahanmuuttoa, mutta näin massiivisesta muutoksesta tuskin selvitään ilman tekniikan alan aloituspaikkojen lisäämistä.

Osaamistarpeiden muutosten osalta raportissa korostuvat niin ns. kovat kuin pehmeät osaamiset. Vähähiiliisiirtymässä tarvitaan vahvistusta esimerkiksi matemaattiseen osaamiseen, systeemijatteluun ja digitalisaatiovalmiuksiin, mutta yhtä lailla tarpeissa korostuvat myös jatkuvan oppimisen, tiimityön ja poikkitieteellisen yhteistyön taidot.

Matematiikka on yhdistävä tekijä

Mielenkiintoisena yksityiskohtana molemmissa selvityksissä korostuu matematiikan osaamistarpeiden vahvistuminen. Kiertotaloudessa tämä liittyy erityisesti systeemikytkentöjen lisääntymiseen eli kompleksisuuden kasvuun, jossa systeemijattelu ja matemaattiset kyvykkydet ovat äärimmäisen tärkeitä työkaluja. Vähähiiliisiirtymässä puolestaan tarve liittyy teknologiamurrokseen, jossa täytyy omata samanaikaisesti toimintakyvykkydet vanhassa ja uudessa järjestelmässä, jolloin matemaattis-luonnontieteellisen pohjan merkitys korostuu.

Vihreä siirtymä ei ole tekniikan alan korkeakoulutetuille välttämättä aivan helppo rasti, sillä aiemmat osaamistarpeet ovat yhtä lailla tärkeitä ja päälle tulee vielä pussillinen uusia. En kuitenkaan ole lainkaan huolissani, etteikö ammattikuntamme tästä selviäisi. Edessä on paljon kovaa työtä ja isoja haasteita, mutta emme ole niitä ennenkään kaihtaneet. •

Raportit löydät TEKin sivuilta: <https://www.tek.fi/fi/tietoa-tekista/tutkimus/tek-tutkii-kestava-kehitys>

MALin pro gradu -palkinto 2023

Parkinsonin taudin tunnistaminen EEG-datasta



Ilkka Suuronen Turun yliopiston tietotekniikan laitokselta sai MALin Pro gradu -palkinnon tutkielmasta ”Parkinsonin taudin tunnistaminen elektroencefalogrammista koneoppimisteknologian avulla”. Työn ohjaajina olivat apulaisprofessorit **Antti Airola**, **Tapio Pahikkala** ja **Henry Railo**. Suuronen on MALin vuonna 2000 aloittaman Pro gradu -palkintojen sarjan 26. palkinnonsaaja.

Suuronen tutki, miten erottaa terveet koehenkilöt Parkinsonin tautia sairastavista koehenkilöistä käyttäen EEG-dataa. EEG on lyhenne elektroencefalogrammista. EEG-tutkimuksessa päähän kiinnitetään elektrodeja, joilla mitataan aivojen sähköistä toimintaa. Tutkimusaihe on erittäin vaativa yhdistäessään piirteiden erottelua, koneoppimista ja kliinistä neurotiedettä. Pyrkimyksenä oli päästä suhteellisen pieneen määrään elektrodeja, jotta voitaisiin lyhentää EEG-tutkimukseen liittyvän valmistelun kestoa. Suuronen kehitti työssään EEG-elektrodien valintaan menetelmän, jossa elektrodeja valittiin käyttöön ahneen hakualgoritmin avulla elektrodeihin liittyvien piirremuuttujien luokittelutarkkuuksien paremmuusjärjestyksessä. Korkea luokittelutarkkuus saavutetaan jo kymmenen elektrodin osajoukolla. Tutkimuksen tulokset on julkaistu myös tieteellisenä artikkelina johtavassa alan tieteellisessä lehdessä. Suuronen työskentelee väitöskirjatutkijana Turun yliopistolla FinnBrain Neuroimaging Lab -tutkimusryhmässä. •

Matematiikan ja luonnontieteiden osaaminen nousuun kouluopetusta kehittämällä

Viime päivinä julkaistu PISA-tuloksien romahtaminen on nostanut kouluopetuksen ongelmat yleiseen keskusteluun.

Matematiikan ja luonnontieteiden kouluissa saavutettavan oppimistason heikentyminen on ollut nähtävissä jo pitkään. Tämä on johtanut yliopistoissa ja yrityksissä kasvavaan huoleen tutkimuksen ja talouden toimikyvyn säilymisestä. Kestävä kehitys ja vahvistuva digitalisaatio tuovat huomattavia lisähaasteita (MAL-lehti 1/2023). Tilanteen selvittämiseksi toteutettiin valtakunnallinen seminaarisarja.

Matemaattis-luonnontieteellisten alojen akateemiset (MAL) käynnisti lokakuussa 2022 valtakunnallisen seminaarisarjan. Matemaattisten aineiden opettajien liiton (MAOL) kokemus opetusmenetelmistä ja -työstä jalkautti keskustelun koulujen todellisuuteen. Sarjan aikana mukaan tullut LUMA-keskus Suomi toi mukanaan LUMA-strategian valtakunnallisen tehtävän hoitamisesta LUMA-aloilla, joihin kuuluvat luonnontieteet ja matemaatikka sekä tekniikka ja teknologiat.

Juurihoitoa tarvitaan matematiikan osaamisen kerroksittaisen rakentamisen varmistamiseen jo opintien alussa. Omaksumisen edellytyksenä on, että ymmärtää mistä on kysymys. Varhaiskasvatuksessa ja alakoulussa opetusmateriaalien avulla pyritään herättämään kiinnostusta matemaatiikkaan (MAL-lehti 3/2022). Yläkoulussa näkökulma painottui matematiikan, fysiikan, kemian, tietotekniikan ja yritysyrityksen merkitys motivaation ylläpitämisessä (MAL-lehti 1/2023). Lukion ja ammatillisen koulutuksen osassa tuotiin esille uusia ratkaisuja Suomen PISA-menestyksen palauttamiseksi ja nostettiin esille tulevaisuuden työelämän vaatimukset ja osaajatarpeen voimakas kasvu (MAL-lehti 2/2023). Suomi Areenan keskustelussa painottui matemaattis-luonnontieteellisen ajattelun edistäminen yleistiedon monipuolistamisessa ja laajassa yhteiskunnallisessa vaikuttamisessa (MAL-lehti 2/2023). Osaajien koulutukseen varmistamisessa tarvitaan koulutusjärjestelmän eri vaiheiden tasapainoinen toiminta. Näkökulmia siivitettiin kolmella videolla. Looginen johdonmukainen ymmärrys vahvistuu pitkäjänteisessä kynä-paperityöskentelyssä. Tietotekniikan avulla tuotettu visuaa-

lisuus havainnollistaa matematiikan toimivuutta myös monimutkaisemmissa kokonaisuuksissa. Yhdistelmä tuottaa parhaan ratkaisun, jossa ongelman ymmärtäminen pidetään mukana. Kyvykkyyksien tukeminen kerhotoiminnan kautta tukee osaamistason edistämistä.

Seminaarisarjan tulokset tarjoavat pohjan koulutuksen kehittämiseksi

Kouluasteittain edennyttä seminaarisarja osoitti juurihoidon merkityksen kerroksittain rakentuvan oppimisen varmistamisessa. Tuloksiin pääsy vaatii opetus-tapahtumien ohjaamista keskittyneitä oppimista tuke- vissa opetusympäristöissä.

Kerroksittain rakentuva oppiminen. Käytännössä vaaditaan kerroksittain rakentuva osaamisen kehittyminen, jonka luominen aloitetaan jo varhaiskasvatuksessa. Motivaation vahvistaminen on keskeistä vaiheittaisesti kouluasteisiin sovitussa oppimisessa kohti itsenäistä työskentelyä. Vaiheittaisen etenemisen pitäisi kaikessa opetuksessa mukautua kuhunkin ikävaiheeseen. Tämä korostuu matemaattisissa aineissa, joissa oppiminen vaatii oppilailta välttämättä harjoitusta rauhallisessa ympäristössä. Kukin vaihe vaatii aina edellisten vaiheiden hallintaa ja jatkuvuuden varmistamiseksi tarvitaan joustavuutta opetuksen toteutuksessa – ei vaatimusten helpottamista. Oppimisvaikeuksissa olevien oppilaiden tukeminen on välttämätöntä, mutta sen ei saa antaa hallita opetusta. Hyvin edistyville oppilaille olisi päinvastoin tarjottava lisämateriaalia motivaation säilyttämiseksi. Kaikkien tulisi saada onnistumisen kokemuksia.

Opettajille mahdollisuus opetuksen ohjaamiseen. Koulutetuille opettajille tulee antaa mahdollisuus oppimisen varmistamiseen – keskeisten asioiden osalta kynä ja paperi pitää olla mukana matematiikan harjoittelussa. Lukutaitoa tarvitaan ongelman ymmärtämiseen ja ratkaistavien laskutehtävien muodostamiseen. Matematiikan käyttäminen luonnontieteiden yhteisenä kielenä edellyttää tätä. Digitaalinen opetusmateriaali täydentää perusasioita ja havainnollistaa erilaisten menetelmien toimivuutta. Opettajan tulee ohjata käyttöä kriittisyyteen ja järkevyyden arvioinnin suuntaan. Pitäisi oppia arvioimaan onko ratkaisu suunnilleen oikeassa, sillä digitaalisesti saadaan täsmällinen tulos, mutta se voi olla myös pahasti pielessä. Digitaalinen itsepalvelu ja tukihenkilöstö ei voi korvata ohjattua opetusta, jossa myös erilaiset oppimistyylit otetaan huomioon.

Opetusympäristön on tuettava oppimista.

Oppimistasojen erkaantuminen heterogeenisessä oppilaiden joukossa vaikeuttaa eteenpäin menemistä kumulatiivisessa opetuksessa. Inklusion käyttämisellä on hyvin haitallinen vaikutus oppimisympäristöön. Käytöshäiriöiset oppilaat tuhoavat muidenkin opiskelumahdollisuudet. Mobiililaitteet ja tietokoneet tuovat mahdollisuuksia opetuksen tehostamiseen ja oppimisen täydentämiseen, mutta niitä pitää käyttää hallitusti opetuksen osana. Keskittyminen ja rauhallinen työskentely pitää mahdollistaa. Erilaiset oppimisalustat täydentävät opetusta.

Tiedonhankinta ja aikuiskoulutus. Koulu ei voi milloinkaan opettaa kaikkea tarvittavaa, joten ei pidä unohtaa oppimisvalmiuksien tukemista. Niitä tarvitaan korkeakouluissa, ammatillisessa koulutuksessa ja työelämässä. Nykyisenkaltaisissa muutostilanteissa tulisi aktivoida aikuiskoulutusta.

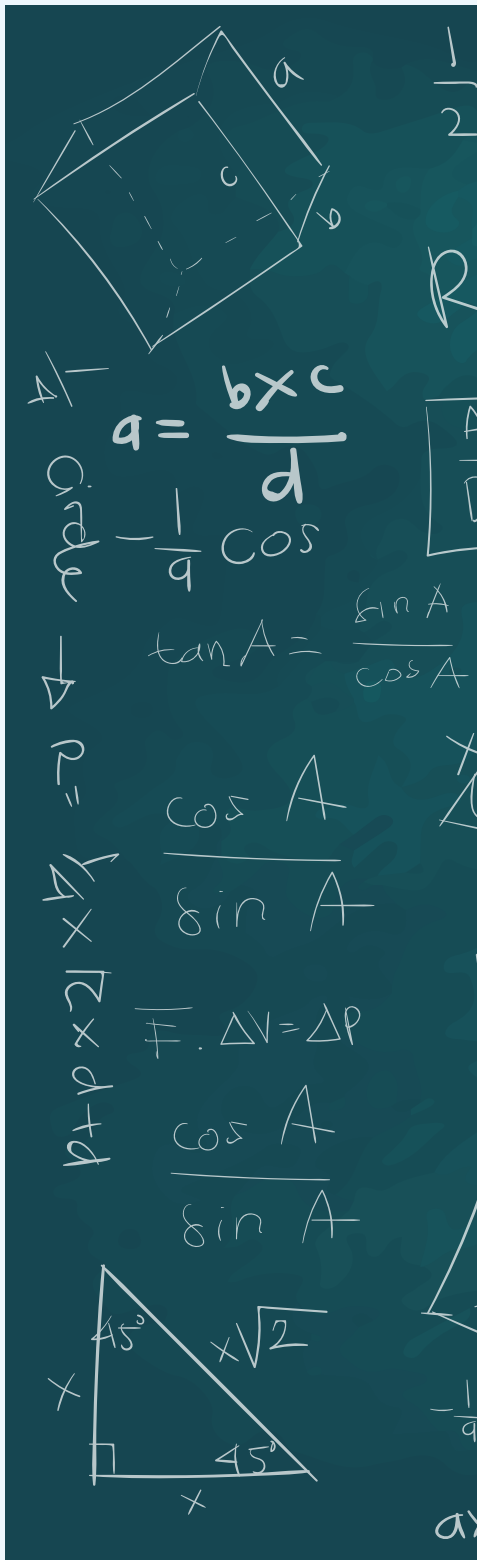
Kouluopetuksen strategia. LUMA-keskus on tuottanut strategioiden jalkauttamisessa tarvittavan yhteistyön pohjaksi ratkaisuja ydinasioiden oppimisen varmistamiseen, kiinnostuksen herättämiseen ja nuorten pystyvyyden tukemiseen ovat kehityksen avaimia. Kehittämiseksi on laaja tuki. Edellisen hallituksen opetusministeri **Li Andersson** kiinnitti huomiota rahoitustarpeeseen ja heikosti menestyvien oppilaiden auttamiseen. TEKin hallituksen puheenjohtajan, tuleva tiede- ja kulttuuriministerin **Mari-Leena Talvitien** mukaan maan hallitus on sitoutunut LUMA-strategian toimeenpanoon.

Seminaarisarjan tukijat ja yhteistyökumppanit. Seminaarisarjaa ovat tukeneet MAL, Suomalainen Tiedekatemia Matematiikan rahasto, Aktuaariyhdistys, Kemianteollisuus, Energiateollisuus, Metsäteollisuus, Orion Oyj, Stora Enso Oyj, Vertex Systems Oy, LUMA-keskus Suomi, MAOL ja Tekniikan Akateemiset TEK.

Kouluopetuksen vahvistamista tarvitaan. Vakava tilanne ja TKI-panostuksien kasvattaminen vaativat seminaarin tulosten jalkauttamista eri koulutusvaiheiden ongelmien ratkaisemiseen. Varhaiskasvatuksessa, peruskoulun kaikissa vaiheissa ja lukiossa täytyy työskennellä rinnakkaisesti omien tavoitteiden, toimintamahdollisuuksien ja lähtötasojen pohjalta. Vaihtelua pitäisi saada pienentymää siten, että oppimistaso ko- hoaa yleisesti. Peruskoulun kokonaisuudistukselle ei ole vielä tarvetta. •

Lisätietoa. MAL-lehden vuosikertoihin 2022-23 ja MALin verkkosivuille (<https://www.mal-liitto.fi/>) on koottu seminaarisarjan aineistoa. Verkkosivuille on linkitetty seminaarien tallenteita ja lisävideoita.

Paneelikeskustelu matematiikan osaamisesta Tampereella



MALin ja MAOLin seminaarisarjan toinen, yläasteeseen keskittynyt tapahtuma järjestettiin Tampereella Nokia Areenan Paidia-tilassa 29.3.2023. Tapahtuman päätti erittäin antoisa paneelikeskustelu, jossa mukana olivat **Lilli Putti** (Kemianteollisuus ry), **Touko Apajalahti** (Teknologiateollisuus ry), **Elina Viro** (Yläkoulun ja yliopiston opettaja, tutkija) ja **Dimitri Tuomela** (Joustavaan matematiikkaan -hankkeen tutkija). Keskustelun juontajana toimi MAOLin varapuheenjohtaja **Tuula Havonen**.

Lilli Putti on taustaltaan kemisti. Hän on tuotekehitystuen päällikkö Kiilto Oy:ssä ja tehnyt paljon yhteistyötä erilaisten oppilaitosten kanssa Tampereen alueella. Hän luennoi johtajuuteen ja ympäristöriskeihin liittyvistä asioista ja käy puhumassa erilaisissa tilaisuuksissa.

Touko Apajalahti on taustaltaan matemaattisten aineiden opettaja, mutta toimii nykyään korkeakoulupoliittisena vaikuttajana Teknologiateollisuus ry:ssä. Hän kertoi esittelyssään, että seuraavien 10 vuoden aikana teknologiaryitykset tulevat tarvitsemaan noin 130 000 uutta osaajaa, joista suurella osalla tulisi olla tekniikan alan koulutus.

Elina Viro toimii yläkoulun opettajana opettaen matematiikkaa, fysiikkaa ja kemiaa. Hän on koulutukseltaan diplomi-insinööri, mutta on opettanut matematiikkaa myös yliopistotasolla sekä toiminut opetuksen ja opettajien koulutuksen parissa.

Dimitri Tuomela toimii tutkijana Oulun ja Turun yliopistoissa ja on noin kymmenisen vuotta toiminut projekteissa, joissa yritetään keksiä ratkaisuja siihen, miten lapsille ja nuorille saadaan opetetuksi monipuolista matemaattista osaamista.

Seuraavassa otteita puheenvuoroista keskustelussa. Koska puhujat jäivät usein merkkeamatta, päätimme julkaista osia tästä hyvähenkisestä keskustelusta täsmentämättä kuitenkaan, kuka kulloinkin on äänessä.

Hyvä osaaminen on kuvattu opetussuunnitelman perusteissa, mutta millaista matematiikan osaamista yrittysten näkökulmasta on hyvä osaaminen?

-Jo aikaisemmissa esityksissä tuli esille, että ei tarvitse osata välttämättä syvällisesti jotakin matemaattista asiaa tai matemaattista integrointia tai derivointia tai mitä muuta tahansa. Tärkeää on matematiikan kokonaisvaltainen ymmärrys ja kokonaisuuksien hallinta ja se, että matematiikassa looginen ajattelu on kaiken perus-

ta. Kun meille rekrytoidaan uutta henkilöä ja teetetään hänellä jokin laskutehtävä, niin tärkeää ei ole, tuliko lasku ratkaistua oikein, vaan se, miten tehtävää lähdettiin ratkaisemaan.

-Keskustelin toimistolla kollegan kanssa, joka tekee töitä PK-yrittystemme kanssa ja haluaa edistää yrittäjyyttä. Ja hän kysyy heiltä vähän samansuuntaisia kysymyksiä. Vastauksissa kaivattiin matematiikan perusosaamista ja ehkä kykyä nähdä matematiikkaa ympärillämme: miten maailma rakentuu ja millaisia ilmiöitä ympärillä on? Osaako hahmottaa suuruusluokkia ja näkeekö, alkaako jokin asia kasvaa lineaarisesti vai eksponentiaalisesti? Ymmärtääkö ilmiöitä ja matemaattisia käsitteitä? Onko rohkeutta ja halua ratkoa ongelmia matematiikan avulla?

-Sydäntä lämmitti kuulla, miten edellä kuvailtiin sitä, mitä joustava matemaattinen ajattelu on. Kun opetussuunnitelmia kehitetään, siellä ovat pohjana yleiset matemaattisen ajattelun taidot, ja sitten ovat sisältövaatimet. Ongelmana on vain, miten asioita mitataan käytännössä. Matemaattinen ajattelutaito on hankalammin mitattavissa kuin laskennalliset taidot.

Matemaattisen osaamisen osatekijöitä ovat:

- kyky ajatella matemaattisesti
- käsitteiden ymmärtäminen
- strateginen kompetenssi, joka on kyky muokata ongelmaa toisenlaisiin esitysmuotoihin
- adaptiivinen päättely, joka on loogisten ketjujen muodostamista
- rakentava suhtautuminen matematiikkaa kohtaan, usko itseensä matematiikan osaajana.

Tärkeintä on uskaltaa yrittää ratkaista eteen tuleva tehtävä, vaikka se ei ole aivan samanlainen kuin mitä oppikirjassa on käsitelty. Monet saattaisivatkin päästä yllättävän pitkälle ratkaisussa, kunhan vain uskaltaisivat edes yrittää ratkaisemista.

-Edellä olevasta voi päätellä, että opetussuunnitelmassa on liian paljon asiaa ja näin yläkoulun opettajana tuntuu, että myös alakoulun sisällöissä on liikaa asioita.

-Aivan välttämättömiä taitoja ovat peruslaskutoimitukset, ja sitten prosenttilaskut. Myös tilastollista matematiikkaa joutuu jonkin verran käsittelemään, vaikka pääasiassa sen tietenkin tekee tietokone. Lopuksi tietenkin tulee kyetä arvioimaan, laskikoko ohjelma oikein ja missä mahdollinen virhe voisi olla.

-Muunnostaulukot ovat tärkeitä. Tulee kyetä muuntamaan yksiköitä toisiksi.

-Tällä hetkellä eri laitteet ja erilaiset ohjelmat tuottavat dataa, jota syötetään tekoälylle, ja pyydetään kertomaan datasta jotain. Lopuksi tulee kyetä arvioimaan, onko tulos merkityksellinen.

Minkäläinen on hyvä matemaattisten aineiden opettaja?

-Opettajan tulee olla innostunut työstään. Ei ole kuitenkaan yhtä oikeaa vastausta siihen, millainen on hyvä opettaja. Jokainen opettaja pelaa omilla vahvuuksillaan ja opettaa sellaisilla menetelmillä, jotka ovat hänelle luontaisia. Opettajan tulee olla luokassa oma itsensä, silloin opettaminenkin sujuu paremmin.

-Opettajan tulisi olla monipuolinen, niin että hän osaa käyttää erilaisia menetelmiä. Tulee myös ottaa huomioon opetettava ryhmä. Jollekin ryhmälle sopii flippaus ja jollekin toiselle projektiooppiminen. Jonkin ryhmän kanssa mennään metsään jollakin menetelmällä ja jollekin ryhmälle se sopii loistavasti. Opetettavat ryhmät voivat kaivata erilaisia menetelmiä.

-Hyvä opettaja on semmoinen, joka on kiinnostunut siitä, miten oppilaat ajattelevat, ja joka saa oppilaat ottamaan kantaa toistensa ajatuksiin. Hyvä opettaja luo luokkaan toimintakulttuurin, jossa oppilaat uskovat jakaa ajatuksiaan. Opettajan suurimpia haasteita on astua sivuun ja oikeastaan vain innostuneesti kuunnella keskustelua, ja tarvittaessa selvittää miten johonkin virheelliseen ratkaisuun on ajautettu ja miten se korjataan.

-Hyvää opettajaa kannattelee se, mitä hän haluaa saada aikaan. Hyvän opettajan tarkoituksena on herättää oppilaissa halu tutkia ympärillä olevaa maailmaa matematiikan keinoin. Opettajan tulisi saada aikaan eräänlainen herätys oppilaissa.

-Matematiikan opettaja voi myös suositella oppilaita valitsemaan pitkän matematiikan, tai myöhemmin päätyään tekniikan aloille. Näitä voi suositella myös muille kuin matematiikan huippuosaajille. Tosiasia on, että korkeakoulujen tekniikan aloille pääsee opiskelemaan ihan kaikenlaisella matemaattisella osaamisella.

-Opettajan tulisi nähdä jokaisessa oppilaassa hänen potentiaalinsa, niin että se ei pääse hukkumaan. Monesti oppilaat itse kyllä tunnustavat oman potentiaalinsa.

Somen koukuttaminen?

-Tänään aikaisemmin kuulimme, että Tiktokiin on ladattu paljon matemaattista sisältöä. Tosiasiassa koulun arjesa joudutaan jatkuvasti kilpailemaan sosiaalisen median koukuttavuuden kanssa. Tästä seuraa sitten matematiikan tunnilla ongelma siitä, miten pidetään oppilaiden motivaatiota yllä. Yksi motivaation tappaja on, että matemaatikka on joko liian vaikeaa tai liian helppoa. Tulisi kyetä samanaikaisesti tukemaan sekä heikompia oppilaita että sellaisia, jotka ovat vahvoja matematiikassa, ja viemään kumpaakin ryhmää omaa matikkapolkuaan eteenpäin.

-Tärkeää on pitää laskutehtävissä yhteys arkielämään. Tulisi kyetä tuomaan esille se, mihin mitään matematiikan osaa tarvitaan arkielämässä. Se pelkätään ei riitä, että tämä edistää matemaattista ajattelua.

-Yritysten tulisi kyetä nykyistä paremmin kertomaan mitä se työn tekeminen käytännössä on ja mihin sitä matematiikkaa tosielämässä tarvitaan.

-Luokkatilanteessa tulisi kyetä antamaan mahdollisimman paljon avoimia tehtäviä, joissa on runsaasti erilaisia mahdollisia lähestymistapoja. Semmoiset tehtävät ovat hyviä, joihin eritasoiset oppilaat voivat osallistua samanaikaisesti. Parhaimmillaan kilpaillaan siitä, kuka saa esittää ratkaisunsa. Toisaalta on myös luokkia, joissa yksikään käsi ei nouse pystyyn.

Onko joitakin koulutuspolkuja, joiden ovi sulkeutuu, ellei osaa matematiikkaa?

-On sitten valmistunut mistä koulusta tahansa, niin todellisuudessa siellä työpaikalla oppii paljon uusia asioita. Uuteen työpaikkaan tultaessa ensimmäiset viikot ovat pelkkää oppimista. Ja jos vaihtaa työpaikkaa, niin siellä on taas uudet ympäristöt, uudet ohjelmistot, uudet laitteet ja uudet toimintatavat, eli oppiminen on taas aloitettava alusta.

-On aika yleistä, että heterogeenisessä työyhteisössä kaikki ovat kiinnostuneita kehittämään itseään ja löytämään vastauksia sille tullessiin ongelmiin.

-Joku ovi saattaa sulkeutua tai on ainakin raskeampi avata, jos matematiikan osaaminen on jäänyt heikommaksi.

-Toisaalta motivaatio saattaa parantaa matematiikkaan liittyvää oppimishalukkuutta. Jos yhtäkkiä havahdui siihen, että haluan lääkäriksi, tai jollekin muulle alalle, jolla tarvitaan matematiikkaa, niin matematiikan oppiminen saattaa tapahtua pikaisesti.

-Saadaanko teknillisille aloille riittävästi osaajia? Täytyy todeta, että matematiikan osaajista on nykyään puutetta. Yleensäkin hakijamäärät avoimiin paikkoihin ovat laskeneet. Tarkkaa syytä en tiedä, mutta ilmeisesti yrityksen imagolla on suuri merkitys. Hakijamäärien pienenemisestä ei voi syyttää opetuksen tai koulutuksen tasoa. Suomessa vain ei ole tarpeeksi työntekijöitä, jotta voitaisiin valita parhaat suuresta hakijajoukosta.

-Yritysten ja koulujen yhteistyötä tulisi lisätä. Yritykset voisivat kertoa, millaista osaamista ne tarvitsevat. Teknologiateollisuudella on hanke, jossa Teknologiateollisuus maksaa bussikyydin, jos luokka menee vierailulle johonkin jäsenyritykseen. Tärkeää olisi, että yritysvierailu olisi jollakin tavalla sidoksissa siihen, mitä luokassa on juuri opetettu. Ja samaan asiaan voisi palata sitten uudelleen vierailun jälkeen.

-Monella opettajalla saattaa olla korkea kynnys lähteä etsimään yritysvierailukohdetta. Sitä kynnystä tulisi mataloittaa. Miten voisi saada rahoitusta ja miten sinne oikein fyysisesti pääsisi paikan päälle? Alueiden erilaisuuden vuoksi joillakin kouluilla saattaa olla rajalliset mahdollisuudet tehdä yritysvierailuja.

Voiko pelien avulla oppia matematiikkaa?

-Pienten lasten isänä olen seurannut heidän pelaamistaan. Monesti olen katsonut, että vau, mitä ne ovat keksineet. Lapset myös näyttävät mitä he ovat pelissä tehneet, ja tuotokset saattavat olla hyvinkin monimutkaisia.

-Jos jokin asia on pelillistetty, se varmaankin kiinnostaa ja jää paremmin mieleen. Pelimaailma tulisi myös panna palvelemaan työelämää, tulisi laatia siihen sopivia pelejä. Myös jatkuvaa oppimista voisi toteuttaa pelien kautta.

-Yläkoululaiset ovat jo melko vaativia pelien suhteen. Ovathan he pelanneet koko lapsuutensa. Jos ajatellaan mahdollista matematiikkapeliä tai muuta oppimisympäristöä, niin visuaalisuudelta ja toiminnallisuudelta vaaditaan tosi paljon.

-Seminaarin alkupuolella olleessa osiossa koululaisille esiteltiin virtuaalilaseja ja niihin liittyviä pelejä. Nuoriso piti käyttöliittymiä hieman kökköinä, eli nuoret odottavat peleiltä aikamoista laatua.

-Jos pelejä käytetään oppimisessa, niin on jälkepäin tärkeää miettiä yhdessä, mitä niissä peleissä tapahtui ja minkälaista matematiikkaa niissä on. Pelejä ja muita sähköisiä alustoja on nykyään runsaasti tarjolla. Tulisi vain pohtia, mikä olisi sopiva suhde sähköisen materiaalin ja perinteisen oppimisen välillä. Mielestäni sähköisiä materiaaleja voisi käyttää noin kerran kahdessa viikossa. Kyllä niitä perustunteja tulee olla runsaasti.

Joustavaa matematiikkaa?

-Mitä jos joma (joustava matematiikka) tarkoittaisikin joustavaa matematiikan opettamista, eli sitä, että siellä luokassa oppilaita jaettaisiin joustavasti ryhmiin omien oppimisedellytystensä perusteella.

-Täytyy sanoa, että joustava matemaattinen ajattelu on täysin eri asia kuin joustavat opetusryhmät. Väärinkäsitysten välttämiseksi tästä täytyy muistuttaa.

-Joustavaan matemaattiseen ajatteluun liittyvää tutkimusta on runsaasti. Joustava matemaattinen ajattelu tarkoittaa sitä, että oppitunnilla käytetään avoimia tehtäviä, joihin on useita eri lähestymistapoja. Heterogeenisessä ryhmässä, jossa on eritasoisia oppilaita, tästä lähestymistavasta hyötyvät sekä heikommin menestyvät että parhaat oppilaat.

-Tasoryhmiin ei kannata palata, mutta jollain lailla voitaisiin paremmin ottaa huomioon erilaiset osaamisen tasot. Olisi myös hyvä saada niitä huippuosaajia, joita aina kaivataan.

-Jos opetuksessa jokainen tekee omia juttujaan, niin silloin siitä jää puuttumaan keskustelun osuus. Yhdessä tekeminen ja keskustelut ovat tosi tärkeitä työelämätaitoja, joita tulisi oppia jo koulussa.

Digitaaliset taidot?

-Tällä hetkellä digitaalisia taitoja ei tavallaan opeta kukaan. Kaikkien oppiaineiden opettajat yritetään saada ottamaan opetukseen mukaan yksittäisiä tehtäviä. Muutaman vuoden ajan meillä on ollut kärkihankkeena saada tietotekniikan opetus tuntijakoon pakollisena aineena.

-Teollisuuden näkökulmasta, kun insinöörit tai laborantit menevät tekemään omaa työtänsä, heillä on mukanaan läppärit, ja sinne kaikki asiat tehdään tai sieltä kaikki ohjeet luetaan. Läppäriin tulevat tulokset ja sinne luodaan raportit. Läppäriin tulevat tulokset ja sinne luodaan raportit. Läppäriin tulevat tulokset ja sinne luodaan raportit. Läppäriin tulevat tulokset ja sinne luodaan raportit.

-Työelämässä ei tällä hetkellä ole mitään muuta mahdollisuutta kuin käyttää digitaalisia taitoja, oli kyse sitten tiedonhausta, tulosten kirjaamisesta tai viestinnästä.

-Kaikki tapahtuu digijassassa, eli pitää pystyä itse luomaan sinne asioita ja tulee pystyä ymmärtämään, mitä muut sinne ovat tuottaneet.

-Uuteen työhön tultaessa joutuu omaksumaan myös uusia digitaalisia taitoja. Se on osa perehdytysohjelmaa. Tietenkin on haastavampaa, jos digitaaliset taidot eivät ole kovin korkealla tasolla, kun kaikki asiat ovat pelkästään läppäriin eikä mitään tulosteta.

-Tällä hetkellä haasteena on tiedonhaku Chat GPT:tä käyttäen, ja yleensäkin se, miten tekoäly voi vastata meidän ongelmiimme. Työelämä on jatkuvaa oppimista.

-On tärkeää, että koulussa harjoitellaan digitaalisia taitoja. Oppilaat ovat todella taitavia puhelimen käytössä, mutta kun mennään tietokonea maailmaan, niin taidot loppuvat.

-Eräessä koulutehtävässä oli tavoitteena tehdä erilaisia avaruuskappaleita tietyllä ohjelmalla. Oppilaat ottivat helposti haltuun käytettävän ohjelman, mutta ongelmia tuli, kun tulos tuli lähettää sähköpostin liitetiedostona. Ehkä tämä olisi niitä kansalaistaitoja, joista olemme huolissamme.

-Aikaisemmin koulujen sisällä räätälöitiin tietotekniikan opetusta ja oli tietotekniikkaluokkia.

-Oppilaiden perheiden erilaiset taustat vaikuttavat asiaan. Kaikilla ei ole kotona tietotekniikkalaitteita eikä vanhemmilla ole valmiuksia opettaa niiden käyttöä. Joillakin on kotonaan kaikki mahdolliset vempaimet.

-Tämän voi nähdä vahvana tasa-arvokysymyksenä. Koululaitoksemme perustuu siihen, että meillä on pätevät opettajat, jotka opettavat tarpeellisia asioita. Jokaisella oppilaalla on oikeus saada pätevää opetusta.

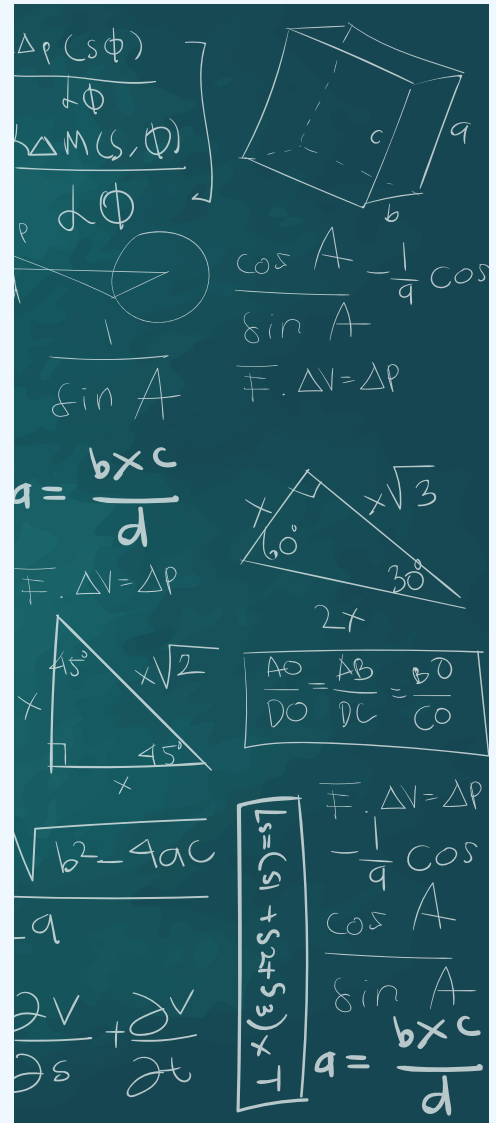
-Kun jokin aine (tietotekniikka) ei ole tuntijaossa mukana, niin opettajien mielestä ei ole mitään järkeä lähteä tekemään laadukasta oppimateriaalia.

Ovatko matikkakerhot ja tiedekerhot vain isojen paikkakuntien ylellisyyttä?

-Helsingin seudulla on kouluja, joissa on erilaisia painotuksia ja on kouluja, joissa on matikkakerhoja ja tiedekerhoja ja kaikenlaisia mahdollisuuksia harrastaa myös matematiikkaa. Voisimmeko jollakin lailla lanseerata kouluille tällaista tapaa toimia ihan yleisesti?

-Kollegoilla on hyviä kokemuksia kerhotoiminnan järjestämisestä. Erityisesti siten, että isommat oppilaat järjestävät kerhotoimintaa pienemmille oppilaille. Tämä tulisi saada myös netissä toimivaksi. Nettiinhan ovat LUMA-keskukset tuottaneet suuret määrät upeaa materiaalia. Matematiikan ja muiden luonnontieteellisten aineiden opettajien tulisi olla tietoisia näistä materiaaleista ja ottaa niitä käyttöön oppitunneilla.

-Toimintaa voisi olla koulun puitteissa, mutta myös vapaa-ajalla. Eräs tapa on lähteä matikkakävelylle. Matkan aikana lasketaan erilaisia eteen tulevia asioita ja asioiden matemaattisia suhteita. Voidaan myös löytää erilaisia matematiikan ja ympäristön välisiä suhteita. •



Kouluopetusseminaarin satoa

MAOL²

MAOL² on opettajajärjestö MAOLin yhdessä kustannusyhtiönsä MFKA:n kanssa kehittämä digitaalinen oppimisympäristö matemaattisiin aineisiin. Sen materiaalia ja toiminnallisuksia ovat olleet suunnittelemasa ja tuottamassa kokeneet koulumaailmassa toimivat opettajat. Oppimisympäristö sopii jokaiselle opettajalle ja jokaiselle luokalle. Oppimisympäristössä ei ole oppikirjarajoja, vaan sinne voi jokainen tuottaa sisältöä, tehtäviä ja teoriaosuuksia. Kaikki materiaali on muokattavassa muodossa. MAOL² -ympäristö on erittäin helppokäyttöinen, sen tehtäväpankki on kattava, ja tarkoituksena on myös tuoda järjestelmään uutta materiaalia.

Oppimisympäristöön on koottu noin 600 matematiikan harjoitustehtävää. Lisäksi sieltä löytyy valta-

kunnallisten kokeiden tehtäviä vuosilta 2014 – 2018 sekä lähes 1300 kappaletta peruskoulun matematiikan tehtäviä. Tehtävien vastauksiin liittyen on käytössä matikkaeditori, joten vastaaminen on helppoa.

Tehtävien lisäksi on koostettu valmiita kokeita. Kokeet ovat muokattavassa muodossa, joten tarvittaessa jonkin tehtävän voi poistaa. Opettaja voi myös laatia täysin omia kokeita.

Opettajan tueksi on myös tehty arviointityökalu. Kun koe on käyty läpi ja pisteytetty, työkalu antaa suoraan arvosanan.

Työkalussa on myös kattavasti teoriaosuuksia, joista voi koota kurssseja tai sitten muuten ottaa tarvittavia paloja, jos oppikirjan tiedot eivät riitä. On myös katta-

va kokonaisuus ohjelmoinnista ja algoritmista ajattelusta. Fysiikasta on tulossa uutta materiaalia, jossa on erityisesti huomioitu kokeellisuus käyttämällä videoita ja simulaatioita.

Järjestelmässä on myös kattavat alkukartoitukset toiselle asteelle. Alkukartoitus on monivalintakoe, jossa arvotaan 40 tehtävää ja kokeeseen on aikaa 60 minuuttia. •

MAOL²-oppimisympäristön esitteli Tampereen seminaarissa Inkeri Tuomela (MAOL).

MAL tutustui huippututkimukseen Kajaanissa



Sekä CSC:n konesalit että MIKESin Kajaanin yksikkö sijaitsevat entisen paperitehtaan tiloissa. Näkymiä alueelta.

Kuvat: Lauri Toivonen.

MALin 60-vuotisjuhlinnan yhtenä osiona syksyllä 2021 piti olla ekskursio Kajaaniin, erityisesti CSC:n LUMI-supertietokoneelle, mutta korona sotki suunnitelman, ja retki toteutui loppujen lopuksi vasta lokakuun 12.–13.10.2023. Kohteiden kiinnostavuuden ohella ajatuksena oli tarjota MALin tapahtumia myös kauempana pääkaupunkiseudusta. Määrällisesti jouduttiin pettymään, kun osanotto jäi neljään MALilaiseen. Ikäjakaumaltaan ja alueellisesti retkikunta oli kuitenkin melko edustava: mukana olivat Oulusta puheenjohtaja **Esko Juuso** ja matemaatikko **Jenni Suonperä**, ja Helsingin seudulta Aalto-yliopiston teekkari **Lauri Toivonen** sekä MALin tiedottajana eläkepäivinään toimiva matemaatikko **Ilkka Norros**. Retken sisältö oli antoisa, etenkin etelän miehelle, jonka mielikuvissa Kajaanin kaupunkiin ei ensimmäiseksi assosioitunut korkeatasoinen matemaattis-luonnontieteellinen tutkimus- ja kehitystyö. Isäntämme tosin kertoivat, etteivät kajaanilaiset itsekään tiedä tästä vielä niin laajalti kuin olisi aihetta. Koko Renforsin Rannan yritysalue on erinomainen esimerkki lakkautetun paperitehtaan alueen uusiokäytöstä.

Uusia mittaustekniikoita kehitteillä Kajaanin yliopistokeskuksessa

Ensimmäinen vierailukohteemme oli Kajaanin yliopistokeskus. Oulun yliopiston koordinoiman keskuksen osapuolia ovat myös Itä-Suomen, Jyväskylän ja Lapin yliopistot. Tutustuimme kahteen Oulun yliopiston yksikköön. Mittaustekniikan yksikön tutkimuspäällikkö **Jarkko Rätty** kertoi, että Mittaustekniikan keskus on alun perin perustettu tänne puuteollisuutta tukemaan. Kyseessä on

puhdas tutkimusyksikkö, se ei anna opetusta. Nykyäänkään se ei harjoita perustutkimusta, mutta kertoo edustavansa erikoisaloillaan kansainvälistä huippuosaamista, jonka läsnäolosta harva kajaanilainenkaan tietää - esimerkiksi sitä, että Lumenen Lingonberry extract -tuote on kehitetty täällä.

Keskus kehittää yhtenä painopisteensä monipuolista vesiosaamista, mm. sulfaattien (SO_4) ja raskasmetallien erottamista sekä mikromuovien reaaliaikaista mittaamista vedestä. Esimerkiksi keskuksen ARMINE-menetelmä tarjoaa erityisesti kehitysmaiden tarpeisiin soveltuvan edullisen tavan mitata juomaveden arseenipitoisuutta.

Merkittävä perspektiivi on ylikiertisen hiilidioksidin käyttämisellä yhdisteiden uuttamiseen kiinteästä aineesta, jolloin ei tarvita lainkaan öljypohjaisia liuottimia. Kyseessä on pitkään periaatteessa tunnettu menetelmä, jonka käytännöllinen merkitys on kuitenkin nousut vasta viime aikoina, kun liuottimia halutaan välttää ympäristösyistä. Riittävän kilpailukykyisten ratkaisujen kehittäminen on kuitenkin vaativaa, ja Kajaanin keskus on tässä pitkällä. Sen kehittämä jatkuvatoiminen hiilidioksidiuutto edustaa maailman kärkeä alalla.

Oulun yliopiston Ympäristö- ja kemiantekniikan yksikön Sääätötekniikan tutkimusryhmässä puolestaan kehitetään muun muassa biojalostamomittauksia sekä data-analyysin ja optimoinnin menetelmiä, joista meille kertoi TkT **Petri Österberg**. Uudenlaisella data-analyysillä pyritään nykyään saamaan entistä enemmän tietoa irti monenlaisista suhteellisen yksinkertaisistakin mittauksista, jotka eivät alkeellisemmillä analyysimetodeilla paljastaneet ollenkaan niin paljon.

Matemaattinen tutkimus siis tässäkin aihepiirissä vahvasti mukana siinä missä biologia, kemia ja fysiikkakin.

MIKES toimii myös Kajaanissa - tutkimustyötä tarjolla fyysikoille

Mittaustekniikan keskus MIKES on ollut jo erinäisiä vuosia Teknologian tutkimuskeskus VTT:n osa. VTT MIKESillä on Otaniemessä sijaitsevan erikoisrakenteisen keskuksensa lisäksi Kajaanissa entisen paperitehtaan alueella toimipiste, jota meille esittelivät tutkimustiimin päällikkö **Rikhard Högstrom** ja eri tutkimusalueiden asiantuntijat. Högstrom toivoisi tutkimustyötä kiinnostuneita löytyvän kotimaasta runsaammin, kun otetaan huomioon, että ulkomaisia hakijoita on tarvittaessa tullut mukavasti ja monet ovat myös saaneet täältä hyvän tutkimustyöpaikan.

MIKESillä on lakimääräinen velvoite ylläpitää ja kehittää mittayksiköiden kalibrointia ja välittää osaamista teollisuuteen. Yritykset tuovat mittalaitteitaan MIKESiin kalibroitaviksi. Mittausten tarkkuusvaatimukset ovat nykyään usein erittäin korkeita, esimerkiksi GPS:n toiminta edellyttää atomikellon tarkkuutta. Kilogramma on kytketty Planckin vakioon ja Kelvin Boltzmannin vakioon. VTT MIKES pitää kansallisella tasolla huolta kansainvälisen SI-mittayksikköjärjestelmän ylläpidosta ja kehittämisestä. Kajaanissa kalibroivat suureet ovat nestevirtaus, voima ja vääntömomentti.

Voiman kalibrointia suoritetaan alueella 10N–1MN, pienemmän mittaasepävarmuuden ollessa 2×10^{-5} . Kalibrointilaitteita ovat muun muassa voima-anturit, voimamittauslaitteet, vaa'at ja vetokoelaitteet. Vääntö-

momentin kalibrointeja alueella 4 Nm ... 20 kNm, parhaimman mittauskäytyn ollessa 5×10^{-4} . Kalibroituja laitteita ovat muun muassa vääntömomenttianturit, vääntömomentin kalibrointi- ja testauslaitteet sekä momenttiavaimet. Momenttiantureita käytetään erilaisten pyörivien koneiden tutkimiseen, esimerkiksi pumput ja moottorit.

Nestevirtausmittareiden kalibrointia varten MIKESin rakennuksessa on suurikokoisia putkistoja ja säiliöitä, joiden välillä vettä voidaan juokuttaa monenlaisilla paineilla ja nopeuksilla. Nestevirtausten tarkkaa mittaamista tarvitaan laajasti teollisuudessa. Säännöllinen kalibrointi ja stabiiliuden seuranta ovat oleellinen osa mittausten varmentamista. Korkea taso pidetään yllä osallistumalla alan kansainvälisiin tutkimus- ja vertailumittaushankkeisiin sekä toteuttamalla omia tutkimushankkeita. Kajaanin toimipisteessä käytetään kolmea eri kalibrointilaitteistoa, joista yksi on nestevirtauksen kansallinen mittanormaali. Kalibrointitulokset ovat jäljitettävissä kansainväliseen SI-mittayksikköjärjestelmään ja toiminta perustuu kansainvälisiin standardeihin. Entiset prosessitilat mahdollistavat suurien laitteistojen ja putkistojen sijoittamisen, esimerkiksi noin 8 m korkea voimanormaali ja nestevirtauksen mittanormaalina 20 metrin korkeudella oleva säiliö tilavuusvirta pidetään haluttuna.

Tieteen tietotekniikan keskuksen LUMI-supertietokone

MALin retken eksoottisin kohde oli tietenkin CSC:n uusi supertietokone. Sitä esitteli meille oululaislähtöinen projektipäällikkö **Mikko Kerttula**. LUMI on yksi EU:n supertietokonekonsortion EuroHPC:n kuudesta superkoneesta. Konsortiossa on 10 maata ja sen budjetti on 202 M€, mistä Suomen osuus 50 M€. Kerttula kiittää CSC:n johtajaa **Kimmo Koskea** ripeydestä, jolla LUMI saatiin mukaan EU:n kilpailuun konsortion jäseniä valittaessa – jos olisi vitkuteltu, ainutlaatuinen tilaisuus olisi mennyt sivuun. Kajaanissa on nyt saatu aivan uudentyypistä suuren mittakaavan toimintaa lakkautehtun paperitehtaan valtavalalla kiinteistöllä, josta CSC:n isot konesalitkin täyttävät vasta pienehkö osan.

Teknologian kehityslinjoja pohtiessa on mielenkiintoista, että nykyisten supertietokoneiden perustana ovat alun perin tietokonegrafiikka eli varsin viihteellistä käyttöä varten suunnitellut GPU-prosessorit (graphics processing unit), joita organisoidaan tuhansittain toimimaan tehokkaasti rinnakkain. LUMIn laiteoimittaja on Hewlett Packard Enterprise (HPE), GPU-prosessorit AMD:n, ja näitä yhdistää HPE:n oma Sling Shot -väylä. Mainittakoon myös, että HPE on ostanut superlaskennan entisen mahtitekijän Crayn.

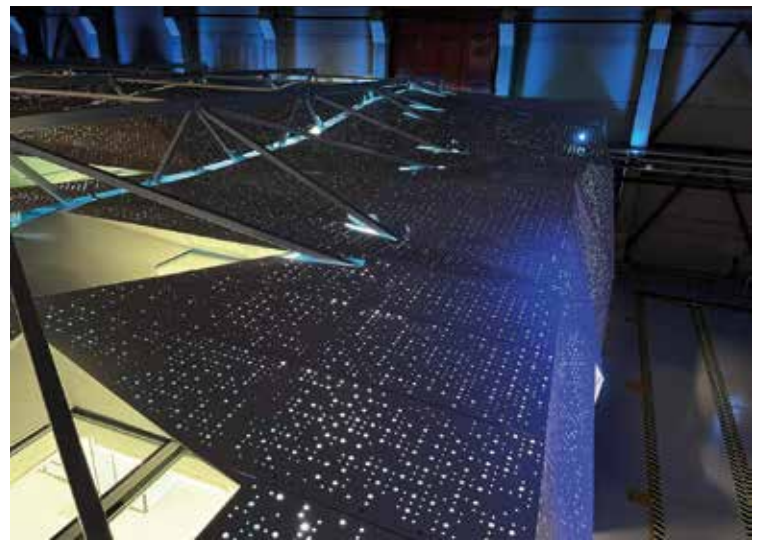
Moni muistaneekin Crayn pyöreää sohvaa muistuttavan designin takavuosilta. LUMI näyttää sen sijaan jotakuinkin samanlaiselta räkkirivistöltä kuin muutkin tietokonesalit. Kuten oheisista kuvista näkyy, sille on kuitenkin ymmärretty luoda esteettistä ykseyttä ja erityisyyttä valokuvien ja led-valojen avulla. Kokemus

MALin retkikunta LUMI-supertietokoneen design-räkkien edessä: vasemmalta Esko Juuso, Jenni Suonperä, Lauri Toivonen ja Ilkka Norros.

Kuva: Lauri Toivonen.

Ylätasanteelta nähtynä LUMI on kuin tieteiselokuvasta.

Kuva: Jenni Suonperä



¹ The European High Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC JU, <https://eurohpc-ju.europa.eu>)

LUMIn näkemisestä teollisuushallissaan ja sen räkkien välissä kävelemisestä jää mieleen.

Kerttula erittelee suurelle datakeskukselle asetettavat vaatimukset seuraavasti:

- SÄHKÖÄ! sitä on saatava edullisesti ja luotettavasti; hinta neuvotellaan pitkällä sopimuksella
- hukkalämmön hyödyntäminen
- suurivolyymiset ja luotettavat datayhteydet
- henkilökunta
- laitevalmistajien läsnäolo
- tutkimus-, kehitys- ja innovaatiopartnereiden (RDI) läsnäolo.

Näissä Kajaani siis kunnostautui EU:n konsortion jäsenvalinnassa. LUMIn energiantarven on 10 MW, ja hukkalämmön käyttöaste (Energy Reuse Factor, ERF) on korkea, kun sitä hyödynnetään kaukolämpöjärjestelmässä. Vertailun vuoksi Kerttula mainitsee, että Googlen datakeskus Haminassa käyttää 200 MW, ja hukkalämpö menee mereen. Järeä peruskiinteistö (brownfield) oli vapaana tarjolla paperitehtaan jäljiltä.

CSC:n ylläpitämä FUNET-verkko on tehokas ja luotettavaksi suunniteltu, kestäen yksittäisten linkkien ja solmujen vikaantumisen ilman muun verkon häiriintymistä. Nopea yhteys Aallon ja VTT:n kvanttietokoneeseen on jo olemassa. Nopeaa yhteyttä valmistellaan myös Far North Fiberiin (farnorthfiber.com), suureen datakaapeliin Pohjois-Norjasta Amerikan pohjoispuolitse Japaniin, jonka on määrä valmistua vuonna 2026.

Valtakunnan tasolla superlaskenta on jo monella dataintensiivisellä alalla hyvin käytössä, ja 20 prosenttia LUMIn kapasiteetista on varattu yritysten käyttöön. Kuten ylempänä tässä jutussa on ilmennyt, hyvien RDI-partnereiden paikallinenkin läsnäolo on kasvussa. CSC:llä työskentelee yli 600 henkilöä, Kajaanissa toki vain joitakin kymmeniä.

Esimerkkinä LUMIlla ajettavista jännittävistä hankkeista Kerttula mainitsee EU:n lippulaivaprojektin Destination Earth (destination-earth.eu), jonka tavoitteena on luoda Maan digitaalinen kaksonen suuren mittakaavan luonnonilmiöiden ja ihmisen toiminnan vaikutusten mallintamiseksi. •

Tässä numerossa kerrotaan MALin Kajaanin ekskursion yhteydessä LUMI-supertietokoneesta ja mainitaan joitakin lukuja laskennan energiatarpeista. Laskeminen vaikutti ennen vanhaan henkimaailman asialta, mutta reaali maailmassa sekin on aina fyysinen prosessi, ja laskentaan käytetty energiamäärä kasvaa nyt voimakkaasti kaikkialla maailmassa. Onko tällä periaatteellisia rajoja? Tätä tärkeää kysymystä valaisee MAL-lehden lukijoille Aarne Mämmelä, joka eläköityi hiljattain VTT:n tutkimusprofessorin toimesta Oulussa.

Aarne Mämmelä, prof.

Mooren laki ei ole luonnonlaki

Elektroniikkaa kutsuttiin ennen heikkovirtatekniikaksi, koska se kulutti sähkövirtaa ja tehoa huomattavasti vähemmän kuin aikaisemmat teknologiat. Ennen transistoria elektroniikkaa toteutettiin suurikokoisilla tyhjiöputkilla, jotka oli keksitty 1900-luvun alkuvuosina. Älypuhelimet ovat olleet tehorajoitettuja jo pitkään. Lähetysteho on hallinnut kokonaistehoa pitkillä linkeillä, mutta laskentateho (W) tulee merkittäväksi lyhyillä, alle 10 metrin linkeillä, ja tarvitaan kaupankäynti laskentatehon ja lähetystehon välillä. Esim. mikrosensorit toimivat tehotasolla 0,1 mW.

Puolijohteisiin perustuva transistori keksittiin 1947. Alussa puolijohteena toimi germanium, mutta sittemmin pääasiallisesti puolijohteeksi on tullut alkuaine pii. Elektroniikka on kehittynyt eksponentiaalisesti integroidun piirin keksimisestä lähtien. Integroidun piirin keksijöitä olivat **Jack Kilby** (1958) ja **Robert Noyce** (1959). Heistä Kilby sai Nobelin palkinnon vuonna 2000. Noyce oli tuolloin jo kuollut eikä siten voinut saada palkintoa, vaikka oli keksinyt todellisen integroidun piirin ilman Kilbyn tarvitsemia hyppylankoja.

Gordon E. Moore (1965) huomasi, että integroitujen piirien kehittymistä rajoittivat valmistuskustannukset. Hän ennusti, että yhdelle piirille mahtuvien transistorien lukumäärä kasvaa eksponentiaalisesti siten, että niiden lukumäärä kaksinkertaistuu joka vuosi. Kymmenen vuotta myöhemmin (1975) hän muutti ennustettaan siten, että lukumäärä kaksinkertaistuu joka toinen vuosi. Esim. **Raymond Kurzweil** (1999) on pitänyt Mooren lakia lähes luonnonlakina ja ennustanut sen jatkuvan ainakin vuoteen 2100 asti, minkä vuoksi on syntynyt ennusteita, jotka muistuttavat tieteiskirjallisuutta. Eksponentiaalinen kehitys on äärimmäisen nopeaa. Jotkut ovat kuvanneet asiaa siten, että kun eksponentiaalinen kehitys on päässyt alkuun, kompleksisuus kasvaa lopulta ”kirkuen kohden äärettömyyttä”.

Robert H. Dennard (1974) kehitti integroidun piirin suunnittelussa tarvittavat skaalauslait, joiden avulla Mooren lakia pidettiin ”hengissä”. Transistorin vaati-

ma pinta-ala puolittui aina kahden vuoden välein. Tämä miniaturisointi on tuottanut eksponentiaalisen kehityksen. Kysymys on ihmisen oppimisesta: pinta-alan puolittaminen on aina samantyyppinen ongelma, kunnes lähestytään fundamentaalisia rajoja. Mooren lain taustalla on kaksi fundamentalisempaa ennustetta, jotka koskevat laskentanopeutta ja kytkimen energiaa. David House (1975) huomasi, että miniaturisoinnin ansiosta kellotaajuutta voitiin kasvattaa, ja hän ennusti, että laskentanopeus kasvaa kaksinkertaiseksi aina 18 kuukauden kuluttua, mikä tarkoittaa satakertaista parannusta kymmenessä vuodessa. Tätä lakia kutsutaan usein virheellisesti Mooren laiksi, vaikka Mooren ennuste koski vain transistorien lukumäärää eikä kellotaajuutta.

Lain ansiosta tietoliikenteen siirtonopeudet satakertaistuneet

Robert W. Keyes (1979) huomasi, että kytkimen energia pienenee sadanteen osaan kymmenessä vuodessa. Tämä oli syy Housen ennusteeseen: jos piirin tehonkulutus pidetään vakiona, laskentanopeus voidaan tehdä satakertaiseksi kymmenessä vuodessa. Loogisten porttien (AND, OR, NOT) koko, kuormakapasitanssit ja käyttöjännitteet ovat pienentyneet. Keyes esitti ennusteensa useissa julkaisuissa myöhemminkin, viimeksi vuonna 2005. Yksittäinen portti vaatii keskimäärin neljä CMOS-transistoria (CMOS = complementary metal oxide semiconductor). CMOS-transistorin julkaisivat **Frank Wanlass** ja **Chih-Tang Sah** jo 1963, mutta siitä tuli valtavirtaa paljon myöhemmin, kun huomattiin sen pieni tehonkulutus kilpaileviin teknologioihin verrattuna. CMOS kuluttaa kytkimen kääntöön liittyvää dynaamista energiaa, mutta myös pienemmässä määrin vuotoverroista johtuvaa staattista energiaa.

Gene Frantz (2000) teki samanlaisen ennusteen signaaliprosessoreille ja **Jonathan G. Koomey** ym. (2011) havaitsivat saman kehityskulun yleistietokoneilla

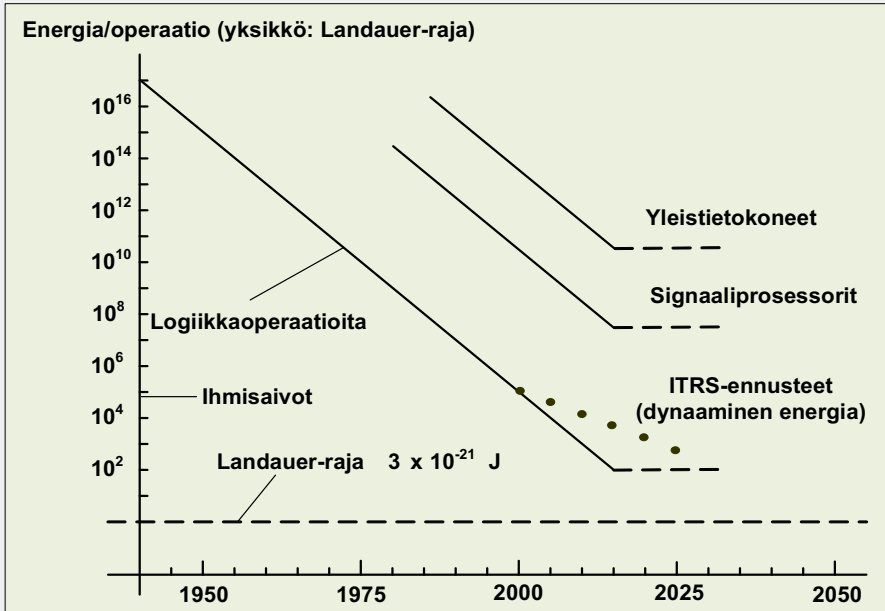


(kuva 1). Ainoa ero oli se, että operaation energiankulutus oli paljon suurempi, koska kukin operaatio vaatii suuren määrän loogisia operaatioita. Signaaliprosessorit ovat mikroprosesseja, jotka tekevät tehokkaasti digitaalisessa signaalinkäsittelyssä usein tarvittavia kerto- ja yhteenlaskuoperaatioita erillisen kertolaskupiirin avulla.

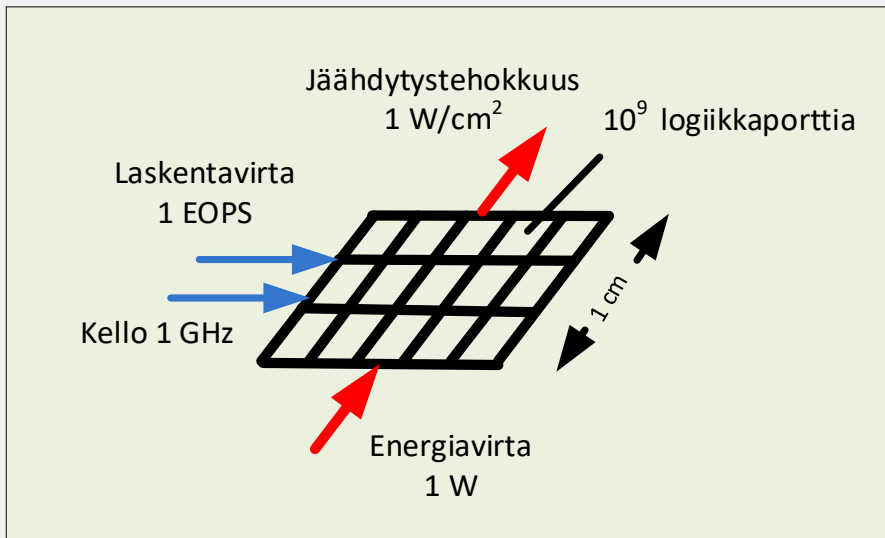
Mooren lain ansiosta tietoliikenteen siirtonopeudet ovat satakertaistuneet kymmenessä vuodessa. Bittinopeuksien eksponentiaalisen kasvun samalla linkinpitäydellä havaitsivat **Charles A. Eldering** ym. (1999) ja myöhemmin **Gerhard P. Fettweis** (2012). Samoin samalla tehonkulutuksella on yksittäisen piirin toiminnallisuudet voitu kasvattaa satakertaisiksi, mikä on vaikuttanut ilmiömäiseltä.

Kehitystä on rajoittanut tehonkulutus. Akkujen energiatiheys tilavuusyksikköä (J/l) kohti on kasvanut vain 50 % kymmenessä vuodessa. Kädessä pidettävä laite voi turvallisuussyistä kuluttaa tehoa enintään 3 W. Yksittäinen integroitu piiri voi kuluttaa tehoa enintään 200 W, koska muuten piirin jäähdyttäminen tulee vaikeaksi. Suojaamattomana tuollainen tehonkulutus aiheuttaa turvallisuusongelman ihmiselle, sillä piirin lämpötila voi ylittää 100 °C. Lisäksi jos piiriä ei jäähdytetä, transistorit tuhoutuvat lämpötilan noustessa liian korkeaksi. Energian säilymislain mukaan kuluttu energia ei katoa minnekään, vaan se pitää siirtää ympäristöön joko puhaltimella tai nestejäähdetyksellä. Samasta syystä auton ja traktorin moottorissa on jäähdyttäjät. Jäähdytystehokkuudella on olemassa yläraja.

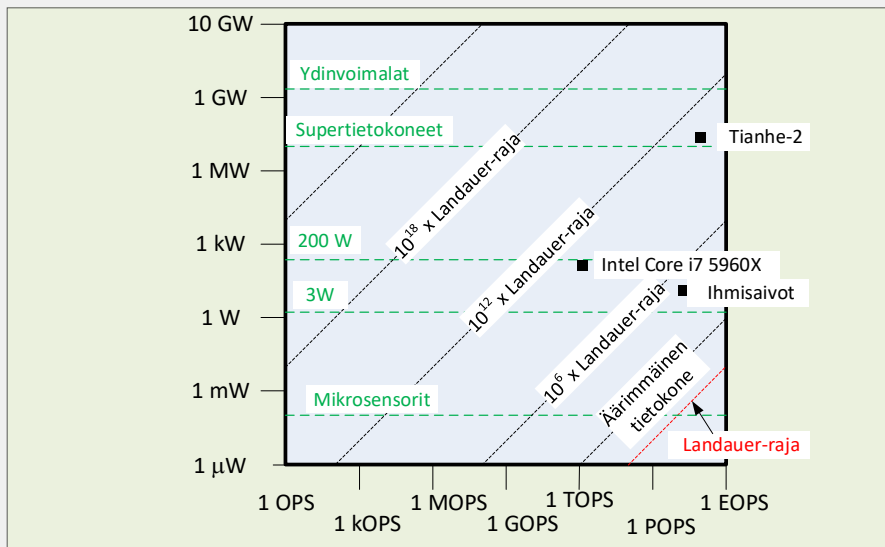
Käytännössä kehitys ei voi jatkua loputtomasti äärellisessä maailmassa. Elektroniikan miniaturisointia rajoittavat aineen muodostuminen atomeista, pienten hiukkasten lämpökohina ja kvanttikaaniset ilmiöt Heisenbergin epätarkkuusperiaatteen mukaisesti. Transistori on pohjimmiltaan kytkin, jonka kääntäminen vaatii energiaa. Tuon energian E_{sw} pitää olla kohinatason yläpuolella, sillä muuten kytkin toimii epäluotettavasti. **Leo Szilard** (1929) johti pienimmän



Kuva 1. Mooren, Frantzin ja Koomeyn ennusteet (© IEEE).



Kuva 2. Äärimmäinen tietokone (OPS = operations per second) (© IEEE).



Kuva 3. Tehonkulutus ja Landauer-raja (© IEEE).

tarvittavan energian, joka on $E_{sw}^{min} = N_0 \ln 2$, jossa $N_0 = kT$ on kohinan tehoitiheys, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ on Boltzmannin vakio ja T on absoluuttinen lämpötila kelvineinä. Jos esim. $T = 300 \text{ K}$, pienimmäksi energiaksi tulee $3 \cdot 10^{-21} \text{ J}$. Pienintä energiaa E_{sw}^{min} kutsutaan usein Landauer-rajaksi, koska Rolf Landauer (1961) tutki rajan seurauksia. Landauerin mukaan juuri tuon verran energiaa vähintään tarvitaan yhden bitin pyyhkimiseen muistista.

Käytännössä kytkimen energian on oltava paljon suurempi eli $E_{sw} \gg E_{sw}^{min}$, sillä lähellä kohinarajaa kytkin tulee hyvin epäluotettavaksi. Rajalla kytkimen virhetodennäköisyys on 0,5 eli puolessa tapauksista kytkin toimii virheellisesti ja kytkin on käyttökelvoton. Kompleksinen piiri koostuu miljardeista transistoreista. Järjestelmän luotettavuutta voidaan arvioida laske- malla, kuinka monta virhettä järjestelmä tekee esim. yhdessä vuodessa. Mitä suurempi järjestelmä on, sitä kauempana on oltava Landauer-rajasta. Kompleksisessa järjestelmässä energiankulutusta kasvattavat pitkien johtimien suuret kapasitanssit. Lisäksi pitkät johtimet aiheuttavat suhteellisen isoja viiveitä, jotka hidastavat toimintaa ja johtimet vievät myös suuren tilan. Valmistuskustannukset ovat myös suuria piirien dimensioiden pienentyessä. Suurimpia piirejä valmistaa enää muutama yritys maailmassa, ja piirien valmistaminen vaatii kansainvälistä yhteistyötä.

Kehityksen ennustettiin lakkaavan

Elektroniikan kehityskulkua on ennustanut vuodesta 1998 elektroniikkateollisuuden toimittama raportti, jonka nimi on International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS). Vuodesta 2001 lähtien raporttiin tuli mukaan kytkimen energia, jonka ennustettiin pienentyvän enää kymmenenteen osaan kymmenessä vuodessa eli muutosnopeus oli mennyt puoleen aikaisemmasta. Mooren lain ennustamasta eksponentiaalisesta kehityksestä ja luonnon fundamentaalisista rajoista johtuen päädyttiin noin 60 vuoden kehityksen jälkeen lähelle Landauer-rajaa. Mooren laki kohtasi ongelmia jo vuoden 2004 paikkeilla. Tuolloin suurimmat kelloaajuudet jäähmettyivät tasolle 3-4 GHz, eikä kaikkia transistoreita enää voitu käyttää samanaikaisesti tehonkulutuksen vuoksi. Alettiin puhua ”pimeästä piistä”. Mooren laki oli yhä voimassa, mutta tähän liittyi pientä harhauttamista, koska kaikkia piirillä olleita transistoreita ei voitu käyttää samanaikaisesti kuten aikaisemmin.

Operaatioiden kompleksisuutta voidaan mitata loogisten operaatioiden lukumäärällä. Teho voidaan laskea teoriassa kertomalla sekunnissa tehtyjen operaatioiden lukumäärä ja energia/operatio. Esim. 16 bitin kertolasku vaatii 3000 porttia ja jos toimitaan energiatasolla, joka on esim. sata kertaa Landauer-raja, kertolaskun vaatimaksi energiaksi tulee 1 fJ. Voidaan arvioida, että äärimmilleen vietynä tietokone voi teoriassa suorittaa 10^{18} loogista operaatiota sekunnissa wattia kohden (kuvat 2 ja 3).

Transistorin miniatyrisoinnissa tärkeä mitta on hilan pituus, jotka rajoittaa paitsi Landauer-raja myös Heisenbergin epä tarkkuusperiaate. **Victor V. Zhirnov** ja **Ralph K. Cavin** (2013) arvioivat, että hilan pituus on pienimmillään hieman alle 5 nm käytettäessä varauksenkuljettajina elektroneita. Tuolle matkalle 5 nm mahtuu rinnakkain vain noin 18 piiatomia. Hilanpituutta voidaan hieman pienentää käyttämällä massaltaan raskaampia varauksenkuljettajia.

Vuonna 2016 ennustettiin kehityksen lakkaavan viiden vuoden kuluttua. Sen vuoksi transistoritason ennusteet on korvattu laite- ja systeemitason ennusteilla raportissa, jonka nimi on International Roadmap for Devices and Systems (IRDS).

Kun Mooren laki on pysähtynyt eikä skaalaus siis enää toimi, ovat hyvät neuvot kalliita. Eksponentiaalista kehitystä ei enää voida ylläpitää. Jos esim. siirtonopeutta kasvatettaisiin eksponentiaalisesti, myös tehonkulutus kasvaisi eksponentiaalisesti ilman Mooren lain ”apua”. On turvaututtava järjestelmän suunnitteluun. Suunnittelussa pitää olla hyvä vastavuus laskentatehtävän ja laskenta-alustan välillä. Esim. ihmisen aivot ovat kehittyneet hahmontunnistukseen ja kuluttavat tehoa vain 20 W, vaikka laskentanopeudeksi on arvioitu yli 10^{16} operaatiota sekunnissa. Elektroniiikassa on ajatus käyttää kiihdyttimenä sovelluskohtaista laskentaa yleiskäyttöisen laskennan ohella. Isoissa laskentatehtävissä piirien väliset liitännät vaativat paljon tehoa, koska liitännöissä syntyy suuria kapasitansseja.

Ympäristön lämpötilaa voidaan laskea, sillä Landauer-raja riippuu lämpötilasta. On kuitenkin arvioitu, että jäähditys vie enemmän tehoa kuin säästää. Menetelmä toimii avaruudessa, jossa lämpötila on 3 K eli sadasosa huoneen lämpötilasta, mutta sielläkin ongelmaksi muodostuu jäähdyttäminen, jonka täytyy perustua säteilyyn, kun ympärillä ei ole ilmakehää, joka voisi kuljettaa lämpöä pois eikä se välttämättä onnistu pienessä tilassa.

Charles H. Bennett (1973) osoitti, että Landauer-raja ei ole voimassa palautuville (reversible) operaatioille, joissa tulosignaali voidaan laskea lähtösignaalin perusteella, mutta laskenta on hidasta ja saavutettu etu voidaan menettää johtimien kapasitansseissa. Vaihtoehtona usein mainitut kvanttietokoneet eivät ole yleistietokoneita vaan supertietokoneen kiihdyttimiä erikoistehtävissä. Esim. kokonaisluvun jako tekijöihin salauskoodin purkamisessa onnistuu kvanttietokoneella tehokkaasti. Nykyiset kvanttietokoneet toimivat vain hyvin matalissa lämpötiloissa ja ovat siksi suurikokoisia. Järjestelmän osien nukuttaminen on yksi mahdollisuus ja sitäkin jo käytetään pimeän piin tapauksessa. Aivoissammekin vain muutama prosentti aivosoluista on samaan aikaan toiminnassa. Laskentaa voidaan siirtää supertietokoneeseen pohjautuvaan pilveen, jossa on enemmän laskentakapasiteettia, mutta tämä vaatii enemmän tietoliikennettä eikä vähennä kokonaistehonkulutusta. Algoritmeissa kannattaa käyttää mahdollisimman yksinkertaisia operaatioita. Esim.

jakolasku on paljon monimutkaisempi kuin kertolasku, joka taas on paljon monimutkaisempi kuin yhteen- ja vähennyslasku. Laskentatarkkuuden pienentäminen vähentää tehonkulutusta, samoin ohjelmitavuudesta luopuminen erikoislogiikkaa käyttäen. Tarkka analogia digitaalimuunnin on pullonkaula tehonkulutuksen kannalta, ja siksi analoginen laskenta on yksi mahdollisuus, jos sen tarjoama huono laskentatarkkuus riittää.

Puolijohde-elektronikan nopean kehityksen mahdollistama ihmiskunnan suuri seikkailu on ohi, mutta uusia keksintöjä tehdään jatkuvasti. •

Lähteet:

International Roadmap for Devices and Systems, https://en.wikipedia.org/wiki/International_Roadmap_for_Devices_and_Systems

Mooren laki, https://fi.wikipedia.org/wiki/Mooren_laki

A. Mämmelä and A. Anttonen, "Why will computing power need particular attention in future wireless devices?" IEEE Circuits and Systems Magazine, vol. 17, pp. 12-26, First Quarter 2017.



UUTISIA

Kvanttitekniikan standardointi alkamassa

Kvanttialan toimijat haluavat jo standardoida tiettyjä alueita tällä laajalla kentällä yhteentoimivuuden, innovoinnin ja tehokkuuden vahvistamiseksi. Suomen Standardisoimisliitto (SFS) kertoo, että Euroopassa CEN ja CENELEC perustivat maaliskuussa 2023 yhteisen JTC 22 Quantum Technologies -komitean. ISO ja IEC ovat nyt yhdistäneet valmistelutyönsä yhteiseen JTC 3 Quantum Technologies -komiteaan. Suomessa aihetta seurataan SFS:n SR 313 Uudet IT-alueet asiantuntijaryhmän sisällä, ja ryhmä nimeää keskuudesta asiantuntijat kansainvälisiin työryhmiin. •



Muistokirjoitus: Pekka Koivisto

Pekka Koivisto, pitkäaikainen SMFL/MALin jäsen, kuoli joulukuun 2023 alussa. Pekka opiskeli Helsingin yliopistossa ensin ”matikan maisteriksi” eli filosofisessa tiedekunnassa filosofian kandidaatiksi (maisteri) pääaineenaan matematiikka. Aikaa ei tainnut kuluakaan juuri lainkaan ja opiskelu oli mieluista. Pekka lähtikin opiskelemaan oikeustiedettä ja valmistui oikeustieteen kandidaatiksi (maisteri). Työuransa Pekka teki juristina valtion virastoissa ja ministeriössä. Eläkkeelle hän jäi Suomen Pankista.

Pekka oli hyvin aktiivinen SMFL/MALin jäsen. Hallitukseen hänet valittiin 1995, ja pesti kesti vuoteen 2020 asti. Hän oli viimeksi varapuheenjohtaja vuodesta 2005 vuoteen 2020 saakka. Ensimmäisinä vuosina hän oli mm. taloudenhoitaja. Pekka oli todella aktiivinen mm. järjestö- ja koulustoiminnan kehittämiseksi. Hän oli uudistamassa SMFL:n nimenmuutosta MALiksi, samalla uudistettiin myös sääntöjä. Näissä säännöissä mm. kirjattiin, että yhden hallituksen jäsenen tuli olla opiskelija. SMFL/MALin juhlien järjestelytoimikunnan puheenjohtajana Pekka oli myös hyvin aktiivinen, yhdistyksen juhlia järjestettiin arvovaltaisissa paikoissa kuten Helsingin yliopiston juhlasalissa ja Vanhalla ylioppilastalolla. Hän oli myös mukana järjestämässä SATia eli kansainvälistä Science, Art, and Technology -konferenssia Helsingin yliopistolla. Pekka oli aktiivisesti mukana järjestämässä kaikille jäsenille suunnattuja seminaareja. Hän oli myös SMFL/MALin kehitysseminaarien matkanjohtaja.

Pekka oli aktiivinen sekä TEKissä että Akavassa. Hän oli mm. monia vuosia TEKin Järjestö- ja jäsenpalveluliikunnassa.

Joskus hallituksen kokouksissa oli Pekan mukana ääneton osallistuja: Pekan koiria. Se olikin hyvin kohtelias ja ystävällinen, kävi tervehtimässä kaikki läsnäolijat ja asettui sitten Pekan luo.

Pekka oli ystävällinen, rauhallinen ja ymmärtäväinen henkilö. Hän kuunteli, mitä toisilla oli sanottavanaan. Emme muista hänen koskaan korottaneen ääntään.

Pekan yhtenä harrastuksena oli veneily. Hän taisi luopua veneestä jo useita vuosia sitten. Ulkoilmaelämä ja remonttien tekeminen oli kuitenkin mieluista.

TEK myönsi viime vuonna Pekalle jetonin elITEKin arvokkaan ansiomerkin. •

Merja Korpela

Suomen kielen asema tieteiden ja tutkimuksen kielenä

Janne Saarikivi TEKin Pilkku-kerhon tilaisuudessa 6.11.2023

Janne Saarikivi on yhdessä Jani Koskisen kanssa tehnyt yliopistojen kielivalinnoista selvityksen ”Monikielistä sivistystä vai englanninkielisiä ratkaisuja?” Selvitys on tehty Opetus- ja kulttuuriministeriön toimeksiannosta, ja se on julkaistu OKM:n julkaisusarjassa numerolla 2023:24. Saarikivi kertoi selvityksen tuloksista.

Entisen tiedeministerin **Petri Honkosen** tilaaman selvityksen keskeisenä asiana oli selvittää eri yliopistojen kielikäytänteitä: mitä kieltä käytettiin kandidaatti- ja maisteritutkinnoissa sekä opinnäytetöissä? Osana selvitystä tehtiin myös fokusryhmähaastatteluita ja opiskelijoille suunnattu kysely.

Poimintoja esityksestä

Eurooppalainen yliopistojärjestelmä on arabialaisen järjestelmän kopio. Ensimmäiset yliopistot syntyivät Kalifaatin aikana Kairoon ja Bagdadiin, ja niissä käytettiin tietenkin arabiaa. Kun siirryttiin Eurooppaan, niin Bolognassa käytettiin latinaa, samoin kuin Pariisiin 1300-luvulla perustetussa Sorbonnen yliopistossa.

1640 perustettiin Turun Akademia, jossa jo 1700-luvulla saatettiin käyttää jonkin verran ruotsia. Tieteen kieli (väitöskirjat) oli kuitenkin latina. 1860-luvulla tehtiin ensimmäisiä suomenkielisiä tieteellisiä julkaisuja ja väiteltiin tohtoriksi ensimmäisen kerran suomen kielellä. Vasta 1900-luvun alkupuolella määrättiin sekä Helsingin että Turun yliopistojen opetuskieleksi suomi.

Suomessa on annettu yliopistoissa noin 100 vuoden ajan suomenkielistä opetusta, mutta nyt siitä ollaan luopumassa vapaaehtoisesti. Saarikiven synkkä ennustus oli, että kohta tehdään viimeiset suomenkieliset väitöskirjat.

Bolognan prosessi, joka alkoi vuonna 2004, on aiheuttanut sen, että kieliolot ovat muuttuneet suomalaisissa yliopistoissa. Bolognan prosessin ideana oli saada aikaan yleiseurooppalainen tutkintojärjestelmä, jossa opiskelijoiden olisi helppo siirtyä yliopistosta toiseen. Tässä yhteydessä ei kuitenkaan ollut minkäänlaista puhetta kieliolosuhteista. Puhuttiin vain kansainvälisyydestä ja eurooppalaisuudesta.

Samanlainen kehitys kuin Suomessa on tapahtunut muissakin Euroopan maiden yliopistoissa. Bolognan prosessin seurauksena eurooppalaisiin yliopistoihin on syntynyt yli 10 000 englanninkielistä maisteriohjelmaa.

Noin 10 vuotta sitten englanninkielisiä maisteriohjelmaa oli vain muutamia, mutta nykyisin monissa yliopistoissa jo enemmistö maisteriohjelmissa on englanninkielisiä. Suomenkielissäkin maisteriohjelmissa on yleensä englanninkielisiä osioita.

Opiskelijoille suunnatussa opetuskieleen liittyvässä kyselyssä eniten vastauksia tuli kielitieteilijöiltä ja toiseksi eniten teknisten tieteiden opiskelijoilta, pääasiassa Aalto-yliopistosta ja Tampereen yliopistosta. Vastauksissa oli yllättävänkin paljon tyytymättömyyttä kielioloihin.

Tekniikan alan henkilöt tuntuivat olevan sitä mieltä, että englannin kielistä opetusta ei ole tarpeeksi. Toisaalta esim. lääkärit taas olivat sitä mieltä, että opetuksen tulee olla pääasiassa suomenkielistä. Myös kasvatustiede, oikeustiede ja teologia olivat aloja, joilla on pääasiassa suomenkielistä opetusta.

Aalto-yliopistossa yli 90 % maisteriohjelmissa on englanninkielisiä ja kandidaattiohjelmissa noin puolet. Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa on yksi suomenkielinen ohjelma. Kaikkiaan tämä tarkoittaa sitä, että tiedekunnassa on kansainvälisiä opettajia, jotka opettavat englanniksi eivätkä ota vastaan suomen- tai ruotsinkielisiä opinnäytteitä. Teknillisillä aloilla suuri osa graduista tehdään englanniksi, vaikka noin kolmella neljäsosalla opiskelijoista on suomen- tai ruotsinkielinen koulusivistys.

Kansainvälinen tutkimus on tärkeää, joten on ymmärrettävää, että jatkotutkinnot (väitöskirjat) tehdään pääasiassa englanniksi. Herää kuitenkin kysymys, missä määrin suomen kieli on monialaisesti käytettävä tieteiden kieli, jolle syntyy terminologiaa, jota käytetään luovassa tieteellisessä ajattelussa.

Ihmisillä on yleensä käsitys, että englannilla pärjää missä vain. He eivät kuitenkaan ole käyneet missä vain. Maapallolla on suuria alueita, joissa englannilla ei tule toimeen. Englantia pidetään eräänlaisena yleis-kielenä, ”lingua franca”.

Aikoinaan lingua franca oli Välimeren itäosien kieli, jolla viestivät arabit, espanjalaiset, portugalilaiset ja ne ryhmät, jotka asuivat Balkanilla ja Italian alueella. Sillä oli romaaninen pohja arabialaisilla sanoilla ryyditettynä. Kaikki merimiehet ja kauppiamiehet osasivat sitä monen sadan vuoden ajan. Kielessä oli hyvin vähän sanoja ja hyvin vähän kielioppia ja sitä käytettiin, kun haluttiin puhua yksinkertaisista asioista vähän.

Tiede puolestaan on sellaista, että siinä puhutaan monimutkaisista asioista paljon. Siihen ei sovellu kovin yksinkertainen kieli.

Maailmassa on kaikkiaan noin 10 000 kieltä. Näistä 10 on sellaisia, joita puhuu puolet maailman väestöstä. Englantia enemmän puhujia on kiinalla ja espanjalla. Maailman väestöstä noin 1,5 miljardia osaa englantia jollakin tasolla. Englantia äidinkielenään puhuvia on noin 400 miljoonaa.

Jostain syystä Suomessa on traditiona puhua kansainvälisyydestä, mutta sillä kuitenkin tarkoitetaan englanninkielisyyttä. Maailmassa on paljon tieteen traditioita, jotka eivät ole englanninkielisiä. Vahvimmat näistä ovat ranskankielinen, venäjänkielinen, espanjankielinen ja saksankielinen ja tietenkin myös Kaukoidässä käytössä olevat kielet.

Suomen yliopistot ovat joko suomen- tai ruotsinkielisiä tai kaksikielisiä. Englanninkielisiä yliopistoja ei maassamme tulisi olla. Yliopistoilla on runsaasti erilaisia kielistrategioita, mutta ne tuntuvat olevan kovin ympäripyöreitä ilman mitään sitovia määräyksiä.

Yliopistoissa kieliolosuhteet ovat hyvin säätelämättömät. Niissä on paljon kansainvälisiä opiskelijoita ja kansainvälistä henkilökuntaa, mutta ei ole minkäänlaisia suunnitelmia siitä, minkälaista kielitaitoa heiltä vaaditaan, eikä minkäänlaisia prosesseja sille, miten heille opetetaan kansalliskieliä.

Korkeakoulupoliittinen selonteko vuodelta 2022 linjaa, että ulkomailta tulisi korkeakouluihin opiskelijoita kolme kertaa enemmän kuin heitä on nykyisin. Tällä hetkellä ulkomaisia opiskelijoita on noin 7 %.

Toisena tavoitteena on, että valtaosan opiskelijoista tulisi työllistyä Suomessa. Tällä hetkellä kansainvälisistä opiskelijoista työllistyy Suomessa alle 50 %. Ylivoimaisesti suurin syy työllistyä Suomeen on suomalainen puoliso tai partneri. Toisena syynä on se, että opiskelija on oppinut suomen kielen.

Myös sosiaaliset hierarkiat rakentuvat eri kielissä eri tavoilla. Selvityksessä tuli esille, että kun sisäisessä kommunikaatiossa kieli vaihtui suomesta englanniksi, niin sosiaaliset suhteet muuttuivat. Kävi niin, että ne, jotka aikaisemmin puhuivat kaiken aikaa, olivatkin hiljaa ja ne, jotka olivat aikaisemmin hiljaa, puhuivat kaiken aikaa. Kielen vaihtumisella voi olla suuri merkitys sosiaalisten suhteiden muodostumiselle.

Haastatteluilta tuli myös esille, että suomenkieliset opiskelijat osasivat englantia paremmin kuin kansainväliset opiskelijat ja monesti opettajat joutuivat opettamaan heille myös englantia. Opettajille oli hieman outo ajatus, että kansainvälisille opiskelijoille voisikin opettaa englannin sijaan suomea. •

TEKin PILKKU-kerhon tarkoituksena on kiinnittää huomiota suomen kielen puhtauteen, erityispiirteisiin sekä kielen käyttöön erityisesti tekniikan alalla sekä toimia jäsentensä yhdyssiteenä, seurata ja edistää alansa ja yleensä tekniikan kehitystä Tekniikan Akateemiset ry:n sääntöjen 2§ hengessä.

MAHTAVAA MATEMATIIKKA



Esko Juuso ja Ilkka Norros

MALin matemaatikkoelokuva 2023: Hidden Figures - varjoon jääneet

Mahtavaa matematiikkaa -teemapäivää marraskuun ensimmäisenä torstaina vietettiin jo neljättä kertaa. MAL osallistui tähän TEKin koordinoimaan tapahtumakokonaisuuteen tarjoamalla jälleen ilmaisnäytöksen matemaatikkoiheisesta elokuvasta. Filmi oli nyt NASAn mustista naismatemaatikoista 1960-luvun alussa kertova Hidden Figures – Varjoon jääneet (2016).

Theodore Melfin ohjaama ja osin käsikirjoittama elokuva perustuu **Margot Lee Shetterlyn** samannimiseen tietokirjaan. Varjoon jätettyjä historian sivuja valaiseva teos herätti runsaasti huomiota ilmestyessään 2016, käännettiin pian suomeksikin, ja MAL-lehti esitteli sen numerossaan 1/2019 **Martti Annanmäen** toimesta. Teknillinen matematiikka oli yleisissä mielikuvissa ja elokuvissa ollut valkoisten miesten puuhaa, mutta todellisuudessa tätä työtä tekivät jo tuolloin myös naiset, ja 1950-luvun Yhdysvalloissa, rotuerottelun aikanakin, myös mustat naiset.

Elokuvan tapahtumia ja sivuhenkilöitä on jonkin verran ”säädetty” draaman ehdoilla vetävämmiksi (ks. en.wikipedia.org/wiki/Hidden_Figures), mutta ilmeisen taitavasti: tietokirjailija Shetterly antoi tarinasäädöille hyväksyntänsä, ja toisaalta tuloksena oli suuri yleisömenestys, palkintoja sekä kolme Oscar-ehdokkuuttakin.

Elokuvan päähenkilöinä on kolme naista, keskeisimpänä **Katherine Johnson** (1918–2020), jonka pitkä ura ulottui avaruussukkuloiden ja Mars-lentojen suunnitteluun (ks. en.wikipedia.org/wiki/Katherine_Johnson). **Dorothy Vaughan** (1910–2008) siirtyi elokuvassa käsin laskemisesta IBM:n tietokoneen ja FORTRAN-kielen käyttäjäksi. **Mary Jackson** (1921–2005) oli NASAn ensimmäinen musta naispuolinen insinööri.

Elokuvassa päähenkilöiden elämäntarinat nivoutuivat onnistuneesti tapahtuma-ajan monitahoiseen historialliseen kehitykseen. Elokuva käynnistyy avaruuslentojen alkuvaiheista suurvaltakilpailuineen ja kehityskulku johtaa Yhdysvaltojen historian eräseen suurimpaan saavutukseen – astronauttien lähettämiseen kuuhen. Elokuva dokumentoi näitä tapahtumia ja kehitysvaiheita, mutta on paljon enemmän.

Sotapommitusten vuoksi monien alojen työvoimaterve tuo mahdollisuudet siihen, että mustien matematiikan opettajien kyvyille löytyi Langley'n tutkimus-

keskuksessa käyttöä jopa jyrkän rotuerottelun aikana. Aluksi heitä käytettiin laskukoneina, joiden tiedon-saantia pidettiin rajoitettuna. Vaatimustaso kasvoi monipuolistuvan matemaattisen tarkastelun myötä. Päähenkilöt sitoutuivat työhönsä ja kehittivät vaatimusten kasvaessa huolimatta monista syrjivistä käytännöistä. Kasvava osaaminen toi heille uusia tehtäviä eräiden esimiesten vastahakoisuudesta huolimatta.

Ratkaiseva muutos tapahtui tuulitunnelikokeiden laajentuvan käytön myötä. Ryhmän johtaja **Al Harrison** ymmärsi, että koetulosten jakaminen myös mustille laskukoneille tuli välttämättömäksi, kun yhä suurempi määrä lukuja monista mittalaitteista piti yhdistää nopeasti fyysikaalisiin teorioihin. Laskenta tehostui edelleen tietokoneiden kehittämisen ja käyttöönoton kautta. Dorothy Vaughan oli jo mukana tässä ymmärrettyään tietokoneiden merkityksen tulevaisuuden työelämässä. Ajateltiin, että laskijoiden työtä ei enää tarvita. Elokuvan lopussa Katherine Johnson sai kuitenkin vielä **John Glennin** lennon yhteydessä tarkistustehtävän, joka osoittautui hyvin merkittäväksi turvallisen laskeutumisen varmistamisessa.

Päähenkilöt myötävaikuttavat oman työnsä kautta osaltaan rotuerottelun hävymiseen aluksi Langley'n tutkimuskeskuksessa ja myöhemmin hiljalleen muualla ja jopa Virginian osavaltiossa. He saivat merkittävää tunnustusta ja pitkän uran NASA:ssa. Elokuva luo pääpiirteissään hyvän kuvan aikakauden kehitystrendeistä. Lisätietoa todellisista tapahtumista löytyy Shetterlyn tietokirjasta.

Helsingin esitys oli Orionin talon vesivahingon johdosta Kino K13 -teatterissa Katajanokalla. Tarjolla olleet 100 ilmaislippua varattiin kaikki, joskaan paikalle ei saapunut aivan tätä määrää. Esityksen jälkeisen keskustelun aluksi **Konsta Ojamaa** kertoi Helsingin Pelastakaa lapset ry:n hankkeesta ”Arvosanat ylös!”, jonka puitteissa yli 80 Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston opiskelijaa on ollut vapaaehtoisina mukana matikkatukea tarvitsevien koululaisten mentoroinnissa (pelastakaa lapset.fi/helsinki/etusivu/mentorointi). Elokuvasta pidettiin kovasti, ja yleisöstä löytyi myös tähtitieteen asiantuntemusta.



Oulussa oli kaksi esitystä, jotka Elokuvateatteri Star järjesti aikaisempien vuosien tapaan: istunnoista maksettiin vakiohintaa täydennettynä valituilla leffaherkuilla. Osallistujia sai ottaa sali täyteen ja heitä tuli yli 120. Tapahtuma on tullut vuodelta tunnetummaksi ja kouluopetuksen seminaarisarja on edelleen vahvistanut kiinnostusta. Nyt tapahtumaa tuki ensimmäistä kertaa myös TEK. Samalla saatiin mukaan aikaisempaa vahvemmin Oulun korkeakoulujen TEKKiläiset ja Oulun Teknillinen Seura.

Kummankin Oulun esityksen jälkeen oli 45 min keskustelu-aikaa, joka tuli käytettyä aktiivisesti loppuun asti. Oppilaat, opiskelijat, opettajat ja tutkijat sekä muut matematiikkaa ja luonnontieteitä työssään käyttävät tai käyttäneet toivat keskusteluun omia kokemuksiaan ja monenlaista asiantuntemusta. Elokuva pidettiin mielenkiintoisesti toteutettuna johdantona matemaattisten aineiden merkitykseen tunnetussa historiallisissa tilanteissa. Nykypäivän tilanteessa keskustelua herättivät oppimisalustat, digitaalisuus ja tekoäly yleisemmin, tulosten järjestyksen arviointi, kouluopetuksen työrauha sekä alueen kasvava tarve. Matikkatäti **Alli Huovinen** oli aktiivisesti mukana sekä tapahtuman edistämässä että keskusteluissa. •

MALin suunnitelmassa on jatkaa hyvän vastaanoton saanutta matemaatikkoelokuviensa sarjaa jälleen seuraavana Mahtavaa matematiikkaa -päivänä ensi marraskuussa.

Gunnar Nordström – suhteellisen merkittävä teoreetikko

Gunnar Nordströmin kuolemasta tuli viime jouluaattona sata vuotta. Hänen painovoimateoriasansa on epäilemättä suomalaisen teoreettisen fysiikan huippusaavutus.

Teoria jäi lopulta kakkoseksi yleiselle suhteellisuusteorialle, mutta parin vuoden ajan oli se paras selitys maailmassa.



Gunnar Nordström, Atelier Apollo 1916. Museovirasto.

Yleisen suhteellisuusteorian kehittänyttä **Albert Einsteinia** pidetään joskus yksinäisenä nerona, joka kehitti teorian, jota kukaan muu ei olisi kyennyt kehittämään. Todellisuudessa harva tutkija toimii täysin irrallaan muusta tiedeyhteisöstä. 1910-luvulla moni tutkija pätkäili painovoiman yhdistämistä erityiseen suhteellisuusteoriaan.

Ainakin seitsemän tutkijaa kävivät kilpajuoksua yleisen suhteellisuusteorian kenttäyhtälöiden löytämiseksi. Einsteinin lisäksi mukana kilvassa olivat **Max Abraham**, **David Hilbert**, **Max von Laue**, **Gustav Mie**, **Henri Poincaré** sekä suomalainen Gunnar Nordström.

Gunnar Nordström syntyi Helsingissä 12.3.1881 vanhaan porvaris- ja pappissukuun. Hänen vanhempansa olivat professori **Ernst Samuel Nordström**, Taideteollisuuskoulun rehtori ja Ateneumin taloudenhoitaja, ja **Alina Sofia o.s. Hirn**.

Gunnar opiskeli koneinsinööriksi silloisessa Polyteknisessä instituutissa. Insinöörin ura ei selvästikään houkuttellut häntä, vaan hän päätti jatkaa opintojaan Helsingin yliopistossa. Siellä hän luki ennen kaikkea matematiikkaa ja fysiikkaa, mutta myös tähtitiedettä, kemiaa ja kansantaloustiedettä.

Nordströmin koulutukselle merkittävä ajanjakso oli vuoden kestänyt vierailu Göttingenin yliopistossa 1907–1908. Siellä hän opiskeli erityisesti sähkömag-

neettista kentäteoriaa, jota hänen filosofian lisensiaatin tutkintonsa käsittelee. Vuonna 1910 hänet promotoitiin tohtoriksi, ja saipa hän samana vuonna dosentuurinkin.

Seuraavina vuosina Nordström opetti Helsingin yliopistossa ja Teknillisessä korkeakoulussa. Hänen opetustoimintaansa tauottivat tutkijavierailut Göttingeniin, Zürichiin, Berliiniin ja Wieniin. Myöhemmin Leidenistä tuli hänelle tärkeä paikka. Siellä hän tapasi myös vaimonsa, **Paul Ehrenfestin** oppilaisiin lukeutuneen **Cornelia van Leeuwenin**.

Vuonna 1918 Gunnar Nordström nimitettiin Teknillisen korkeakoulun fysiikan professoriksi. Pian, vuonna 1920, hän vaihtoi mekaniikan professoriksi. Tätä virkaa hän piti ilmeisesti enemmän teoreettiseen fysiikkaan suuntautuneena. Ennen kuolemaansa hän ehti hakea myös vastaperustettua radiotekniikan professuuria.

Ennen yleistä suhteellisuusteoriaa

Suppeampi suhteellisuusteoria syntyi, kun havaittiin, että Newtonin mekaniikka ei ole sopusoinnussa sähkömagneettisten ilmiöiden kanssa. Tästä luonnollisesti heräsi kysymys, että onko newtonilainen painovoimateoriakaan ajan vaatimusten mukainen. Newtonin teorian eduksi laskettiin, että planeettojen liikkeet oli onnistuttu selittämään sitä käyttäen. Tosin Merkuriuksen

radan perihelin kiertyminen oli anomalia, jolle ei oltu onnistuttu löytämään klassillista selitystä.

Suppeampi suhteellisuusteoria ei sisällä kiihtyvässä liikkeessä olevia koordinaatistoja, eikä siis painovoimaakaan. Einstein asetti tavoitteeksi suhteellisuusteorian yleistämisen koskemaan mielivaltaisia koordinaatistoja. Painovoimakentän hän samaisti kiihtyvässä liikkeessä olevan koordinaatiston kanssa, mikä samastus tunnetaan (vahvana) ekvivalenssiperiaatteena.

Vuosina 1907–1911 Einstein työskenteli muun muassa kvanttifysiikan parissa. Vasta 1911 alkaen hän ponnisti painovoiman ongelmaan. Vaikka Poincaré oli ehdinty jo julkaista oman Lorentz-kovariantin painovoimateoriasansa, alkoi kilpajuoksu yleistä suhteellisuusteoriaa kohti kiihtyä Einsteinin vuonna 1911 julkaiseman kirjoituksen myötä. Siinä hän hahmotteli painovoimateorian vaatimuksia ja ennusti valonsäteiden taipumisen painovoimakentässä.

Poincarén ja Einsteinin lisäksi kilpaan liittyi muitakin. Heidän joukossaan oli Gunnar Nordström.

Kaksi painovoiman skalaariteoriaa

Vuoden 1912 lopussa ja 1913 alussa julkaistuissa artikkeleissa Nordström esitteli ensimmäisen versionsa painovoimateoriastaan. Siinä painovoimapotentiaali oli



Gunnar Nordström.
1902

Gunnar Nordströmin siluetti 1902,
tekijä R. Mickwitz. Museovirasto.

skalaari. Teoria noudatti heikkoo ekvivalenssiperiaatetta eli hitaan ja painavan massan ekvivalenssia. Se ei kuitenkaan toteuttanut vahvaa periaatetta eli kiihtyvässä liikkeessä oleva koordinaatisto ja levossa painovoimakentässä ollut koordinaatisto eivät olleet ekvivalentteja.

Nordström oli ollut kirjeenvaihdossa Einsteinin kanssa, joka oli kehittänyt samantapaista teoriaa. Einstein väitti, että tällaisessa teoriassa pyörivät kappaleet puutoavat painovoimakentässä pyörimättömiä hitaammin. Myöhemmin on osoitettu, että Einstein oli väärässä, mutta tällaiset huomiot saattoivat kuitenkin vaikuttaa siihen, että Nordström ei tyytynyt teoriansa ensimmäiseen versioon.

Vuonna 1913 **M. Behacker** sovelsi Nordströmin teoriaa planeettaliikkeeseen ja näytti, että se johtaa perihelikiertymään. Merkuriuksen tapauksessa kiertymän suuruus oli aivan liian pieni ja vieläpä väärään suuntaan. Siitä huolimatta Behacker toteaa, että teoria vastaa todellisuutta. Ehkäpä kokeellinen fysiikka ei ollut samanlaista tarkkuustiedettä kuin tänä päivänä, joten tärkeintä oli edes kvalitatiivinen vastaavaisuus teorian ja havaintojen välillä.

Nordströmin teoria ei ennustanut valon taipumista painovoimakentässä. Se ei myöskään täysin palautunut Newtonin lakeihin hitaiden liikkeiden approksimaatiossa. Nordström ei masentunut vaikeuksista vaan antoi hihojen heilua.

Jo kesällä 1913 ilmestyi uusi artikkeli, jossa Gunnar esitti parannetun teorian. Muutokset olivat kuitenkin laajoja, joten tätä voidaan pitää täysin uutena teoriانا.

Kyseessä oli edelleen skalaariteoria. Sekään ei ennustanut valon taipumista painovoiman vaikutuksesta. Sen sijaan se ennusti valon gravitaatiopunasiirtymän. Nordström myös teki uuden teorian perusteella planeettaliikettä koskevia laskelmia. Perihelikiertymän suunta ja suuruus olivat jälleen väärät. Se ei estänyt Nordströmiä toteamasta, että teoria on sopusoinnussa kokemuksen kanssa.

Toinen teoria oli ainakin suurin piirtein vahvan ekvivalenssiperiaatteen mukainen (tai siis kvasistationäärisissä tapauksissa ovat liikeyhtälöt ekvivalenssiperiaatteen mukaisesti massattomia).

Wienissä syyskuussa 1913 pidetyssä konferenssissa Einstein omisti noin neljänneksen puheestaan Nordströmin teorian selostamiseen. Hän piti sitä ainoana johdonmukaisena painovoiman teoriانا, joka siihen asti oli kehitetty. Hänen oman tensoriteoriansa kehittäminen oli vielä kesken.

Einstein julkaisi yhdessä **Adriaan Fokkerin** kanssa artikkelin, jossa he esittivät Nordströmin teorian elegantissa differentiaaligeometriaa hyödyntävässä muodossa. Sillä aikaa, kun Einstein vielä työskenteli yleisen suhteellisuusteorian muotoilun kanssa, oli Nordströmin teoria paras mahdollinen teoria. Se saattaa olla suomalaisen teoreettisen fysiikan kovin saavutus.

Yhtenäisteoria viidennen ulottuvuuden avulla

Kilpajuoksun lomassa ehdittiin myös kiistellä. Mien mielestä Nordströmin ensimmäinen teoria ei juurikaan eronnut Abrahamin teoriasta. Einstein piti Abrahamin teoriaa ”loogisesti korrektina, mutta muuten hirviönä”. Wienin konferenssissa hän puolusti Nordströmiä Mietä vastaan. Nordström oli itsekin paikalla, mutta ei osallistunut väittelyyn. Myöhemmin hän otti kyllä yhteen Mien kanssa lehtien sivuilla. Abraham ehkä kiitti Mietä, kun hän väitti Nordströmin teorian muistuttavan Mien teoriaa. Kaikesta panettelusta huolimatta Nordströmin teoria oli selvästi paras.

Lopulta kilpajuoksu kuitenkin huipentui Einsteinin ja Hilbertin kamppailuksi. Ankan ponnistelun jälkeen Einstein julkisti kenttäyhtälönsä Preussin Tiedekatemian kokouksessa 25. marraskuuta 1915.

Nordström omaksui yleisen suhteellisuusteorian nopeasti. Kun **Eddingtonin** retkikunta osoitti valon taipumisen vuoden 1919 täydellisen auringonpimennyksen aikana, oli Nordströmin teoria lopullisesti kumottu.

Nordström oli kuitenkin ehtinyt vuosien 1914 ja 1915 aikana viedä teoriaansa uuteen mielenkiintoiseen suuntaan. Hän yritti yhdistää painovoiman ja sähkömagnetismin yhtenäiskenttäteoriaksi. Hänen oivalluksensa oli, että yhdistäminen voisi onnistua, jos maailmankaikkeudessa olisi viides ulottuvuus.

Teoria ei sinänsä tarjonnut mitään uutta. Se toki palautui Nordströmin painovoimateoriaan ja sähköoppiin, mutta näiden yhdistäminen oli jotensakin keinotekoisista. Sen sijaan mielenkiintoista on, että Nordström esitti tämän idean ennen **Theodor Kaluzan** ja **Oskar Kleinin** 1920-luvulla esittämiä viisiulotteisia yhtenäiskenttäteorioita. Nordströmin teoria jotenkin unohtui, ja nykyään puhutaan vain Kaluzan-Kleinin teorioista.

Nordström ehdotti Nobelia Einsteinille

Gunnar Nordström kirjoitti ensimmäisen yleistä suhteellisuusteoriaa käsittelevän artikkelinsa jo vuonna 1916. Vuonna 1918 hän johti yleisen suhteellisuusteori-

an yhtälöille staattisen, sähköisesti varatun pallosymmetrisen ratkaisun. Tätä ratkaisua kutsutaan nykyään Nordströmin-Reissnerin metriikaksi ja se kuvaa pyörimättöä varattua mustaa aukkoa. Se on edelleen yksi tärkeimmistä Einsteinin kenttäyhtälöiden ratkaisuista.

Ilman Nordströmiä yleinen suhteellisuusteoria ei olisi tullut Suomeen yhtä nopeasti. Se koettiin vaikeana ymmärtää. Aluksi siitä kiinnostuikin lähinnä matemaatikot, kuten **Ernst Lindelöf** ja **Rolf Nevanlinna**. Tähtitieteen professori **Karl F. Sundman** oli suhteellisuusteoriaa kohtaan melko penseä.

Suhteellisuusteoria kohtasi Suomessa myös suoranaista vastustustakin. Matemaatikko **Hjalmar Mellin** tuomitsi sen varsin kovasanaisesti (ks. *Mellin vastusti suhteellisuusteoriaa vanhoilla päivillään*, MAL-lehti 1/2023).

Nordström ymmärsi täysin, kuinka merkittävä Einsteinin teoria oli. Vuonna 1920 hän ehdotti Einsteinille Nobelin palkintoa. Olihan Eddingtonin havainnot edellisvuonna sementoineet yleisen suhteellisuusteorian aseman. Vuoden 1921 Nobelin jakaminen siirtyi vuoteen 1922, ja Nordström ehdotti vielä painokkaammin Einsteinia palkinnonsaajaksi.

Vuonna 1922 Nobel sitten myönnettiin Einsteinille, mutta ei suhteellisuusteorian takia. Vaikka Einsteinin valosähköisen ilmiön teoreettinen selittäminen on merkittävä asia sekin, voi jälkiviisaana todeta, että Nobel-komitea pelasi tässä turhan varman päälle. Heidän liian spekulatiivisena pitämänsä suhteellisuusteoria on osoittanut voimansa kerta toisensa jälkeen.

Radioaktiivisia terveyslähteitä kartoittamassa

Vaikka Gunnar Nordström olikin teoreetikko, osasi hän myös käytännöllisemmät työt. Hän suoritti mittauksia kartoittaakseen suomalaisen lähdeveden radioaktiivisuutta. Kun radioaktiivisuus oli löydetty, luultiin sillä olevan myönteisiä terveysvaikutuksia. Nordströmin mittausten tarkoitus olikin siis päinvastainen kuin vastaavien mittausten tarkoitus nykyaikana. Nykyään halutaan suojella ihmisiä ja eläimiä radioaktiiviselta kaivovedeltä.

Nordström kävi usein Imatran saunassa Malminkadulla Helsingissä. Siellä käytettiin ”Ekmanin radiumi-kaivosta” saatua vettä. Vesi oli itse asiassa vahvempaa kuin sen aikaisen suurimman uraanikaivoksen kaivosvesi.

Nordström kuoli pernisiöosiiksi anemiaksi diagnosoitun veritautiin vain 42 vuoden ikäisenä joulukuun 1923. Josko radioaktiivisilla aineilla oli osansa hänen ennenaikaisessa kuolemassaan, voi vain spekuloida. Mittausmatkoillaan Nordströmin kerrotaan kanniskelleen voimakkaasti radioaktiivista säteilymittaria jopa huolettomasti rintataskussaan.

Gunnar Nordström oli kiistämättä erittäin lahjakas fyysikko. Hän oli omalla alallaan tunnustettu ja myös arvostettu opettaja. Hänen uransa ja elämänsä jäi lyhyeksi, mutta sitäkin merkittävämmäksi. •

Teollisen vallankumouksen alkupiste



Piilomatemaatikolle kerrottiin lukion historian tunnilla, että ensimmäistä Keplerin lakia voidaan pitää teollisen vallankumouksen alkupisteenä. Mistä tämä alkupiste tuli, ei kerrottu.

Myöhemmin Piilomatemaatikko alkoi tutkailla alkupisteen historiaa. **Kepler** esittelee ensimmäisen lakinsa vuonna 1609 ilmestyneessä kirjassaan *Astronomia Nova*: Marsin rata on ellipsi, jonka toisessa polttopisteessä on aurinko. *Astronomia Nova* on itse asiassa Keplerin seitsemän vuoden työpäiväkirja. Sen 650 foliosivulle hän on kirjannut kaikki ellipsiin johtaneen työnsä vaiheet, sen edistymiset, harhapolut ja erehdykset. Kirja antaa ainutlaatuisen mahdollisuuden seurata Keplerin uurastusta Marsin radan parissa.

Työn esihistoria alkaa **Tyko Brahesta**. Hän oli kaksikymmentä vuotta kirjannut havaintoja Marsin sijainnista yhden kaariminuutin tarkkuudella. Tyko Brahen kuoltua Kepler sai nämä havainnot käyttöönsä.

Ennen Kepleriä planeetat kulkivat ratamalleissa aina pitkin episyklejä eli kiersivät ympyräradalla vielä toisia ympyröitä. Nämä mallit olivat pelkkiä geometrisia konstruktioita, joilla ei ollut mitään yhteyttä fyysikaaliseen todellisuuteen. Kepler oli ensimmäinen, joka oivalsi, että auringossa täytyi olla jokin voima liikuttamassa planeettoja radoillaan.

Kepler aloitti Marsin liikkeen määrittämisen klassisesta ympyräradasta, mutta aivan uusista lähtökohdista. Hän oletti, että liikkeen keskipiste on aurinko, mutta aurinko ei ole ympyrän keskipiste. Toiseksi hän oletti kaikista aiemmista malleista poiketen, että planeetta ei liiku tasaisella nopeudella, vaan liike kiihtyy lähesyttävässä aurinkoa. Näiden oletusten jälkeen episyklejä ei tarvittu, vaan Marsin radaksi riitti yksi ympyrä.

Ympyräradan määrittämistä varten Kepler valitsi Tyko Brahen aineistosta neljä hyvää havaintoa. Näiden perusteella hänen oli määritettävä radan säde, kolme ratapistettä sekä auringon sijainti suhteessa rataan.

Tehtävällä ei ole eksaktia ratkaisua, joten on tyydyttävä approksimaatioon. Senkään laskemiseen ei Keplerillä ollut työkaluja, analyttisen geometrian isä

Descartes oli vielä alle kymmenvuotias. Näin ollen ainoa mahdollisuus oli yritys ja erehdys -menetelmä. Tätä Kepler teki neljä vuotta ja täytti laskuillaan 900 foliosivua pienellä käsialalla (foliosivut ovat jäljellä arkistossa). Vihdoin 70. yritys tuotti rataympyrän, joka vastasi kahden kaariminuutin tarkkuudella kaikkia mallin testauksessa käytettyjä kymmeniä havaintoja.

Varmistaakseen tuloksen Kepler valitsi Tyko Brahen aineistosta vielä kaksi lisähavaintoa, mutta ne eivät osuneetkaan rataympyrälle. Hän sovitti mallin näiden havaintojen mukaiseksi, mutta nyt Marsin todelliset sijainnit poikkesivat hänen mallistaan jopa kahdeksan kaariminuuttia. Koska havainnot oli tehty yhden kaariminuutin tarkkuudella, ei tämäkään malli ollut Kepleristä riittävän tarkka.

Nyt Kepler teki ratkaisevan johtopäätöksen. Sen, että hän ei onnistunut määrittämään Marsille riittävän tarkkaa rataympyrää, täytyi johtua siitä, että rata ei ollutkaan ympyrä, vaan jokin muu geometrinen käyrä! Tämä johtopäätös vei hänet tuntemattomuuteen. Mikä käyrä olisi kyseessä ja miten sen voisi määrittää? Kepler aloitti käyrän tutkimisen laskemalla suuren joukon Marsin ratapisteitä. Niistä näkyi, että rata oli jonkinlainen soikio. Sen kaavan määrittämiseen ei Keplerillä ollut muuta mahdollisuutta kuin kokeilu. Yli vuoden kestäneiden yritysten ja erehdysten jälkeen hän lopulta törmäsi matemaattiseen kaavaan, jolla hän pystyi määrittämään kaikki ratapistet. Kepler ei kuitenkaan tunnistanut tämän kaavan antamaa käyrää. Niinpä hän yritti approksimoida käyrää ellipsillä ja huomasi yllätyksekseen, että approksimaatio olikin tarkka! Seitsemän vuoden uurastuksen jälkeen hän oli lopulta osoittanut, että Marsin rata on ellipsi, jonka toisessa polttopisteessä on aurinko.

Tämä on *Astronomia Novan* kertomus Keplerin ensimmäisen lain synnystä. Samalla kertomus siirtää teollisen vallankumouksen alkupistettä aiemmaksi. Ratkaiseva piste ei olekaan lain keksimishetki, vaan se hetki, jolloin Kepler päätti hylätä ympyräradan vähaisen, kahdeksan kaariminuutin virheen vuoksi. •

{ MEDIAKORTTI }

MAL-lehden julkaisija:

Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset ry

Puheenjohtaja:

Esko Juuso puheenjohtaja@mal-liitto.fi

Toimituskunta:

Suvi Lahdenmäki, päätoimittaja

suvi.lahdenmaki@gmail.com

Ilkka Norros tiedottaja@mal-liitto.fi

Martti Annanmäki

Painettu lehti ilmestyy joulukuussa

Sähköinen lehti: toukokuu ja syyskuu

Julkaisija varaa itselleen oikeuden ilmestymisaikojen muutoksiin.

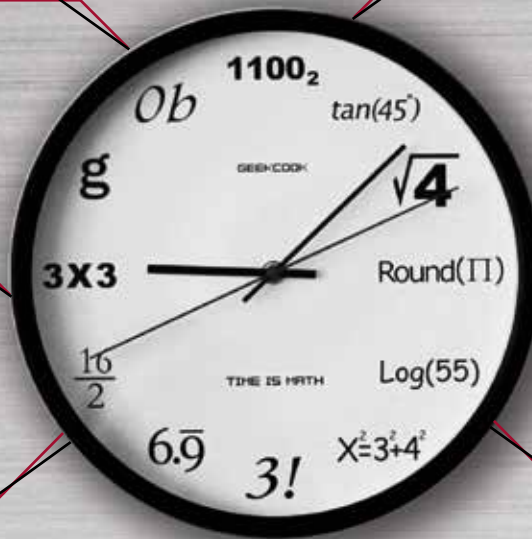
**Seuraavan lehden aineistopäivä:
17.5.2024**

Formaatti: 220x280 mm

Taitto: Sivupainajainen Kirsi Pääskyyvuori

Paino: Copy-Set Oy, Helsinki

Painosmäärä: 2500



{MAL}

Ratavartijankatu 2, 00520 Helsinki

puh. (09) 229 121

www.mal-liitto.fi

toimisto@mal-liitto.fi