

{ MAT }

LEHTI 2-2025

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLISTEN ALOJEN AKATEEMISET



Missä määrin tekoälyä }
voi ymmärtää? }

Kvanttitietokoneiden ja }
tavallisten tietokoneiden }
yhteispeli }



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 lehtemme artikkeli haluamastasi aiheesta. Jutun pituus 2500-6000 merkkiä ja lisäksi kuva/kuvia mahdollisuuksien mukaan.

Erityisesti toivomme saavamme uratarinoita, mutta myös aivan vapaamuotoiset muut kirjoitukset sopivat lehtemme.

Kirjoittamasi artikkelin voit lähettää lehtemme 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. •



{MAL} 2-2025

Missä määrin tekoälyä voi ymmärtää?	4
Kvanttitietokoneiden ja tavallisten tietokoneiden yhteispeli	8
Flogistonin viimeiset liekit	11
Sähköverkon muuntajien kunnonvalvonta	14
Martti Annanmäki – Fyysikko monessa mukana	16
Martti ja MAL-lehti	17
Muistotilaisuudessa muisteltua	18
Gradujen aiheita vuonna 2024	20
Ufojuttuja	23

Kannen kuva: pixabay



PUHEENJOHTAJA



Matematiikka ja luonnontieteet tuovat joustavuutta energiankäyttöön

Muuttunut turvallisuusympäristö ja talouden säästö- ja investointitarpeet vaikuttavat merkittävästi energiajärjestelmän mahdollisuuksiin huolehtia jatkuvasti energiantarpeesta. Vuodet ovat erilaisia, mutta Suomen leveysasteilla kesän ja talven väliset erot vaativat monipuolisia energiaratkaisuja. Vihreää sähköä tuotetaan jo ylimäärin kesällä, mutta se ei riitä talven pakkasilla. Akut ja pumppuvoimalat tuovat säätövoimaa vaihteluihin, mutta vuodenaikojen välisten erojen hallintaan tarvitaan enemmän. Talven pakkasjaksot ovatkin vaikeimpia, koska tuulivoima on silloin vähäistä ja ajoittain jopa olematonta. Sähkömarkkinat toimivat varoituksena pörssisähkön rajun hintavaihtelun kautta. Sähköä voidaan kyllä säästää ja varastokapasiteettikin on kasvussa. Sähköautoihin ja vedyn tuottamiseen tarvitaan lisää sähköä, joten myös kaikenlainen siirtotarve on kasvamassa.

Ilmastonmuutos ei tarkoita tasaista lämpenemistä vaan yhä voimakkaampaa vaihtelua. Joustavuuden tarve ei helpota. Ydinvoimaloiden lisärakentamisella voitaisiin hoitaa talviolosuhteet, mutta saataisiin kesäajalle turhan suuri kapasiteetti. Varastointi lämpönä on välttämätöntä ja siihen olisi järkevää liittää myös aurinko- ja geotermistä lämpöä. Pienydinvoimaloita joutuu vielä odottelemaan. Vihreästä sähköstäkin seuraa haittoja luonnolle: aurinkopaneelit, tuulivoimalat ja siirtolinjat vievät metsää pois muusta käytöstä ja heikentävät ratkaisuja hiilen kiertokulun varmistamiseen. Biopohjaisissa ratkaisuissa hiili ei ole fossiilista ja synteettisten polttoaineiden kautta hiiltä voidaan palauttaa kiertoon. CHP-tuotanto on tässä hyödyllinen. Vety on energiavarasto, mutta sen keskeisimmät käyttökohteet tuotantoprosessien sisällä. Lähellä sähkön tuotantopaikkoja vedylle on kyllä käyttöä osana kokonaisuutta. Maa- ja metsätalous toimii monella tavalla hajautetussa energiantuotannossa, joten se on paljon enemmän kuin hiilivarasto. Tämä kokonaisuus vaatii erilaisten vuorovaikutusten syvällisempää analysointia.

Turvallisuus vaatii toimivia ratkaisuja kaikkiin olosuhteisiin. Resilienssi toteutuu käyttämällä erilaisia vaihtoehtoisia ratkaisuja hajautetusti paikallisten mahdollisuuksien mukaan. Uusien ratkaisujen tulee toimia yhdessä aikaisempien ratkaisujen kanssa. Kaiken nopea muuttaminen ei ole mahdollista - ei myöskään tarpeellista. Matematiikkaa ja luonnontieteitä tarvitaan keskeisesti ratkaisujen kehittämisessä, jossa avautuu koko ajan uusia mahdollisuuksia. **Martti Annanmäki** pyrki koko ikänsä edistämään tätä.

PÄÄTOIMITTAJA



Aivojen hoitoa

Miten se onkin niin vaikeaa? Nimittäin pitää puhelin taskussa, jos tulee pieni joutohetki. Odostat bussia, istut bussissa, olet ruokatunnilla - kaikissa tilanteissa käsi hakeutuu jo aivan automaattisesti taskuun ja ottaa esiin kännykän. Kun itselläni vielä ollut älypuhelin, ärsyynnyin, kun puoliso googlasi jatkuvasti asioita esim. tv:n katselun aikana. Nyt toimin itse aivan samoin ja se tuntuu täysin järkevältä toiminnalta.

Liika sometus ja netin käyttö heikentävät tutkitusti keskittymiskykyä. Ajatus katkeaa koko ajan ja kulkeutuu johonkin muuhun. Myös muisti heikkenee ja unenlaatu huononee. Silti niin monet ovat kännykäsä orjia, eikä se ole mitenkään ihme. Nykymaailma on sen verran ahdistavaa ja stressaavaa, että kännykkä tarjoaa pienen hengähdyshetken kaikesta. Some tuottaa mielihyvää ja siihen se on suunniteltakin. Mutta sen tuottama mielihyvä on petollista: se tuottaa nopeaa dopamiinia, jonka vaikutukset eivät kestä kauan. Siksi sitä tarvitsee koko ajan lisää.

Tekoäly tuo soppaan vielä oman mausteensa. Somealustat ovat täynnä tekoälyllä tehtyä surrealistista sisältöä, jossa lehmä muuttuu lentokoneeksi ja ihmisen kissaksi. Termi "brainrot" (suomeksi "aivomätä"), kuvaa ilmiötä, jossa runsas älyttömän internet-sisällön kuluttaminen heikentää ajattelua. Puhutaan älyn rappeutumisesta. Ihminen ei jaksa keskittyä, eikä osaa enää käsitellä monimutkaisia asioita. Erilaiset brainrot-sisällöt, kuten tanssiva kahvikuppi-hahmo, ovat suosiossa TikTokissa ja muissa kanavissa.

Monet ovat havahtuneet ongelmiin ja pitävät erilaisia somepaastoja. Vaikka aivot ovat nyt tottuneet ja koukuttuneet älypuhelimien moniin mahdollisuuksiin, niitä on onneksi mahdollista myös kouluttaa uudelleen. Puhelin itsessään tarjoaa jo monenlaisia keinoja rajoittaa kännykän käyttöä. Itse olen huomannut toimivaksi esim. sen, että illalla ruudun väri muuttuu mustavalkoiseksi. Jo se tekee siitä vähemmän kiinnostavaa.

Aivoille terveellistä on saada hidasta dopamiinia, joka tapahtuu esim. lukemalla kirjaa tai liikkumalla luonnossa. Jopa television katselu on terveellisempää kuin poukkoileva some. Ylipäättään asiat, jotka vaativat pitkäjänteisyyttä, läsnäoloa ja keskittymistä, ovat hyviä aivoille.

Tässä lehdessä kerrotaan mm. selittävistä tekoälystä, sähköverkon muuttajien kunnonvalvonnasta ja palamisen selittämisyrityksistä. Muun muassa näiden lukeminen tuottaa hyvää, pitkäkestoista dopamiinia!

Aloitin Mal-lehden päätoimittajana 2019. Tehtävään pyysivät **Martti Annanmäki** ja **Ilkka Norros**, joiden kanssa lähdettiin suunnittelemaan tulevaa lehteä ja sittemmin muita tulevia numeroita.

Suru-uutinen Martin poismenosta tuli maaliskuussa. Toimituskuntaan on saatu uusia tekijöitä mukaan, mutta Martin tekemä työ ja jälki näkyy vahvasti tässäkin lehdessä. Martti oli mukana toimituskunnassa aivan viimeiseen saakka. Hän oli innostunut ja innostava ideoija ja juttujen tekijä, joka tarttui toimeen ilman jähkailuja. Tässä lehdessä muistellaan Marttia ja sitä, miten monenlaiseen Martti työsään ja vapaa-ajallaan ehti.

Hyvää kesää ja aivoja hoitavia hetkiä!

• Suvi Lahdenmäki

• Esko Juuso

Missä määrin tekoälyä voi ymmärtää?

Tekoälypuhetta pursuaa nyt joka tuutista. Aiheeseen liittyvistä eettisistä kysymyksistä ja turvallisuusnäkökohtiin liittyvistä ongelmista on kirjoitettu laajalti, ja hyvä niin. Tässä tarinassa keskitytään kuitenkin nk. ”selitettävän tekoälyn” rooliin yhtenä modernin tekoälyn tärkeimmistä osa-alueista. Lisäksi ruoditaan aiheeseen liittyvää matematiikkaa ja ihan vähän filosofiaakin.

Tarve väitteiden selittämiseksi ja perustelulle

Yksi modernin tekoälyn keskeisimmistä ongelmista on tekoälyjärjestelmien black box -luonne. Tämä tarkoittaa, että saamme vaikuttavia vastauksia mitä monimutkaisimpiin kysymyksiin, mutta järjestelmät eivät kuitenkaan tarjoa minkäänlaisia syitä sille, miksi saimme juuri kyseiset vastaukset, emmekä jotain muuta. Black box -ongelma mainitaankin lähes kaikissa tekoälyn tulevaisuutta käsittelevissä katsausartikkeleissa merkittävänä haasteena – samanveroisena eettisten ja turvallisuusnäkökohtiin liittyvien kysymysten kanssa. Esimerkiksi OECD:n vuoden 2023 raportissa ”Artificial Intelligence in Science” on osio, joka on omistettu tekoälyn tulevaisuuden haasteille, ja yksi osion kahdeksasta luvusta keskittyy nimenomaan tekoälyn tulkittavuuskysymyksiin. Vastaavasti Harvard Business Review listaa vuoden 2024 toukokuussa ilmestyneessä artikkelissa tekoälyn riskejä, joista black box -ongelma on päässyt kolmannelle sijalle, heti disinformaation ja turvallisuusnäkökohtien jälkeen ja selvästi ennen seitsemäntenä mainittua suurten kielimallien hallusinoitongelmaa. Sama viesti toistuu lähes kaikissa kattavissa tekoälykatsauksissa. Tekoälyn tutkijoille ongelma on tuttu vuosikymmenten takaa. Asiaan liittyvästä työstä on kasvanut kokonainen tutkimusala, selitettävä tekoäly. Vastaava englanninkielinen termi on ”explainable AI”, tai XAI.

Vaikka tekoälypuhetta ja tekoälyä käsitteleviä artikkeleja on tällä hetkellä runsaasti tarjolla eri medioissa, on XAI jäänyt yllättävän vähälle huomiolle. Sen sijaan

kielimallien ja generatiivisen tekoälyn ominaisuudet sekä yleisluontoinen tekoälylainsäädännön ja eettisten näkökohtien ruotiminen on keskiössä. Silti lienee turvallista ennustaa, että XAI tulee saamaan selvästi nykyistä enemmän huomiota lähitulevaisuudessa. Vaikka XAI:sta kirjoitetaan paljon tekoälyä koskeissa asiantuntijaraporteissa, ei XAI:n merkityksen ymmärtäminen vaadi minkäänlaista erityisosaamista. Merkityksen taustalla on yksinkertaisesti se, että saatamme vastauksia ”mitä” -kysymyksiimme, esitämme tyypillisesti heti perään tarkentavan ”miksi” -kysymyksen. Selitettävä tekoäly on olemassa tätä perustavanlaatuaista, ymmärtämiseen liittyvää tarvetta varten.

Selitettävän tekoälyn tarve näkyy myös lainsäädännön eri tasoilla. Tekoälytutkijoiden rahoitushakemuksissa ja katsausartikkeleissa on viime aikoina perusteltu selitettävän tekoälyn tarvetta ennen kaikkea lainsäädännöllä. Aihealueen piirissä työskenteleet ja etenkin rahoitushakemuksia arvioineet tutkijat ovat lähes varmasti lukeneet useampaan kertaan, että Euroopan Unionin General Data Protection Regulation (GDPR) mainitsee yksilöiden oikeuden saada selitys heitä koskeviin automatisoituihin päätöksiin. Tällainen ”Right to Explanation” on varsin perusteltu, koska jos vaikkapa saa automaattisen hylkäyspäätöksen vakuutushakemukselleen, on inhimillistä tiedustella välittömästi, että mihin tämä nyt sitten taas kerran perustui. Selytysten arvo on siis suuri yhteyksissä, joissa tehdään yksilöitä koskevia päätöksiä. Myös turvallisuusdimensioita sisältävissä asiayhteyksissä selitykset ovat välttämättömiä. GDPR:n jälkeen uusia, entistä suuremmin nimenomaan tekoälyä koskevia säännöskokoelmia onkin ilmestynyt rahoituksenhakijoiden iloksi.

Lienee perusteltua vielä mainita, että käytännön sovellusten lisäksi selitettävän tekoälyn merkitys on suuri myös tieteellisestä näkökulmasta. Tieteessä itsessään on harvoin tyydyttävää saada tietoa jonkin ilmiön olemassaolosta ilman, että syitä sen taustalla avataan. Tilanne on samankaltainen kuin matematiikassa: teo-

reemat ovat mukavia, mutta usein vasta todistukset lisäävät ymmärrystä riittävällä tavalla.

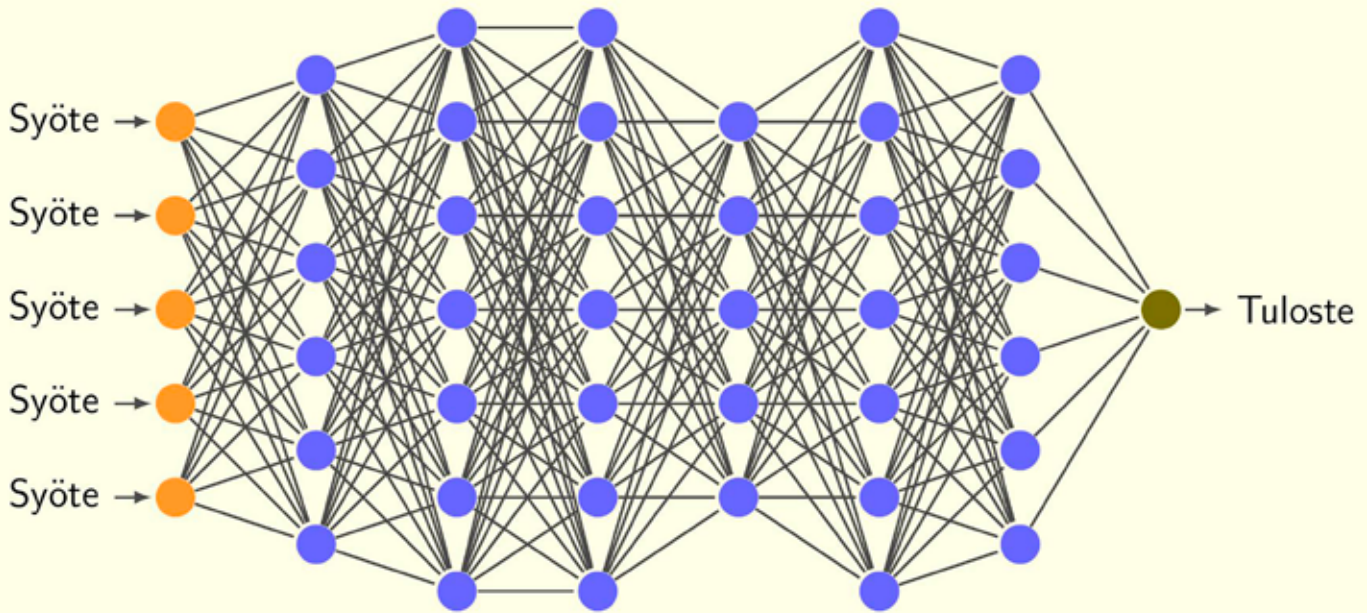
Selitettävyyden peruskäsitteitä

Selitettävä tekoäly kattaa useita eri lähestymistapoja eri käyttötarkoituksia varten. Näiden valaisemiseksi tarkastelemme tässä luokittelutehtäviä, joissa AI-malli M ottaa syötteeksi datatietueen x , joka voisi olla esimerkiksi sarja lääketieteellisessä diagnostitarkoituksessa tehtyjä, yhtä potilasta koskevia mittaustuloksia. Malli käsittelee tietueen x , tulostaen lopulta sopivan luokittelupäätöksen. Teknisesti ottaen M on funktio, jonka syötteenä ovat tietueet ja maalijoukkona äärellinen kokoelma luokkia. Yksinkertaisimmassa tapauksessa luokkina voisi olla vaikkapa 0 ja 1, missä 1 vastaa positiivista diagnoosia (esim. sairaustapauksen toteaminen) ja 0 taas sitä, että kriteerit positiivisesta diagnoosista eivät tämän luokittelijan mukaan täyty.

Nk. lokaali selittäminen tarkoittaa sitä, että pyritään avaamaan syitä sille, miksi tietty tietue x luokiteltiin kuuluvaksi luokkaan y . Tarkastellaan esimerkiksi koneoppimisen kentällä laajalti testikäytössä olevaa Wisconsin Breast Cancer -datajoukkoa, jossa tiedueet vastaavat kasvainlöydöksen vuoksi dataan rekisteröidyn potilaan tietoja. Datajoukosta rakennetun luokittelijan tehtävänä on arvioida, onko syötteenä annettulta henkilöltä x löydetty kasvain hyvänlaatuinen (luokka 1) vai ei (luokka 0). Lokaali selitys sille, että potilas x kuuluu luokkaan 1 voisi olla vaikkapa, että solukokojen tasaisuutta koskevan mittauksen tulos oli viitearvon rajoissa.

Käytännössä yksittäistä luokittelijaa koskeva lokaali selitys voi pahimmassa tapauksessa olla virheellinen, mutta riittävän pienellä virhetodennäköisyydellä varustettu selitysmekanismi on kuitenkin vastuullisesti käytettynä hyödyllinen. Wisconsin Breast Cancer -datajoukosta rakennetulla neuroverkolla voidaan luokittelu tehdä 97% tarkkuudella, mutta neuroverkko ei anna minkäänlaista perustelua tai selitystä luokittelupäätöksille. Samasta datajoukosta voidaan kuitenkin

Neuroverkko



Tulkittava Boolean kaava:

$$EI(P \geq 6 \text{ TAI } Q \geq 7 \text{ TAI } R \geq 5)$$

Neuroverkkojen rakenteellinen monimutkaisuus ja suuri koko tekee niiden toimintaperiaatteen tulkinnasta vaikeaa. Suotuisissa tapauksissa neuroverkko voidaan korvata paljon yksinkertaisemmalla luokittelijalla, esim. logiikan lauseella, jonka toimintalogiikka on helppo ymmärtää.

kouluttaa myös selityksiä tarjoavia luokittelijoita, joilla on sama tarkkuus kuin neuroverkolla, mistä lisää myöhemmin. Yleisesti ottaen, selityksellä varustettu luokittelu on lähes kaikissa yhteyksissä selvästi tyydyttävämpi kuin pelkkä luokittelutulos.

Globaali selittäminen on lokaalia vaativampaa. Taivoitteena ei ole nyt ainoastaan antaa syitä yksittäisten luokittelupäätösten taustalla, vaan ymmärtää annettun luokittelijan toimintaperiaate kokonaisuudessaan. Toimintalogiikan voi tietysti selittää monilla eri tavoilla. Vaativin näistä koskee nk. "inherently interpretable"-malleja, jotka ovat niin yksinkertaisia, että niiden toiminta millä tahansa syötteellä on helposti ymmärrettävissä. Termi "inherently interpretable" voisi kääntyä vaikkapa luontaiseksi (tai itseiseksi) tulkittavuudeksi.

Esimerkkejä luontaisesta tulkittavuudesta

Allekirjoittanut on tutkimusryhmänsä avustamana kehittänyt menetelmiä, joilla luontaisesti tulkittavia luokitte-

lijoita voidaan tuottaa. Olemme havainneet, että usein tällaiset luokittelijat ovat paitsi verrattain tarkkoja, myös tietyllä tapaa huvittavia. Esimerkiksi koneoppijoiden laajalti testikäytössä hyödyntämä Statlog German Credit -datajoukko on osoittautunut tässä mielessä erityiseksi. Datajoukon tiedueet ovat lainaa hakeneita henkilöitä, ja luokittelutehtävänä on arvioida luottoriskittömyyttä koskien lainan myöntämistä. Neuroverkko antaa kohtalaisen tarkan tuloksen, mutta valtavan kokoisena matemaattisena hirviönä neuroverkon toimintaperiaate on täysin tulkittamattomissa. Tutkimusryhmäni kanssa kehittämäni menetelmä tuottaa seuraavan, neuroverkon tarkkuuteen käytännössä yltävän luokittelijan:

EI (saldo_alle_nollan **JA** hakee_yli_mediaanikestoista_lainaa)

TAI työskentelee_johtotehtävissä.

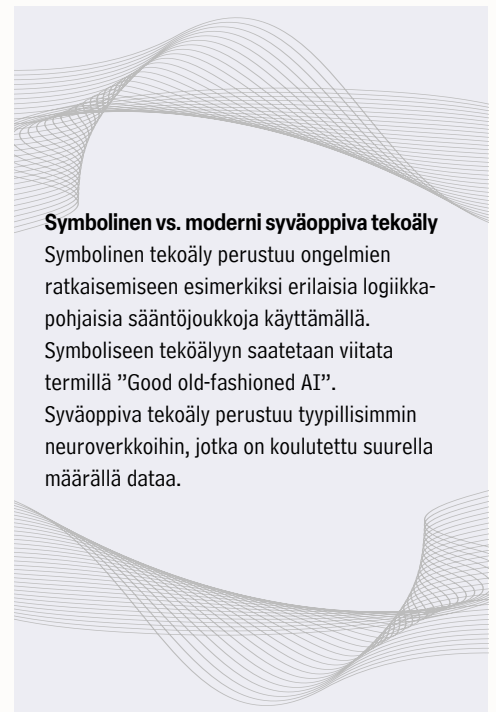
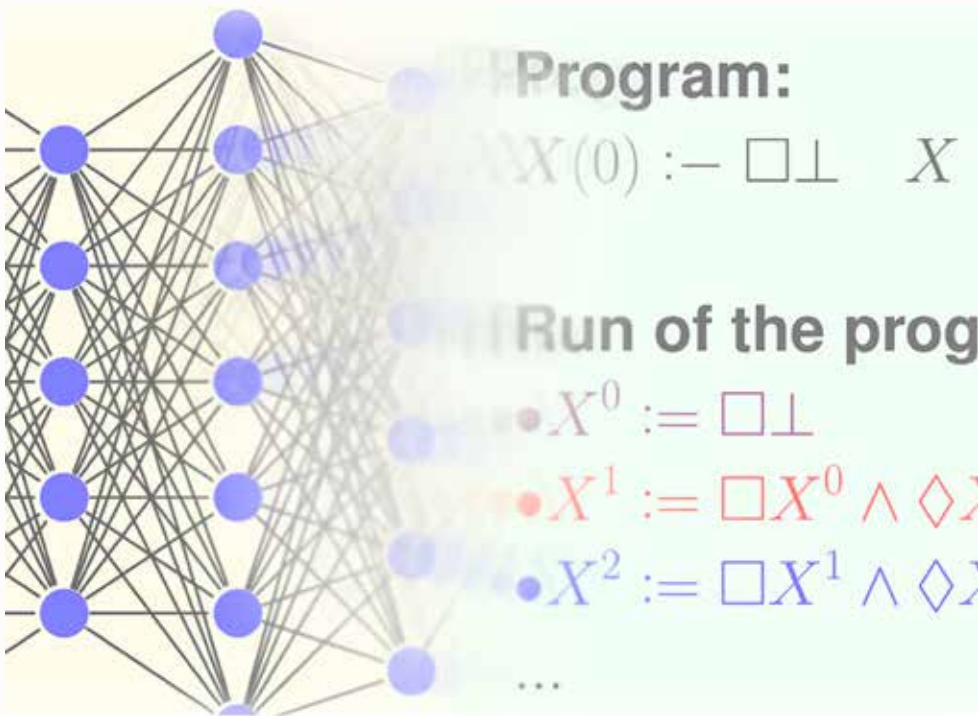
Tämän Boolean kaavan toimintaperiaate on välittömästi ymmärrettävissä, eikä neuroverkko toimi juurikaan tarkemmin. Huomautettakoon tässä, että kyseessä on siis

kaava, jonka kehitetty metodi puskee ulos täysin automaattisesti, eikä tarkoitus ole väittää, että tätä luokittelijaa pitäisi käytännössä käyttää missään yhteydessä. Sitä paitsi, myös luokittelijoiden tarkkuuteen liittyvä virhe täytyy aina ottaa huomioon, käytettiin sitten moderneja black box -menetelmiä tai selitettävissä olevia malleja.

Aikaisemmin mainitusta Wisconsin Breast Cancer -datasta menetelmämme rakentaa luokittelijan

EI ($P \geq 6$ **TAI** $Q \geq 7$ **TAI** $R \geq 5$)

missä P, Q ja R viittaavat kliinisiin mittausparametreihin, ja annetut luvut ovat vastaavia mittausarvoja. Tämä Boolean kaavana muotoiltu luokittelija on erityisalan asiantuntijalle välittömästi kokonaisuudessaan ymmärrettävissä, ja sen tarkkuus on sama 97% minkä neuroverkkokin antaa. Neuroverkkojen sisältämät parametrimäärät ovat suuria, joten tällaisen yksinkertaisen mutta yhtä tarkan Boolean kaavan olemassaolon voisi ajatella harvinaiseksi poikkeukseksi. Näin ei kuitenkaan ole, vaan todella usein lyhyt ja globaalisti tulkittavissa oleva luokittelija voidaan löytää. Ei tietysti kuitenkaan aivan aina, sillä muutenhan moderneista black box -metodeista voitai-



siin kokonaan luopua ja kaikki maailman data tiivistää murto-osaan nykyisestä. Tosin varsin merkittävä osa siitä kyllä voitaisiinkin tiivistää, mutta tiivistäminen on resursseja vievää puuhaa.

Pitäisikö black-box -malleja tulkita vai korvata ne välittömästi tulkittavilla malleilla?

Selitetävyydelle on myös muita jakolinjoja kuin erottele lokaaliin ja globaaliin. Yksi tärkeä dimensio koskee sitä, onko selitysjärjestelmät kehitetty valaisemaan jo olemassa olevan black box -mallin toimintaa, vai onko systeemi rakennettu alusta asti suoraan datan perusteella siten, että luokituspäätösten lisäksi myös selitykset ovat helposti saatavilla.

Yksi tunnetuimmista XAI-menetelmistä on LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanations). Se tuottaa lokaaleja selityksiä olemassa oleville black box -malleille. LIME selittää black box -mallin M luokittelupäätöksen syötteellä x tuottamalla regressiosuoran, joka vastaa mallin M toimintaa x:n välittömässä lähiympäristössä. Itse regressiosuora toimii x:n luokittelun selityksenä tai perusteluna. LIME on siis lokaaleja selityksiä tuottava järjestelmä, joka tulkitsee olemassa olevan black box -mallin päätöksiä. Yllä esitelty, Boolean kaavoihin perustuva metodi taas tuottaa globaalisti tulkittavissa olevia luokittelijoita, joita suotuisissa tapauksissa voi käyttää black box -mallien sijaan, jolloin siis mitään black box -mallia ei tarvita lainkaan.

LIME:n ohella toinen, laajalti tunnettu selitysjärjestelmä SHAP (SHapley Additive exPlanations) on alun perin peliteoreettisiin tarkasteluihin pohjautuva systeemi, joka tuottaa listauksen luokittelupäätöksiin

vaikuttavien attribuuttien suhteellisista kontribuutioista päätökselle. Kontribuutio annetaan attribuutin painona. SHAP:ia on käytetty laajalti olemassa olevien black box -mallien lokaaliin selittämiseen. Järjestelmän käyttömahdollisuuksissa on kuitenkin joustavuutta, ja esimerkiksi globaali selittäminen on myös mahdollista.

Selitetävän tekoälyn rajoista

Selitetävyys kulminoituu paljolti tiivistämiseen. Tästä avautuu matemaatikolle monta mielenkiintoista leikkikenttää, joille rakentaa. Tiivistämislähtöinen ajattelutapa johtaa suoraan informaatioteoriaan ja esimerkiksi Kolmogorov-kompleksisuuteen liittyviin tarkasteluihin. Kolmogorov-kompleksisuuden idea on, että olion x täydelliseen kuvailuun käytettävän ilmaisun minimipituus vastaa x:n sisäistä kompleksisuutta. Intuitiivisesti ottaen siis yksinkertaisten olioiden kuvailu onnistuu verrattain lyhyillä ilmaisuilla, kun taas monimutkaiset oliot vaativat pitkiä ja monimutkaisia kuvailuja. Hankalista asioista on siis hankala puhua.

Alkuperäinen Kolmogorov-kompleksisuus ei toki rakennu näin vapaamuotoiselle ajattelulle, vaan perustuu tarkkaan määritelmään sekä kuvailtavista olioista että niiden kuvauksiin käytettävästä järjestelmästä. Yllä annettu vapaamuotoinen ja intuitiivinen ajattelutapa on kuitenkin sikäli hedelmällinen, että siitä on helppo johtaa uusia formaaleja viitekehyksiä, joissa kuvailujen pituuteen liittyviä tuloksia voidaan todistaa muodollisesti, ja näin saaduilla tuloksilla on suoria yhteyksiä modernin tekoälyn selitetävyyssuhteisiin. Esimerkkinä tästä mainittakoon, että allekirjoittanut on kollegojensa kanssa todistanut asympotoottisen vastaavuuden logiikkapohjaisten luokittelijoiden pituuden ja vastaavien luokkien ”sisäisen monimutkaisuuden” vä-

lillä. Epämuodollisesti tulos sanoo, että selitetävyyden aste pienenee luokittelutehtävässä käytettävien luokkien monimutkaisuuden kasvaessa. Tällä tapaa epäformaalisti kuvailtuna väite saattaa kuulostaa jopa itsestään selvältä, mutta taustalla oleva muodollinen yhteys ei ole helposti arvattavissa eikä ainakaan todistamatta selvä. Informaatioteorian tuntijoille ja fyysikoille kerrottakoon, että luokkien monimutkaisuus määriteltiin tässä yhteydessä Boltzmann-entropian avulla.

Selitetävyyden rajoja tarkasteltaessa on luonnollista aloittaa käytettävän AI-mallin ilmaisuvoiman karjoittamisesta. Ilmaisuvoimalla tarkoitetaan karkeasti ottaen mallin erottelukykä, eli sitä, kuinka tarkkoja rakenteellisia eroja malli pystyy tunnistamaan. Moderni muodollinen logiikka on omiaan näihin tarkasteluihin, sillä logiikan alalla ilmaisuvoimakysymyksillä on todella pitkä historia. Yksi aktiivisimmista tutkimusaiheista tällä tutkimuskentällä on viime vuosina ollut nk. graafineuroverkkojen (Graph Neural Network, tai GNN) ilmaisuvoima. Tyypilliset GNN-mallit onkin onnistuttu todistamaan ilmaisuvoimiltaan ekvivalenteiksi erilaisten logiikoiden kanssa. Kyseisten logiikoiden ilmaisuvoima taas tunnetaan tarkasti, joten logiikoiden ja GNN-mallien välinen ekvivalenssi implikoi myös tarkat karakterisaatiot GNN-mallien ilmaisuvoimalle.

Aiheen tutkimuksessa keskeisimpiä loogisia järjestelmiä ovat olleet nk. modaalilogiikat, joiden esiintymisen tekoälytutkimuksen tällä saralla on sikäli kiehtovaa, että perinteisesti modaalilogiikoiden pääasiallisena toiminta-alueena on ollut filosofinen logiikka sekä aivan toisenlaiset tietojenkäsittelytieteeseen liittyvät sovellukset. Omassa työssäni olen tutkimusryhmäni kanssa onnistunut muun muassa todistamaan, että nk. rekursiiviset GNN-mallit vastaavat täydellisesti erästä

sääntöpohjaista modaalilogiikkaa, jossa rekursiivisuus hoidetaan sääntöjen päivityksen kautta.

Sääntöpohjaisen ja modernin tekoälyn eroista

Sääntöpohjaisten systemien käyttäminen uusimpien syväoppimismallien täydelliseen karakterisointiin on sikäli mielenkiintoista, että usein modernin tekoälyn ja sääntöpohjaisten, symbolisten järjestelmien on ajateltu olevan jollain tapaa täysin eri maailmasta. Tarkempaa matemaattista tarkastelua tällainen ajattelu ei kuitenkaan ainakaan kirjaimellisesti tulkiten kestä, sillä kuten yllä kuvattu vastaavuus GNN-mallien ja sääntöpohjaisten järjestelmien välillä vihjaa, voidaan tyypilliset syväoppimismallit muotoilla sääntöpohjaisesti symbolisen paradigman formalismeilla, ja päinvastoin. Yksi selitys tälle näennäisesti yllättävälle yhteydelle on se, että todellisen maailman neuroverkot eivät käytä reaaililukuja yhtään mihinkään, koska laskenta perustuu tosi asiassa liukulukuihin. Täten neuroverkkojen tämänhetkiset toteutukset ovat lopulta symbolisia ja diskreettejä järjestelmiä, mikä ei tosin yllätä, kunhan huomioi sen, että lopulta ne toteutetaan klassista laskentaa suorittavilla tietokoneilla.

Lisähuomiona symbolisen ja modernin AI:n eroavaisuuksiin liittyvistä uskomuksista nostettakoon se, että merkittävin ero ei perustu siihen, käytetäänkö symbolista lähestymistapaa vai jotain muuta (mitä muuta?). Merkittävä ero on siinä, luodaanko järjestelmät eksplisiittisesti ohjelmoimalla ne valmiiksi asti, kaikki väli-vaiheet tarkkaan suunnitellen, vai käytetäänkö sen sijaan epäsuoria (esim. tilastollisia) opetusmenetelmiä. Ero ei ole täysin erilainen, kuin ikivanha filosofinen kiista rationalismin ja empirismin välillä. Molemmissa lähestymistavoissa on totta kai omat hyvät puolensa, ja näkökulmia on hedelmällistä sekoittaa monella tapaa.

Diskretisoinnin lisäksi liukulukujen ottaminen tosis- saan johtaa myös moniin muihin kiehtoviin havaintoihin. Neuroverkkoihin liittyvä teorianmuodostus on tietyllä abstraktiotasolla luonnollista muotoilla lineaarialgebran kielellä, pippuroituna epälineaarisilla aktivaatiofunktioilla, mutta tällainen lähestymistapa ei kuitenkaan aina riitä. Liukulukujen summahan ei noudata edes liitännäisyyttä, joten kaikenlaista pientä jää pimentoon reaailulukupohjaisessa teoretisoinnissa. Tästä seuraa matemaatikolle paljon mukavia puuhastelumahdollisuuksia.

Lopuksi

Vaikka selitettävyysskysymys on systemaattisesti esillä tulevaisuutta koskevassa tekoälypuheessa, ei suomenkielisessä Wikipediassa tätä juttua kirjoitettaessa ole edes aihetta käsittelevää sivua. Jos ei muuta, niin ainakin tämän uskaltaa ennustaa muuttuvan melko pian. Kävipä miten hyvänsä, XAI:n merkitys ja näkyvyys tulee melko varmasti kasvamaan lähitulevaisuudessa monenlaisissa käytännön sovelluksissa. Matemaatikolle selitettävä tekoäly – ja tekoäly ylipäätään – tarjoaa joka tapauksessa paljon kiinnostavaa tutkittavaa. Sitä riittää

myös seuraavan tekoälytälven varalle. Toivoo voi, että meneillään olevan tekoälykesän tuotteena syntyy myös järjestelmiä, joiden avulla matematiikan tutkimuksen arki muokkautuu suuntaan, jossa matemaattisille ideoille voidaan antaa entistä enemmän tilaa, ja aikaisempaa selvästi suurempi osa rutiinomaisemmasta toiminnasta voidaan jättää koneille. Aika näyttää, kuinka nopeaa kehitys on. •

Artikkelin kannalta merkittäviä julkaisuja:

Veeti Ahvonen, Damian Heiman, Antti Kuusisto: Descriptive Complexity for Neural Networks via Boolean Networks. *32nd EACSL Annual Conference on Computer Science Logic, CSL 2024*.

Veeti Ahvonen, Damian Heiman, Antti Kuusisto, Carsten Lutz: Logical characterizations of recurrent graph neural networks with reals and floats. *Advances in Neural Information Processing Systems 38: Annual Conference on Neural Information Processing Systems 2024, NeurIPS 2024*.

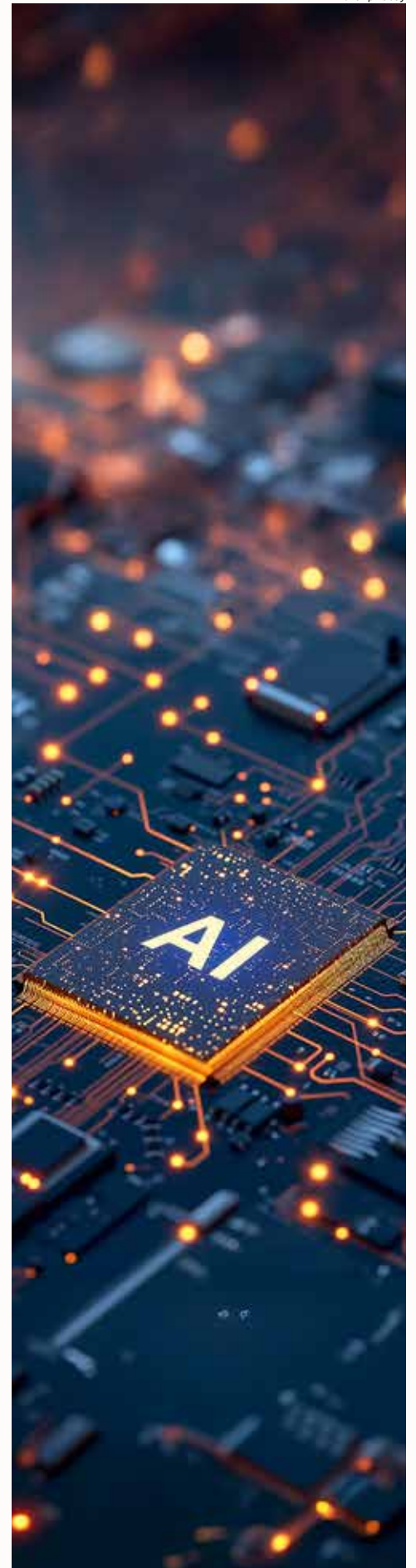
Reijo Jaakkola, Tomi Janhunen, Antti Kuusisto, Masood Feyzbakhsh Rankooh, Miikka Vilander: Interpretable Classifiers for Tabular Data via Feature Selection and Discretization. *Proceedings of the 4th International Workshop on Data meets Ontologies in Explainable AI co-located with the 27th European Conference on Artificial Intelligence ECAI 2024*.

Reijo Jaakkola, Tomi Janhunen, Antti Kuusisto, Masood Feyzbakhsh Rankooh, Miikka Vilander: Short Boolean Formulas as Explanations in Practice. *Logics in Artificial Intelligence - 18th European Conference, JELIA 2023*.

Reijo Jaakkola, Antti Kuusisto, Miikka Vilander: Relating description complexity to entropy. *Journal of Computer and System Sciences 149, 2025*.

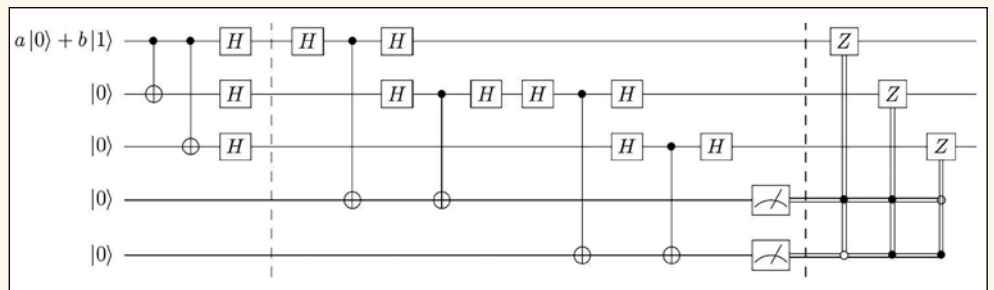
Scott M. Lundberg, Su-In Lee: A Unified Approach to Interpreting Model Predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems 30: Annual Conference on Neural Information Processing Systems, NIPS 2017*.

Marco Túlio Ribeiro, Sameer Singh, Carlos Guestrin. "Why Should I Trust You?": Explaining the Predictions of Any Classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD 2016*.



Kvanttitietokoneiden ja tavallisten tietokoneiden yhteispeli

Vuosi 2025 on kansainvälinen kvanttieteen ja -teknologian juhluvuosi. Suomessa on juhlittu toiminnan kautta. Maaliskuussa avattiin käyttöön VTT:n ja IQM:n yhteistyössä rakentama suomalainen 50 kvanttibitin kvanttitietokone. Huhtikuussa julkistettiin Suomen kvanttiteknologiastrategia vuoteen 2035. Toukokuussa uutisoitiin suunnitelmasta laajentaa suomalainen kvanttitietokone 300 kvanttibittiin vuoteen 2027 mennessä.



Esimerkki lyhyestä kvanttialgoritmista, jonka leveys on viisi kubittia ja pituus 17 peräkkäistä kvanttiporttikerrosta. Kvanttiportit voivat kohdistua joko yhteen kubittiin esimerkiksi H-portti tai kahteen kubittiin esimerkiksi CNOT-portti, joka koostuu kontrollikubitista (musta täytetty ympyrä) ja kohdekubitista (avoin ristiympyrä).

Voiko 2030-luvulla ostaa itselleen henkilökohtaisen kvanttitietokoneen? Tai lisätäänkö tulevaisuudessa tavallisiin tietokoneisiin kvanttiprosessoreita? Mitä luultavimmin vastaus on ei. Kvanttitietokoneita on enemmänkin verrattava suurtehotietokoneisiin, esimerkkinä supertietokone LUMI Kajaanissa, tai pilvipalvelujen datakeskuksiin. Näiden tarjoamaa laskentatehoa hyödynnetään etänä tarvittaessa ja erityisesti vaativiin laskenta-käyttökohteisiin.

Oulun yliopiston ja Jyväskylän yliopiston yhteishankkeessa, jota rahoittaa Business Finland, olemme tutkineet monitieteisesti kvanttiohjelmistoja, -algoritmeja ja -laskentakohteita yhteistyössä yhdeksän suomalaisen yrityksen kanssa. Kvanttitietokoneissa huomio helposti kiinnittyy kvanttibittien eli kubittien lukumäärään tai teknologiavalintoihin. Onko kubitit rakennettu suprajohtavista sähköpiireistä, ioneista tai fotoneista? Kuinka kohinattomia ja virheettömiä kubitit ja kvanttiportit eli kvanttitietokoneen logiikkaportit ovat? Yhtä tärkeää on kuitenkin kvanttitietokoneiden ohjelmistot, algoritmit, käyttökohteet ja kvanttitietokoneiden tehokas yhteispeli tavallisten tietokoneiden kanssa. Kvanttitietokoneen kontrollointi, mittaukset ja kvanttiohjelmoinnin toteutus tarvitsee paljon tavallisen tietokoneen ohjaavaa laskentatehoa.

Kun kvanttilaitteistot ovat kehittyneet tarpeeksi pitkälle, on helppo ennustaa, että kvanttiohjelmojen

liiketoiminnallinen soveltaminen alkaa kehittyä voimakkaasti. Koska soveltaminen on ylempänä arvoketjussa, saattaa se lopulta kasvaa tuottavammaksi kuin kvanttilaitealustoja tekevä teollisuus. Tähän hetkeen on vielä aikaa. Hankkeemme lopputulosten tärkeä viesti on, että yritysten, yliopistojen ja tutkimuslaitosten olisi hyvä alkaa investoida kvanttiohjelmisto- ja algoritmialaan ennakoivasti jo nyt.

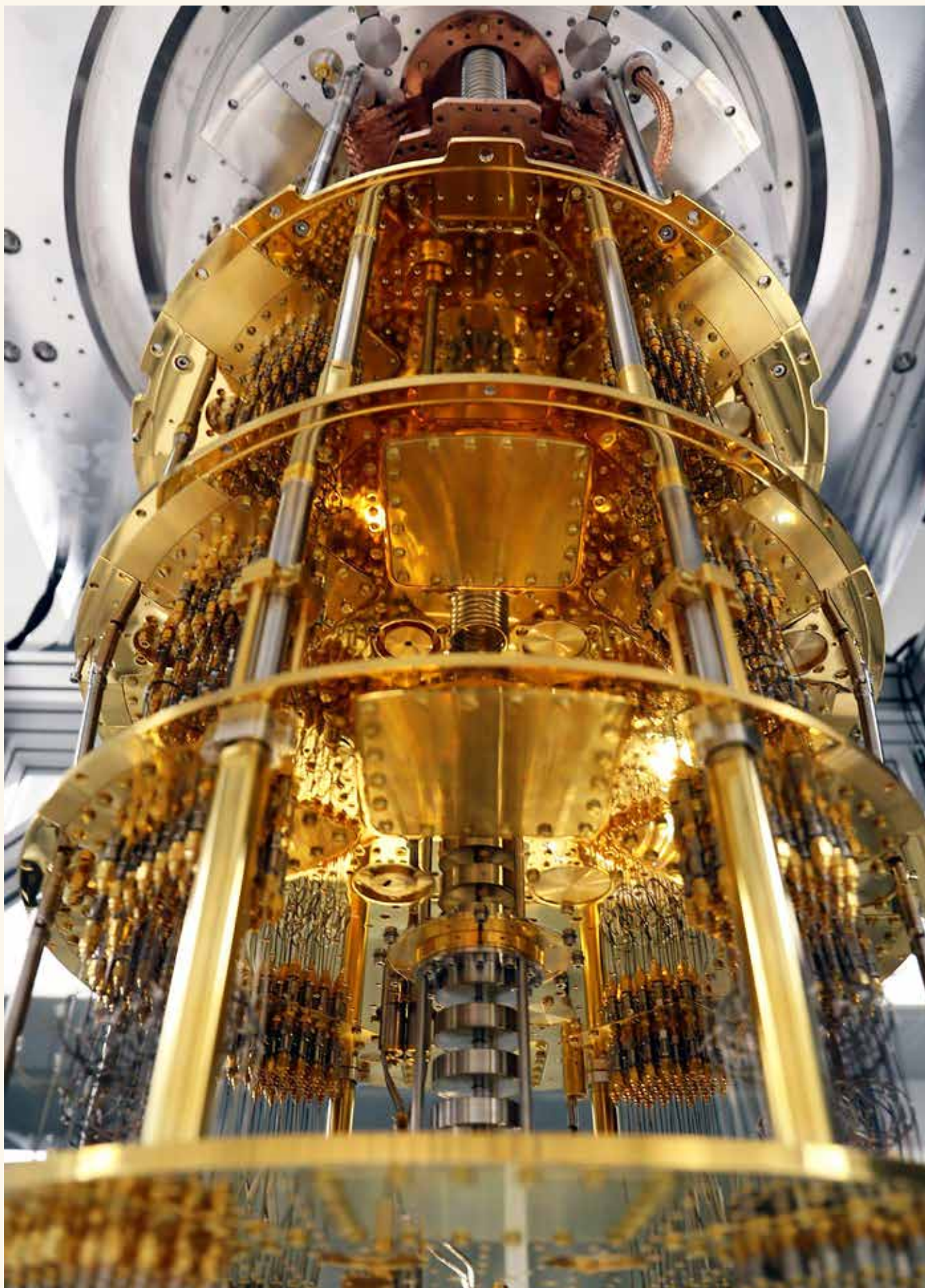
Kubitit ja kvanttiportit

Kvanttibiliteissä eli kubiteissa ja kvanttiporteissa tapahtuva virheet johtuvat pohjimmiltaan materiaalien, kontrollielektroniikan ja kvanttibittien toiminnallisista virheistä. Kvanttitietokoneet pyritäänkin eristämään ympäristöstään mahdollisimman hyvin ja ne toimivat hyvin matalissa lämpötiloissa muun muassa virheiden vähentämisen takia. Kylmäteknologiassa Suomessa on vahvaa osaamista ja liiketoimintaa. Kvanttilaskenta on olemukseltaan analogista, ei digitaalista, mikä aiheuttaa kvanttiporteille hyvin tiukat tarkkuusvaatimukset. Kvanttiporttien virheitä voidaan vähentää paremmalla laitesuunnittelulla ja materiaalien kehittämisellä. Kvanttiporteissa tapahtuvat virheet rajoittavat kvanttialgoritmien pituutta ja leveyttä. Pituudella tarkoitetaan kvanttiporttien lukumäärää ja leveydellä tarkoitetaan yhtäaikaisesti hyödynnettävissä olevaa kubittilukumäärää, samankaltaisesti kuin tavallisten tietokoneiden 64-bittiset järjestelmät. Kubittien

ja porttien virheet voivat rajoittaa algoritmin pituuden esimerkiksi 100 kvanttiporttiin ja leveyden 10 kubittiin, vaikka kvanttiprosessorissa olisikin nimellisesti käytävissä 50 kubittia. Mitä näillä resursseilla voi saada parhaimmillaan aikaan?

Tavallisten tietokoneiden ja kvanttitietokoneiden hybridialgoritmit

Nykyisissä kohinaisissa keskikokoisissa kvanttitietokoneissa paras strategia on hyödyntää samanaikaisesti tavallisten tietokoneiden laskentatehoa. Tämä tarkoittaa, että kvanttitietokone ja tavallinen tietokone toimivat rinnakkain. Kvanttitietokone suorittaa osan laskutoimituksista ja tavallinen tietokone osan. Nämä hybriditoteutukset ja niiden algoritmit itse asiassa muistuttavat toimintaperiaatteeltaan tekoälyn taustalla olevia neuroverkkoja ja niiden opettamista. Kvanttilaskennan hybridialgoritmeissa neuroverkko on korvattu lyhyehköllä kvanttialgoritmilla, jonka parametreja muuttamalla tavallinen tietokone yrittää opettaa kvantti-algoritmin toimimaan mahdollisimman parhaalla tavalla. Tällä tavalla voidaan ratkaista jo pienten molekyylien, esimerkiksi vetymolekyylien, ominaisuuksia. Kvantti-virheiden vähentyessä algoritmien pituutta ja leveyttä voidaan lisätä, jolloin päästään käsiksi isompien molekyylien ominaisuuksien laskentaan.



VTT:n 50 kubitin kvanttietokone kuvattuna rakentamisvaiheessa. Kuvalähde: VTT

Kvanttimekaniikka ja siten kvanttialgoritmin pohjautuvat todennäköisyyksiin. Kvanttialgoritmit toistetaan hyvin monta kertaa, jotta lopputuloksista saadaan luotettavasti rakennettua todennäköisyysjakauma, josta päätellään sitten algoritmin todellinen lopputulos.

Kvanttivirheiden vaikutusta algoritmeihin voidaan myös lieventää klassisten tietokoneiden laskentatehon järkevällä käytöllä. Virheenlievennyksessä perusideana on muokata haluttua kvanttialgoritmia hieman ja näiden testien avulla oppia kvanttivirheiden laatu, määrä ja vaikutus kvanttialgoritmiin. Näiden perusteella voidaan sitten tavallisella tietokoneella laskea, millainen olisi kvanttialgoritmin tulos ilman virheitä. Virheenlievennyksessä ei siis poisteta virheitä vaan lasketaan ennustus siitä, mikä olisi algoritmin tulos ilman virheitä. Tämä on kuin keskustelisi meluisassa ympäristössä. Se vaatii keskittymistä, mutta onnistuu, jos melu ei ole liian voimakasta.

Optimointi kvanttilaskennan käyttökohteena

Hankkeessamme yhtenä pääosana oli testata optimointiongelmiin käytännön kvanttilaskentatoteutusta, -algoritmeja ja -ohjelmistoja. Optimointiongelmat ovat tärkeässä roolissa esimerkiksi logistiikassa, finanssimalleissa ja teollisuusprosesseissa. Optimointiongelmiin lisäksi erilaiset mallinnustehtävät tulevat olemaan ensimmäisiä kvanttilaskennan sovellusalueita: lääkekehitys, materiaalit, kemialliset prosessit, kvanttikemia. Yhteistä näille kaikille sovellusalueille on, että ensin muodostetaan ns. energiefunktio ja käytetään kvanttietokoneita löytämään funktion minimikohta.

Kriittistä koko kvanttilaskennalle on näkymät kaupallisesti kannattavista teollisuuden tuotantotapauksista ja lopulta edun saavuttaminen parhaimpiin tavallisiin tietokoneisiin verrattuna, ns. kvanttietu. Etu voi tarkoittaa tarkempaa tai nopeampaa laskentaongelman ratkaisua. Joissain tapauksissa etu voi tarkoittaa sitä, että kyseistä laskentaongelmaa ei voida ratkaista ollenkaan tavallisilla tietokoneilla. Optimointiongelmat ovat hyviä esimerkkitapauksia sillä niissä pienikin tarkkuus- tai nopeusparannus suhteessa olemassa oleviin ratkaisuihin voi merkitä kaupallista etua esi-

merkiksi teollisuusprosessissa tai finanssimallissa. Yksi mielenkiintoinen seuraus kvanttialgoritmien tutkimuksesta ja kehittämisestä on ollut tavallisten tietokoneiden laskenta-algoritmien parantuminen kilpailun lisääntyessä.

Optimointiongelman testitapauksessa olimme, että tarkeitä vaiheita kvanttilaskennan käytännön toteutuksessa ovat laskentaongelman siirtäminen ja muokkaaminen kvanttilaskentaan soveltuvaksi, hybridialgoritmin valinta ja siihen liittyvät monet tekniset ratkaisut, sekä laskentamallin ja algoritmin ja ohjelmoinnin soveltaminen kulloiseenkin kvanttietokoneen prosessorin ominaisuuksien mukaan. Näiden asioiden huolellisella tarkastelulla saimme parannettua kvanttialgoritmin tuottamaa ratkaisua huomattavasti, toki selkeästi vielä jäämme tavallisen tietokoneen kehittyneiden algoritmien taakse sen takia, että kvanttialgoritmin pituus ja leveys ei ollut riittävä. Harjoituksen pohjalta voimme sanoa, että kvanttilaskennan hyödyntämisestä kiinnostuneen yrityksen ihanteellinen työryhmä koostuisi henkilöistä, joilla olisi (a) tarvittavaa matemaattista tietoa laskentaongelmien teknisestä luonteesta, (b) kvanttifysiikan osaamista hybridialgoritmien kehittämiseen sekä (c) kvantti- ja suurteholaskennan ohjelmistoja osaava henkilö. Kvanttistrategian innoittamana monet korkeakoulut ovat kehittämässä koulutustaan ja tulevat tarjoamaan kurssejaan ja tietotaitoaan yritysten henkilöstön täydennyskoulutukseen.

Kvanttilaitteistot ja -ohjelmisto kehittyvät nopeasti

Kvanttilaitteistojen ja -ohjelmistojen kehitys on tällä hetkellä nopeaa ja globaalisti kilpailtua. Suomalainen VTT:n ja IQM:n kvanttietokone pohjautuu suprajohtavaan sähköpiiriteknologiaan, mutta vahvaksi kilpailijaksi on noussut muun muassa atomeihin ja ioneihin pohjautuvia teknologioita. Kilpailu edistää alan kehittymistä. Laitteistojen kehitys heijastuu vahvasti myös kvanttiohjelmointikieliin ja -ohjelmistoihin. Yleisesti ottaen kvanttietokoneala on nuori ja standardisoitumaton. Ensimmäisenä standardeja kaivattaisiin kvanttilaitteistojen ominaisuuksien mittaamiseen ja eri teknologioiden vertailun helpottamiseen.

Kvanttiohjelmointi muistuttaa joiltain osin tavallisten tietokoneiden alkuaikojia. Prosessoreissa on virheitä ja ne ovat resursseiltaan rajallisia. Algoritmit pitää tarvittaessa manuaalisesti sovittaa kulloiseenkin prosessorityyppiin ja jopa niiden eri versioihin. Toisaalta kvanttiohjelmointi hyödyntää tehokkaasti moderneja ohjelmistoympäristöjä, kehittyneitä kirjastoja sekä pilvipalveluja. Jännittävä sekoitus uutta ja vanhaa.

Kansallisessa kvanttistrategiassa päätavoitteena on kasvava, osaava, luotettava ja kilpailukykyinen Kvantti-Suomi. Päästäksemme tähän tavoitteeseen ohjelmistojen ja algoritmien näkökulmasta kannustan ottamaan aivan käytännöllisiä ensiaskeleita: Millainen on sinun Hello World -ohjelmasi kvanttietokoneelle? •

Kvanttitekniikan standardointityö liikkeellä

Suomalaisia asiantuntijoita tieteen ja liike-elämän puolelta on mukana kvanttitekniikoiden standardoinnissa. Panostus tulevien standardien sisältöihin vaikuttaa kannattavalta juuri nyt, kun eri teknologioita koskevia standardeja aletaan muotoilla. Ionitekniikoiden ja tietoturva koskevia julkaisuja on jo tekeillä, Suomen kannalta tärkeitä teknologioita kannattaa myös pitää esillä ja kommentoida kun standardointityö etenee Euroopassa ja maailmalla. Eurooppalaiseen CEN/CENELEC JTC 22 työhön pääsee osallistumaan SFS:n SR 313 Uudet IT-alueet kautta ja IEC/ISO JTC 3 työhön Seskon kautta.

CEN/CENELEC JTC22 työ jakautuu neljään työryhmään: Strateginen neuvoa-antava ryhmä, Kvanttimetrologia, sensorointi ja parannettu kuvantaminen sekä kvanttitekniikat, Kvanttilaskenta ja -simulointi ja Kvanttikommunikaatio ja kvanttikryptografia.

EU tukee eri rahoitusvälineillä kvanttitekniikoiden kehittämistä, EU:n ja sen jäsenmaiden kilpailuaseman parantamista, tulevaisuuden digitaalisen maailman valloitusta. Osa-alueita ovat kvanttilaskenta ja -viestintä sekä alan standardointi.

Flogistonin viimeiset liekit



Joseph Priestley oli teologi ja kemisti. (Kuva: Wikimedia)

Palaminen pyrittiin selittämään sillä, että palavista aineista poistuisi tulena ilmenevää flogistonia. Flogiston-teoria hylättiin, kun hapen rooli palamisessa ymmärrettiin. Ironisesti hapen löytäjä, Joseph Priestley, oli yksi viimeisiä flogistonin puolustajia.

Kemialla oli 1700-luvun alussa imago-ongelma. Näin ainakin väittää **Sara Norja**, joka kirjassaan *Alkemian historia* (SKS, 2023) jäljittää länsimaisen alkemian kiehtovaa historiaa aina modernin kemian syntyyn asti. Toisin kuin vaikkapa lääketiede tai fysiikka, ei kemia tai alkemia ollut koskaan osa klassillista koulutusta. Alkemialla oli yhteyksiä muihin tieteisiin, kuten lääketieteeseen, mutta sitä ei opetettu keskiaikaisissa yliopistoissa.

Imago-ongelmaan liittyi myös se, että kemisti tai alkemisti joutui kirjaimellisesti likaamaan kätensä. Keskiajalla vallitseva tieteellinen suuntaus oli skolastiikka. Tietoa saatiin auktoriteeteilta ja teksteistä, ei empiiristen kokeiden perusteella.

Uuden ajan alussa juuri kokeellinen metodi johti moniin edistysaskeliin. Kokeellisia tuloksia voi kuitenkin tulkita monin tavoin ja teorioita voi muokata vastaamaan uusia havaintoja. Oivallinen esimerkki tästä on englantilainen kemisti **Joseph Priestley** (1733–1804). Hän onnistui valmistamaan puhdasta happea. Pitkälti teoreettisista syistä hän pysyi silti vallalla olleen flogiston-teorian kannattajana.

Flogiston-teorian pääpiirteet esitti ensimmäisenä **Johann Joachim Becher** (1635–1682), jonka ajatus-ten varaan **Georg Ernst Stahl** (1659–1734) rakensi. Palavasta materiaasta ajateltiin poistuvan flogistonia, äärimmäisen hienoa ainetta. Se ilmeni tulena, kuumutena ja valona.

Teorian kantaisa, Becher, oli todellinen alkemisti. Hän osasi muodostaa kultaa hopeakolikoista pelkän tulen avulla. Todellisuudessa hän vain erotti kullan hopeasta, sillä hänen käyttämänsä Brabantin taalerit sisälsivät vähäisiä määriä kultaa.

Elettiin aikaa ennen ymmärrystä aineen rakenteesta ja atomeista. Flogiston aineena on jostain antiikin neljän elementin ja nykyisten alkuaineiden välimaastosta.

Joseph Priestley oli pappi ja filosofi. Hän oli myös taitava kemisti, joka eristi useita kaasuja. Häntä voimme

kiittää hiilihapotetuista juomista. Priestley kehitti keinon sitoa hiilidioksidia veteen. Hiilihapotettu vesi oli pitkille laivamatkoille sopivaa juotavaa, sillä se maistui paremmalta kuin pitkään seisonut vesi. Priestley tosin käytti aluksi hiilidioksidin säilömiseen sianrakkoja, joiden kerrotaan antaneen epämiellyttävän sävöksen juomiin.

Yksi Priestleyn eristämistä kaasuista oli happi. Priestley saa löydöstä kunnian, vaikka ruotsalainen **Carl Wilhelm Scheele** (1742–1768) ilmeisesti teki saman ennen Priestleyä. Priestley kuitenkin julkaisi tuloksensa ennen Scheeleä.

Tiedämme, että happi on keskeisessä osassa palamisessa. Kuitenkin sekä Priestley että Scheele olivat vannoutuneita flogiston-teorian kannattajia.

Elokuussa 1774 Priestley onnistui tuottamaan hapeta kuumentamalla elohopeaoksidia polttolasin avulla. Eristämällä kaasulla hän teki erilaisia kokeita. Hämmästyksensä Priestley huomasi, että kynttilä tai hehkuva puuhiilen palanen paloi siinä hyvin voimakkaasti. Oli kuin tässä hänen eristämässään ”ilmassa” ei olisi flogistonia ollenkaan, ja siksi se pystyi ottamaan sitä vastaan palavasta materiaalista tavallista ilmaa tehokkaammin. Priestley kutsui eristämäänsä kaasua ”deflogistoituneeksi ilmaksi”.

Priestley myös tutki hapen vaikutusta hiiriin. Kun hiiri suljettiin säiliöön, jossa oli tavallista ilmaa, säilyi se hengissä vain varttitunnin. Jos säiliössä oli ”deflogistunutta ilmaa”, hiiri pysyi hengissä yli tunnin ja oli vielä ihan virkeä, kun se päästettiin ulos.

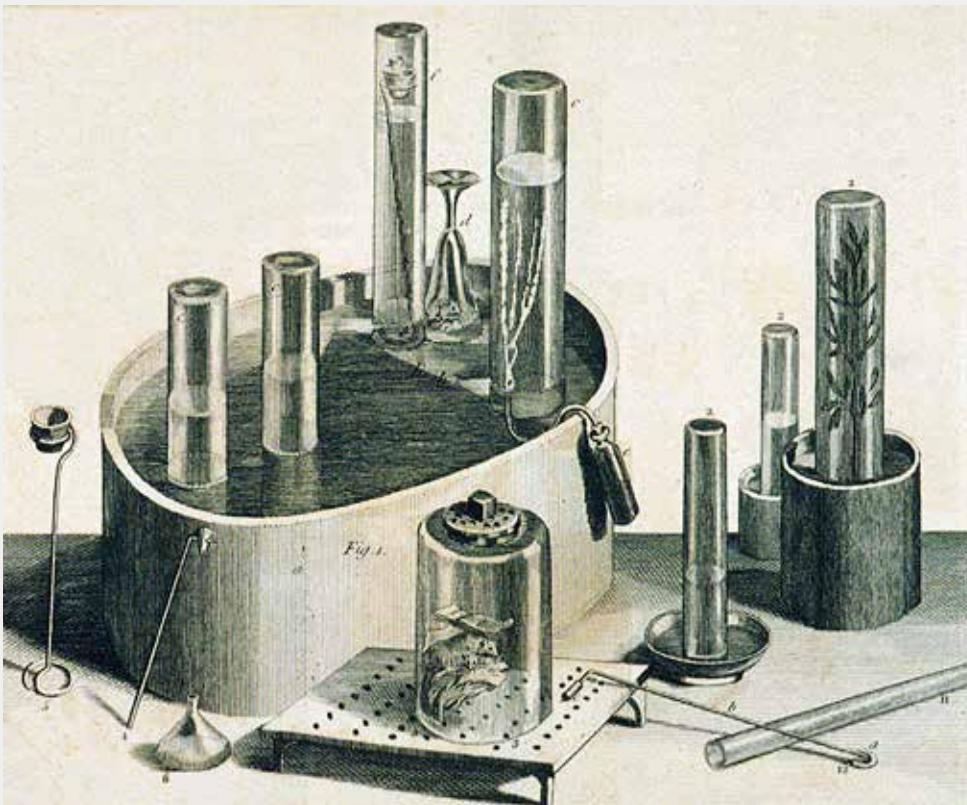
Joskus joudut tilanteeseen, jossa sinulle annetaan lisähappea, muista olla kiitollinen Priestleyn hiiriparolle. Priestley nimittäin pohdiskeli, että happi voisi olla hyödyllistä keuhkosairauksista kärsiville.

Jo aiemmin Priestley oli tehnyt mielenkiintoisen havainnon, minkä vuoksi jotkut pitivät häntä fotosynteesin keksijänä. Se lienee kuitenkin liioittelua. Hän oli huomannut, että eläimet kuolevat suljetuissa tiloissa, jois-



Jäljennös polttolasista ja muista välineistä, joiden avulla Priestley teki happea. (Kuva: Science Museum Group)

Lavoisierin tärkein yhteistyökumppani oli hänen vaimonsa.



Tällaisten välineiden avulla Priestley tutki happea. (Kuva: Wikimedia)

sa ilma pilaantuu niiden hengityksestä. Samanlaista pilaantunutta ilmaa oli suljetuissa astioissa, joissa kynttilä palaa loppuun.

Priestley ajatteli, että kasvitkin kuolisivat samanlaisessa ilmassa. Hämmästyksensä hän kuitenkin huomasi, että pilaantuneeseen ilmaan suljettu mintun verso pysyi elossa. Kun kasvin oli annettu olla siellä pitkään, ei sinne tuotu hiiri kuollut tai kynttilä sammunut.

Ollessaan kiertämässä Eurooppaa syksyllä 1774 Priestley demonstroi Pariisissa **Antoine Lavoisierille** (1743–1794) tuoretta keksintöään, eli kuinka luoda ”deflogistunoutua ilmaa”. Juuri Lavoisieriä pidetään flogiston-teorian tappajana ja palamisen salaisuuden todellisenä selvittäjänä.

Lavoisierin tärkein yhteistyökumppani oli hänen vaimonsa. **Marie-Anne Paulze Lavoisier** koulutti itsensä kemistiksi voidakseen tehdä yhteistyötä miehensä kanssa. Hän myös opetteli piirtämään tehdäkseen havainnekuvia Antoineen kirjoihin. Kielitaitoisena naisena hän käänsi miehensä kirjoituksia englanniksi ja ranskaksi englanninkielisiä tekstejä miehelleen.

Mikä sitten kaatoi flogiston-teorian? Kun metalleja kuumentaa, saattavat ne muuttua ”kalkeiksi”, joiden nykyään tiedämme olevan metallioksiedeja. Flogiston-teorian kannattajien mielestä tämä muutos osoitti, että metallitkin sisältävät flogistonia, joka poistuu niistä kuumennettaessa. Ongelmana oli, että joidenkin metallien massa kasvoi niiden palaessa, vaikka niistä piti poistua flogistonia.

Tätä pyrittiin selittämään esittämällä, että flogistonilla on negatiivinen massa. Tämä selitys kuitenkin herätti vain enemmän kysymyksiä.

Lavoisier oli vuonna 1772 huomannut, että fosforin polttaminen kasvattaa sen massaa huomattavasti. Hän ymmärsi tämän olevan ristiriidassa flogiston-teorian kanssa. Siinä missä Priestley vapaasti kertoi menetelmästään luoda happea Lavoisierille, ei Lavoisier ollut yhtä avoin omien löydöstensä kanssa. Kun hän oli tehnyt kokeita fosforin kanssa, hän talletti sinetöidyn tiedon tuloksistaan tiedeakatemian haltuun. Näin hän pyrki varmistamaan etusijansa ilmiön löytämisessä sita kuitenkin heti julkistamatta.

Lavoisier ei myöskään koskaan myöntänyt, että Scheele oli kirjeessä hänelle kertonut hapen eristämistä jo ennen Priestleyn vierailua. Lavoisier oli tarkka vain siitä, että sai itse kunnian silloin, kun se hänelle kuului.

Lavoisier aidosti ansaitsee kunnian siitä, että hän ymmärsi hapen olevan merkittävässä osassa niin palamista, ruostumista kuin hengittämistä. Hän esitti, että kaikissa näissä prosesseissa on kyse samasta kemiallisesta reaktiosta. Aine yhdistyy hapen kanssa. Väitteitään hän tuki tarkoilla kokeilla, jotka tehtiin suljetuissa astioissa ja joissa olevien kaasujen ja kiinteiden aineiden massan muutokset mitattiin huolellisesti.

Lavoisierin teorian eivät kuitenkaan olleet täysin selviä nekään. Lavoisier nimesi Priestleyn löytämän kaasun hapeksi, koska ajatteli sen olevan oleellisenä osana kaikissa hapoissa. Näinhän ei kuitenkaan ole,

sillä esimerkiksi suolahappo (HCl) tai fluorivety (HF) eivät sisällä happea.

Vuonna 1794 joukko hollantilaisia kemistejä löysivät reaktion, joka vaikuttaa palamiselta, mutta ei liity happeen mitenkään. Vedyn palaminen kloorikaasussa vapauttaa paljon lämpöä ja voi tuottaa liekin.

Lavoisierin teoriassa ei ollut kyse vain kokeista ja niiden selityksistä. Kyse oli uudesta tavasta hahmottaa kemiallisia reaktioita. Happi antoi vastauksen moneen ongelmaan yhtä aikaa. Flogiston-teorian kannattajat taas pitäytyivät teorioissaan juuri kokeiden takia. Koska kaikissa tapauksissa happi ei tuntunutkaan antavan selitystä, he mieluummin muokkasivat flogiston-teoriaa antamaan selityksen.

Jollain tapaa Priestleyn pitäytyminen flogiston-teoriassa oli myös pitäytymistä antiikin ajoilta periytyvässä käsityksessä maasta, vedestä, ilmasta ja tulesta elementteinä. Lavoisier osoitti kokeillaan, että vesi oli hapen ja vedyn muodostama yhdiste. Priestleyn tutkiessa asiaa hapen ja vedyn reaktio johti joskus hapen syntymiseen. Syynä varmasti olivat mukaan päässeet epäpuhtaudet.

Lavoisier piti Priestleyn kokeita epäonnistuneina ja sivuutti ne täysin ilman, että yritti niitä mitenkään selittää. Näin kumpikin osapuoli piti kiinni omista havainnoistaan, eikä antanut mitään arvoa toisen tekemille vastakkaisille havainnoille.

Priestley kutsui eristämiään kaasuja ilmoiksi. Sen sijaan, että olisi nähnyt ne omina alkuaineinaan, hän selitti niiden olevan ilmaa, jossa oli eri määrä flogistonia. Happi oli deflogistunoitua ilmaa. Vastaavasti hiilidioksidi oli ilmaa, joka on jo ottanut niin paljon flogistonia vastaan kuin mahdollista, eikä siksi palaminen ollut mahdollista hiilidioksidissa.

Oikeastaan Priestley laajensi flogiston-teorian sisältämään palamisen lisäksi muunkinlaisia kemiallisia reaktioita. Flogistonin määrä aineessa toimi eräänlaisena kemiallisena tilanyhtälönä, joka kertoi, minkälaiset reaktiot olivat mahdollisia.

Näin flogiston-teoria kehittyi paljon siitä, miten Becher tai Stahl olivat sen esittäneet. Niinpä 1700-luvun lopulla kemiassa oli käynnissä pikemminkin kahden tutkimusohjelman välinen kilpailu kuin vallankumouksellinen paradigman muutos.

Vaikka samaan aikaan tieteessä oltiin siirtymässä keskiajan skolastisesta perinteestä kohti modernia empiiristä luonnontiedettä, on paradoksaalista, että tutkimusohjelmien kilpailun lopulta hävisi Priestley, joka oli todellinen empiristi.

Priestley luotti omiin aisteihinsa enemmän kuin teoreettisiin selityksiin. Hän myönsi, että metallien hapetuksessa niiden massa kasvoi. Samalla niistä kuitenkin poistuu jotakin. Prosessiin liittyvä voimakas haju teki tämän selväksi. Tämä haju kertoi flogistonista.

Priestleyn haiseva vastalause ei kuitenkaan riittänyt vakuuttamaan Lavoisierin happiteorian kannattajia. Flogistonin liekit sammuiivat ja kemian kulku jatkui Lavoisierin viitoittamaa tietä pitkin. •



Antoine Lavoisier ja hänen vaimonsa, kemisti Mary-Anne Lavoisier. (Kuva: Wikimedia)

Sähköverkon muuntajien kunnonvalvonta

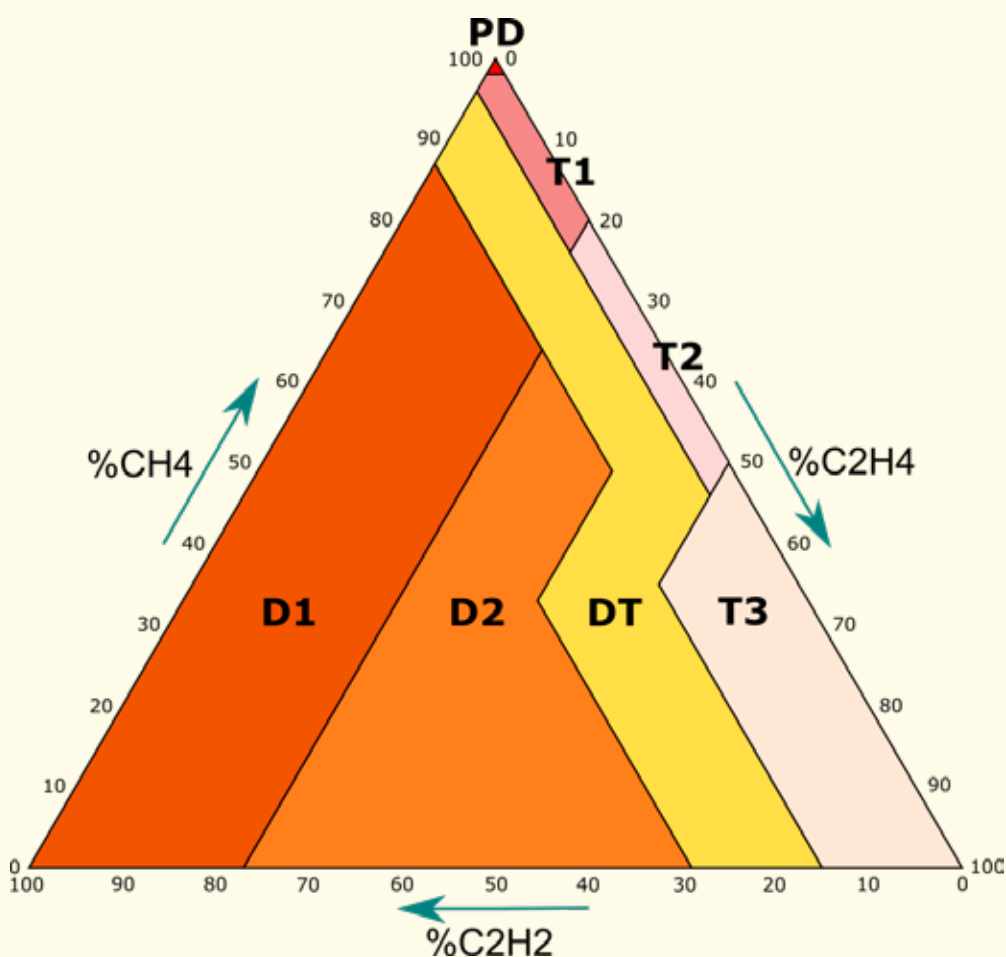
12. huhtikuuta 1991 Olkiluoto 2:n päämuuntaja syttyi yhtäkkiä tuleen aiheuttaen koko voimalaitoksen irtoamisen verkosta. Reaktorin turvallisuus- ja jäähdytysjärjestelmät olivat tämän seurauksena 7,5 tuntia dieselgeneraattorien varassa. Mutta mitä oli oikein tapahtunut? Miksi muuntaja syttyi tuleen, tai jopa räjähtää, kesken käytön?

Valtakunnanverkon suurjännitemuuntajat ovat rakenteeltaan öljytäytteisiä, ja muuntajan käämien eristeinä toimii paperi. Vuosikymmenien saatossa tämä paperieriste voi alkaa haurastua, varsinkin jos muuntajaöljyssä on kosteutta seassa. Haurastumisen saatosta muuntajassa voi tapahtua läpilyöntejä, valokaaria yms. ei-haluttuja ilmiöitä.

Tällaisen seurauksena muuntajaöljy, joka on useimmiten mineraaliöljyä, eli kohtalaisen yksinkertaisista hiilivedyistä koostuvaa ainetta, voi alkaa hajota ja tuottaa nk. vikakaasuja. Näihin vikakaasuihin lukeutuvat mm. vety, metaani, eteeni ja asetyleeni. Nämä kaasut kuullessaan lukija saa varmaankin käsityksen siitä, miten muuntaja voi syttyä tuleen. Palava kaasu ja kipinä kun eivät ole ideaalinen yhdistelmä.

Muuntajan rakenteeseen kuuluu sen päällä oleva konservaattori, tyhjä tankki, joka mahdollistaa öljyn lämpölaajenemisen käytön ja ulkolämpötilan mukaan. Tähän yhteyteen on yleensä asennettu nk. Buchholzin rele, laite joka havaitsee mikäli jotain kaasua alkaa muodostua ja katkaisee virran muuntajasta. Tämä laite kuitenkin havaitsee vain tilanteen jossa kaasua muodostuu runsaasti.

Muuntajien kuntoa voidaan valvoa nk. vikakaasu-analyysillä (englanniksi dissolved gas analysis, DGA).



Duvalin kolmio. PD = osittaispurkaus, T1 = terminen vika alle 300 °C, T2 = terminen vika 300-700 °C, T3 = terminen vika yli 700 °C, D1 = matalan energian purkaus (kipinäntähti), D2 = korkean energian purkaus (valokaari), DT = sekoitus sähköisiä ja lämpövikoja.

Kuvan lähde ja krediitti: https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Duval_Triangle_1.png



Perinteisesti tätä on tehty niin, että joku menee välillä paikan päälle muuntajalle, ottaa sieltä öljynäytteen ja tälle tehdään analyysi laboratoriossa esim. kaasukromatografialla. Nykyään markkinoilla on laitteita, jotka kiinnitetään muuntajaan, ja jotka analysoivat öljyä automaattisesti 24/7. Näin vikoihin voidaan reagoida heti, toisin kuin laboratorionäytteillä, ja nämä kunnonvalvontalaitteet lisäävätkin merkittävästi sähköverkon toimintavarmuutta.

DGA-analyysin hyvä puoli on myös se, että se ei pelkästään kerro että muuntajassa on vikakaasua, vaan sen avulla voidaan päätellä kaasujen koostumuksesta, millainen vika muuntajassa tarkalleen ottaen on. Tähän on käytössä apuna Duvalin kolmio, joka kertoo 3 yleisimmän vikakaasun (metaani, eteeni ja asetyleeni) suhteiden avulla vian tyypin.

Lähtökohtaisesti öljytäytteinen muuntaja paperieristeillä on hyvin kestävä. Niitä on käytetty yli 100 vuotta, ja jotkut ovat kestäneet jopa tuon vuosisadan verran käytössä. Keskimäärin puolet muuntajista kestää 50 vuotta käytössä. Nämä isot muuntajat maksavat satojatuhausia, jopa miljoonia, per yksikkö, joten niiden käyttöä halutaan maksimoida niin ekologisista kuin taloudellisistakin syistä.

Vikakaasuanalyysi havaitsee pienetkin pitoisuudet kaasuja, joten ongelmiin voidaan puuttua varhaisessa vaiheessa ja pitää muuntaja kunnossa. Vikakaasujen lisäksi on tärkeää tarkkailla myös muuntajaöljyn kosteutta, sillä öljyn tulisi olla mahdollimman kuivaa paperin eliniän pidentämiseksi. Näillä avulla nykyään esimerkiksi Olkiluoto 2:n vuoden 1991 muuntajapalon kaltainen tilanne voidaan välttää kokonaan. •

Suurjännitemuuntaja. Öljyllä täytetty tankki, jonka päällä näkyy sylinterin muotoinen konservaattoritankki.

Kuvan lähde ja krediitit: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CG_Autotrafo_4002904.jpg

Martti Annanmäki

Fyysikko monessa mukana

Martti Annanmäki syntyi Vaasassa 30.11.1944 ja kuoli Vantaalla 19.03.2025 vaikeaan sairauteen. Hän kirjoitti ylioppilaaksi Vaasan lyseosta 1964, opiskeli Helsingin yliopistossa fysiikkaa ja muita matemaattis-luonnontieteellisiä aineita, ja valmistui filosofian maisteriksi 1974.

Työura säteilyltä suojelemisen merkeissä

Martin työura alkoi Säteilyfysiikan laitoksella (myöhemmin Säteilyturvakeskus STUK) tutkijana 1970-luvun alussa ja jatkui virkamiehenä vuoteen 2007. Hän jatkoi eläkkeellä STUK:in asiantuntijana ja konsulttina 5 vuotta ns. toimeksiantosopimuksella.

Martti oli yksi niistä harvoista asiantuntijoista, jotka havahtuivat 1970-luvulla selvittämään luonnon radioaktiivisia aineita ja niistä aiheutuvaa väestön ja ennen kaikkea työntekijöiden altistumista ionisoivalle säteilylle, erityisesti radon-kaasulle. Hän oli myös keskeisessä roolissa, kun STUK:iin luotiin laatu- ja johtamisjärjestelmä.

Annanmäki toimi aktiivisesti myös kansainvälisissä projekteissa mm. Tansaniassa, Namibiassa, Baltian maissa ja Ukrainassa. Tehtävät liittyivät mm. Tansaniassa fosfaatin louhinnan ja rikastuksen aiheuttamaan työntekijöiden säteilyaltistukseen, Namibiassa uraanistrategian luomiseen maan lainsäädäntöön, koska 2000-luvun alussa oli alkanut ”uraaniryntäys” ja uraanin etsintälupien kysyntä oli tullut Namibian kaivos- ja energiaministeriön ”syyliin”. Ukrainassa ja Puolassa tutkittiin valvontamenetelmien käyttöönottoa terrorismiuhien torjumiseksi jalkapallon EM-kisoissa 2012. Tässä hankkeessa oli kyse terroristien aiheuttamasta CBRN-uhasta lentomatikustajille (CBRN = Chemical, Biological, Radiological, Nuclear) ja siinä koulutettiin ko. valtioiden raja-asemilla yhteensä 50 rajavartijaa. Liettuassa ja Latviassa Martti oli keskeisessä roolissa, kun maiden säteily- ja ydinturvaviranomaisille luotiin laatu- ja johtamisjärjestelmät. Läpinäkyvät ja jäljitettävät laatu- ja johtamisjärjestelmät, jotka perustuivat kansainvälisiin standardeihin, olivat vielä melko outoja johtamisjärjestelmiä entisen Neuvostoliiton ”tasavalloissa”.

Martti oli mukana koordinoijana myös monissa Euroopan Unionin rahoittamissa projekteissa, joissa oli tutkijoita Suomen lisäksi useista EU:n jäsenmaista

kuten Saksasta, Itävaltasta ja Ruotsista. Saavutettuja mittavia tuloksia kuvaa mm. se, että julkaistuja tiede- ja asiantuntija-artikkeleita syntyi 19 ja projektin sisäisiä raportteja 14 sekä kolme väitöskirjaa eri tutkijoiden toimesta.

Näistä tehtävistä kertoessaan hän ”marttimaisesti” pohdiskeli, että ”luetaankohan näitä tuloksia ja raportteja ihan oikeasti”?

Luottamusmiehenä ja ammattijärjestöaktiivina

Martti toimi työpaikallaan Akavan luottamusmiehenä 15 vuotta. Tämä vei hänet ammattijärjestötoimintaan TEKissä ja MALissa (aiemmin nimeltään SMFL). Hän oli TEK:n valtuuston ja eri valiokuntien jäsen vuodesta 1990 yli 30 vuotta sekä hallituksen jäsen ja varapuheenjohtaja vuosina 1995–2008. Hän osallistui jäsenenä hyvin monien TEK:n eri valiokuntien työhön kuten valtion-, koulutus-, jäsen- ja järjestöasioiden sekä yrittäjyysvaliokuntien työhön. MAL:n hallituksessa hän oli jäsen ja sihteeri viimeisen kymmenen vuoden aikana näihin päiviin asti ja osallistui innokkaasti MAL-lehden toimittamiseen. Hän oli ensimmäinen ei-diplomi-insinööri, jolle myönnettiin TEK:n korkein ansiomerkki, TEK:n plaketti.

Martti kertoi, että perustan kaikelle myöhemmälle järjestötoiminnalle TEKissä loi 15 vuoden työ Säteilyturvakeskus STUKin luottamusmiehenä. STUK oli ja on suuri tekniikan ja erilaisten luonnontieteiden hyödyntäjä tehtävissään. Siellä työskentelee yli sata akavalaisista, joista 70 prosenttia oli ja on TEK:n jäseniä. Luottamusmiestoiminta vei Martin ensin TEKin valtion valiokuntaan, jossa syntyivät kontaktit muihin valtion virastoihin. Valiokuntatyö ja luottamusmiehenä toimiminen tukivat mainiosti toisiaan.

Martti oli hyvä ideoimaan järjestöjen toimintaa ja tomonia uusia toimintamuotoja toimiessaan ko. järjestöjen hallituksissa. Näitä olivat mm. jäsenlehden julkaiseminen ja siihen kirjoittaminen, matemaattikkoaiheisen elokuvan esittäminen, matematiikan kouluopetukseen liittyvien seminaarien ja matikkaleirien järjestäminen sekä jäsenten ammattipätevyyden vahvistaminen kielijä kirjoittajakurssien muodossa. Viime aikoina hän oli mukana TEK:n keskusteluryhmässä ”Pilkku”, jossa pohdittiin mm. suomen kielen asemaa yliopistoissa ja opinnäytetöiden kielenä.



Martti (oik.) lakkaretkellä Lapissa Sallan Tunttsalla 1979.

Kuva: Jaakko Ojala

Toiminnastaan TEK:n piirissä Martti totesi eräässä haastattelussa: ”On vaikea osoittaa, mitä itse on saanut aikaan. On kuitenkin kaksi asiaa, joissa olen ollut vahvasti mukana. Ensimmäinen liittyy 90-luvun alkuun. Mietin, että TEKin hallituksella tulisi olla hallitusohjelma. Tästä saikin alkunsa TEKin hallitusohjelmakäytäntö.”

Toinen asia, jonka syntyyn Martti on merkittävästi vaikuttanut, oli ns. teknologiabarometri. Hän oli mukana TEKin tutkimus- ja tiedonhallintatyöryhmässä, joka kiinnitti huomiota erilaisiin valtakunnallisiin barometreihin. Miksei vastaavaa voisi olla teknologiaankin liittyen, pohti työryhmä. TEK innostui asiasta ja yhdes- sä VTT:n kanssa ko. barometri toteutettiin. Useiden vuosien ajan TEK toteutti selvityksen, jossa seurattiin tekniikan hyväksikäytön edistymistä yhteiskunnassa.

Martin kyky sovitella ja huomioida eri näkökulmista lähteviä intressejä oli todella käytössä monissa kiperissä työmarkkinatilanteissa. Hänen ystävällisyytensä ja empaattinen kykynsä auttoivat häntä hoitamaan myös henkilökohtaisia ongelmatilanteita.

Kirjojen lukemista ja niiden tekemistä

Martti oli suuri kirjallisuuden ystävä ja luki päivittäin aina lapsuudesta alkaen, paljon myös englannin kielellä.



Martti pyöräretellä Espoosta Taivassaloon Varsinais-Suomeen 2003. Kuva: Jaakko Ojala



Pyöräretken päätteeksi mökillä Taivassalossa 2003. Martti Annanmäki oikealla. Kuva: Jaakko Ojala

Parhaimmilleen Martin luovat kyvytkin pääsivät esiin kirjojen teossa. Hän innostui aina, kun tuli puhe kirjojen tekemisestä. Hän on ollut mukana organisoimassa muun muassa kaikkia MALin juhlakirjoja 20-vuotis juhlakirjasta ”Ammattimiehet Asialla” vuonna 1981 alkaen kymmenen vuoden välein aina 60-vuotiskirjaan, jossa mm. kerrottiin runsaasti järjestön jäsenten uratarinoita. Viimeisin oli vuosina 2023–2024 järjestetyn MAL:n ja MAOLin seminaarisarjan esityksistä koostuva ”Härkää sarvista – Matematiikan osaaminen nousuun”, jonka teemana on matematiikan kouluopetus ja sen kehittäminen. Hän oli mukana myös STUKin 50-vuotishistoriahankkeessa.

Erityisen mieluisaa Martille oli olla kokoamassa oman harrastuksensa, pyöräilijäporukan kokemuksia yli 20 vuoden ajalta kahdeksikin kirjaksi pitkiltä pyöräretkiltä Suomen rannikoilta, Virosta, Latviasta ja Ruotsista. *Ketjut rahisevat – miehet kertovat* -kirjaa painettiin vain tälle porukalle.

Mittava Martin kirjaprojekti oli yli 300-sivuinen kooste reserviupseerikurssin RU-118:n oppilaiden elämästä viimeisten 50 vuoden ajalta. Tässä Martin ja pienen työryhmän kokoamassa kirjassa 45 reservinupseeria kertoo elämäkertansa.

Eteläpohjalaisuutta, ja aktiivisuutta monella sektorilla

Martti vietti paljon aikaa Vaasassa lapsuudessaan, kävi koulua Vaasan Lyseossa ja vietti vapaa-aikaa kesämökillään Bergössä Vaasan saaristossa. Hän sanoi oman Pohjanmaansa alkavan Närpiöstä ja ulottuvan Korsnäsän ja Maalahden kautta Vaasaan. Hän kertoi, että hänellä mielestään ollut vielä Vaasassa asuessaan ollut mitään erityistä pohjalaista identiteettiä, vaan semmoinen syntyi vasta opiskelujen alkuaikoina, kun hän osallistui aktiivisesti Etelä-Pohjalaisen Osakunnan toimintaan. Osakunnassa Martti toimi 1960-luvulla mm. osakunnan

isäntänä ja osallistui aktiivisesti näytelmäkerhossa eri ohjelmanumeroiden tekoon ja näytelmien ohjaamiseen.

Koska osa Martin Vaasassa asuvista sukulaisista oli ruotsinkielisiä, ruotsin kieli oli hänen lapsuudessaan ja nuoruudessaan sekä kesäpaikan Bergössä läsnä niin, että Martti totesi ”ruotsin kielen klangin tuntuvan korvissaan mukavalta”. Tästä huolimatta hän halusi vaalia myös suomen kieltä mm. opiskelussa ja opinnäytetöissä osallistuen jo mainitun Pilkku-työryhmän työhön.

Martilla oli vilejät ideoita, joita hän myös toteutti. Eräs oli ajaa pienellä perämoottoriveneellä 3 päivässä Helsingistä Vaasaan, ja siinäkin hän ystävänsä kanssa onnistui. Kirjallisuuden lisäksi Martin mieliharrastuksia oli rock-musiikki, jossa hänen suosikkejaan olivat mm. Bruce Springsteen ja Queen. Hän kävi rock-konserteissa ulkomaillakin.

Martti oli kiinnostunut käytännön tekniikasta ja elektroniikasta ja pyrki itse korjaamaan niin autot, moottorisahat kuin perämoottoritkin. Talonrakennus sujui häneltä raudoitus- ja muuraustöitä myöten. Eläkepäivillään hän vielä peruskorjasi Bergön huvilan ja saunan.

Bergön mökki oli hänelle rakas paikka, jossa puolison Lean, kolmen lapsen ja kuuden lapsenlapsen kanssa nautittiin saunomisesta, merellä olosta ja sen läheisyydestä. Isänä Martti oli lapsilleen melko tiukka, lapsenlapsilleen mukava pappi. Martilla oli tapana viedä lapsia huvituksiin viikonloppuisin.

Kokemuksistaan kesämökkinsä rantasaunan lauteilta Suomen Saunaseuran jäsen Martti totesi, että ”siellä on mukava makoilla ja kuunnella aaltojen loiskimista rantakiviin. Sitä loiskintaa olen kuunnellut koko ikäni. Siihen ääneen on myös mukava nukahtaa”. •

**Lea Annanmäki, Raimo Mustonen,
Jaakko Ojala ja Pentti Puhakka**

Väliotsikot toimituksen

Martti ja MAL-lehti

Tulin MALin hallitukseen vuonna 2019 samassa vuosikokouksessa, jossa hyväksyttiin Jaakko Ojalan ehdotus MAL-lehden profiiliin nostamisesta vaatimattomasta jäsentiedotteesta nykyisen tyyppiiseksi. Hallituksen järjestäytymiskokouksen jälkeen huomasiin lupautuneeni tiedottajaksi. En tuntenut ennestään ketään, ja arvelin mielessäni lehtihanketta vähän ylioptimistiseksi. Asian primus motoriksi hallituksessa osoittautui Martti, jolla ei tuntunut olevan pienintäkään pelkoa tällaisen lehden liikkeelle polkaisemisen vaikeudesta.

No, Martti järjesti ensi töikseen MALilaisille edullisen viikonlopun mittaisen kirjoittajakurssin. Se pidettiin Päivölän matematiikkainternaatissa, joka oli Martille tuttu nuorten matematiikkakurssien organisoimisen kautta. Useat osanottajista laativat uratarinoitaan ja muita kirjoituksia ensimmäisiin numeroihin. Mukana kurssilla oli myös Niklas Hietala, joka on alusta lähtien kirjoittanut joka numeroon mainion artikkelin alojemme tieteenhistorian aiheista.

Päätoimittaja Suv:n ja taittaja Kirsi Pääskyvuoren Martti kutsui mukaan eteläpohjalaisyhdistyksen lehdestä, painopaikka CopySetin taas TEKin lähiympäristöstä. Laajasta tuttavapiiristään hän on onnistunut saamaan yhä uusia alojemme ammatilaisia jakamaan tietoaan ja kokemuksiaan MAL-lehden sivuilla.

Martin poismeno on lehdellemme erittäin raskas menetys, mutta uskon, että hänen liikkeelle saamansa ”hyvän kehä” jatkaa laajenemistaan. Olemme saaneet Martilta pitkän oppimäärän optimistista asennetta sekä luottamusta ammattikuntiemme ihmisiin.

Ilkka Norros

Muistotilaisuudessa muisteltua

Martti Annanmäen hautajaiset pidettiin 11.4. Louhelan kirkossa Vantaalla. Seuraavassa poimintoja mukana olleiden MALin aktiivien muisteluksista.

Jaakko Ojala muisteli, miten tapasi Martin ensimmäisen kerran, kun meni kesätöihin silloiselle Säteilyfysiikan laitokselle vuonna 1974. ”Minulle osoitettiin sama työhuone kuin Martilla oli ja Martti otti hyvin vastaan uuden tulokkaan, alkoi avuliaasti ja ystävällisesti neuvoa talon tapoja ja asioita sekä osoittaa laitteita mitä tarvitsin kesätyötehtävänä tekemiseen”.

”Martin kanssa en niinkään ollut samoissa työtehtävissä. Yhteistä löysimme kaikessa muussa, ja kuvaan tulivat fyysikoiden ammattiasiat - Suomen Matemaatikko- ja Fyysikkoliitossa ja myöhemmin TEKissä. Ensimmäinen iso hanke oli Matemaatikko- ja Fyysikkoliiton (SMFL:n) 20-v juhla-kirjan teko ”Ammattimiehet Asialla”. Martti oli kokoamassa tätä kirjaa ja toteuttamassa hyvin onnistunutta hanketta Raimo Mustosen kanssa.”

Jaakko jatkoi, miten he Martin kanssa myös vapaa-ajalla ja harrastuksissa saivat ”ideat” kukki-maan – milloin retkillä Lapin tuntureille tai miesporukan pyöräretkillä Suomen rannikoilla, Virossa tai Ruotsissa 30 vuoden ajalta. ”Martti oli saunoja ja hän oli auttamassa, kun rakensimme Taivassaloon savusaunaa. Hirsikehikon tapittamisessa Martti osoitti kirvesmies-taitonsa ja savusaunan puuosat viimeistellyt ammattimies kehui, että hyvin oli kehikko koottu”.

Jaakko muisteli, miten Martti oli aina vierellä, kun ystävää tarvittiin – ”Siitä tunnet sä ystävän, kun on vierellä vielä hän ...”

Lasse Paajanen halusi kertoa muistojaan Martin kirja-projektityöstä, erityisesti SMFL/MAL:n 50-vuotis-historiakirjan toimittamiseen.

”Historiakirjan toimittamista varten oli nimetty työryhmä, johon Martin kanssa kuuluiimme. Martti oli keskeisessä roolissa silloin kun etsittiin MAL:n historialle kirjoittajaa. Martin ja Suomelan Martin kanssa haastattelimme historiaryhmän ehdottamia kirjoittajakandidaatteja. Historian kirjoittajaksi valittiin Anitta Valtonen. Martilla oli erinomainen näkemys siitä, kuinka kirjoittajaehdokkaista olisi soveliaa kirjoittamaan liiton historiaa. Yhteistyö historiaryhmän ja kirjoittajan kanssa oli sitten koko ajan erinomaista. Martti teki



MAL-vuosikokous 25.4.2023. Martti Annanmäki vasemmalla. Kuvassa myös Kimmo Pietiläinen puolisoineen, Esko Juuso ja Aatos Lahtinen (selin).

yksinäänkin jo varsinaista historiatiötä selvittämällä SMFL:n arkistoja. Martin idea oli myös se, että otetaan SMFL:n arkistomappeja mukaan ja mennään Anittan kanssa viikonlopuksi risteilylle. Silloin on hyvää aikaa selvittää mitkä asiat arkistomapeista ovat historian kirjoituksessa tärkeitä. Näillä evästyksillä Anitta Valtonen alkoi tutkia liiton historiaa ja laatia tekstejä, joita sitten käsiteltiin ja kommentoitiin historiaryhmässä.”

”Martti oli vielä keskeisessä roolissa historiakirjan painopaikan valinnassa ja siihen liittyvissä käytännön asioissa. Kirjat varastoitettiin Martin autotalliin, josta niitä hoidettiin sitten jakeluun.”

Henkilökohtaisesti muistan hyvin, kun Martti pyysi minua ehdokkaaksi TEK:n valtuustovaaleihin. En ollut innostunut asiasta, kun en ollut tunnettu TEK:n piirissä eikä minulla ollut työpaikallanikaan TEKiläisiä jäseniä. Martti kertoi, että TEK:n valiokuntiin valitaan vaaleissa mukana olleita vaikeivat olisi valtuustoon päässekään. Olin sitten ehdokkaana, ja sainkin olla pari kautta TEK:n koulutusvaliokunnassa ja pääsin puhumaan siellä matematiikan kouluopetukseen liittyvistä asioista.

Marttihan oli varsinaisen saunaentusiasti, olimmekin molemmat Suomen Saunaseuran jäseniä. Tapasimme joskus Lauttasaassa saunaseuran savusanoissa. Täytyykin vielä mainita tällainen TEKiin liittyvä yhteinen tietomme. Minulla ja Martilla on nimittäin TEK:n henkilömatrikelissa kummallakin harrastukseksi merkitty myös saunominen.”

Raimo Voutilainen halusi tuoda esille kaksi Martille luonteenomaista piirrettä, nimittäin kannustavuuden ja huumorintajun.

”Aivan samalla tavoin kuin Lasse Paajasen kohdalla Martti ”usutti” minua TEK:n valtuustovaaliehdokkaaksi. Suostuin, mutta en saanut tarpeeksi ääniä edes varasijalle. Martti oli kuitenkin evästännyt minua, että ehdokkaat ovat hyvissä asemissa valittaessa valiokuntien jäseniä. Niin vain on käynyt, että olen ollut TEK:n talousvaliokunnassa, uravalio-kunnassa ja koulutuspoliittisessa valiokunnassa yhtäjaksoisesti vuodesta 2011 lähtien, kerran varajäsenenä ja neljä kertaa varsinaisena jäsenenä. Näissä on ollut hyvin mielenkiintoista olla mukana, josta on kiittäminen pääasiassa Marttia.

Martti on ollut moninaisissa toimitissaan harvinaisen energinen, ottaen erityisesti huomioon hänen pitkää elämänsä varjostaneet monet terveysongelmat. Tästä haluan kertoa esimerkkinä SMFL:n / MAL:n aikanaan suunnilleen vuosittain järjestämät hallituksen kehittämisseminaarit, joihin minutkin parin muun hallituksen ulkopuolisen ohella kutsuttiin. Seminaarilaisia vaivasi usein ns. tyhjän paperin probleema, siis mistä aloittaa visaisten kysymysten purkaminen. Martti tapasi, oli hän virallisesti seminaarin puheenjohtaja tai ei, käydä eri ryhmissä auttamassa osanottajia alkuun. Hänellä oli ideoita, joita hän kehotti miettimään ja jotka hän aina esitti pilke silmäkulmassa ja iloisesti hymyillen. Tämä hänen huumorinsa auttoi usein työryhmiä liikkeelle työssään.” •

HÄRKÄÄ SARVISTA

Tilaa Härkää sarvista - Matematiikan osaaminen nousuun

Kirja on saatavilla sähköisessä muodossa
sivulla mal-liitto.fi/julkaisut.
Se on kaikkien ladattavissa.



Kirjasta voi myös hankkia paperisen version.
Kirjaa painaa painotalo Copy-set Oy.

**Kirjaa on saatavissa Book on Demand-
tyyppisesti hintaan 44 EUR,
jossa mukana myös ALV.**

Hinta sisältää kirjan ja sen toimittamisen
lähimmälle noutopisteelle. Kirja maksetaan
lähetyksen mukana tulevalla laskulla.

Tilaus lähetetään Copy-set Oy:lle
(copy-set@copy-set.fi). Tilauksesta tulee
ilmetä tilaajan nimi, osoite,
sähköpostiosoite ja puhelinnumero.

Toimitusaika noin 2–3 työpäivää.
Laskun maksuehto: 14 pv netto.

Kirjaa voi tilata myös isommissa erissä.
Tällöin 50 kpl maksaa 875 EUR + alv 10%
ja 100 kpl maksaa 1 450 EUR + alv 10%.

Hinnat sisältävät toimituksen yhteen
osoitteeseen. Jos haluaa lähettää kirjaa
yksittäisiin osoitteisiin, niin tällöin
toimitus maksaa 15 EUR per osoite.

Kirjaa voi tilata myös jonkin muun halutun
määrän ja siten, että ne jaellaan toimitetun
osoitteiston mukaan. Tällöin tulee pyytää
erillinen tarjous painotalolta.

Gradujen aiheita vuonna 2024

Osa II: Matematiikka

MAL-lehden viime numerossa 1/2024 aloitimme juttusarjan lukijamme esittämästä toiveesta, että olisi mukava kuulla, mistä aiheista alojemme pro graduja nykyään tehdään – siis matematiikasta, fysiikasta ja tietojenkäsittelytieteestä. Kerran vuodessa jaettava MALin gradupalkintokin kertoo vain yhden loistavan esimerkin per vuosi.

Viime numeron jutussa yksinkertaisesti listasimme aihehahmittain Aalto-yliopiston tietojenkäsittelytieteen diplomitoiden otsikot viime vuodelta. Tälläkin kertaa aloitin ikävä kyllä jutun valmistelun liian myöhään ja joudumme tyytymään yhden yliopiston antiin. Tässä käsiteltävä Helsingin yliopiston matematiikan ja tilastotieteen osasto ("laitokset" yliopisto on nerokkuudessaan muutama vuosi sitten lakkauttanut) on kyllä alan suurin ja monipuolisin instituutti maassamme, mutta lukijan on hyvä tietää, että esimerkiksi Turun yliopistolla on matematiikassa aivan oma, diskreetti matematiikkaa painottava profiilinsa, ja omia vahvuusalojaan on kaikilla muillakin.

Helsingin yliopistossa Matematiikan ja tilastotieteen osaston tutkimukset jakautuvat kolmeen alaosaan, jotka ovat matematiikka, sovellettu matematiikka ja tilastotiede. Aihepiirien ryhmittely on tehnyt omin päin, joissain tapauksissa Wikipedian avustamana.

Tiedekunnan pro gradut löytyvät linkillä <http://hdl.handle.net/10138/18093>. Jos haluat tietää enemmän jostakin alla mainituista töistä, mene tuolle sivulle, valitse haku "Nimekkeen mukaan" ja kirjoita työn otsikon alkua hakukenttään. (Joissakin tapauksissa tämä ei tosin näytä toimivan, ja tarvitsin informaation apua tämän artikkelinkin kokoamisessa. Lisäksi kaikkien yliopistojen arkistojärjestelmät näyttävät olevan erilaisia!)

Matematiikka (yhteensä 21)

Matemaattinen logiikka

The Formula Size Game as a measure of succinctness

Morley's theorem

Algebra

Profinite groups

Proärelliset ryhmät

An introduction to Hilbert's Nullstellensatz: an insight for the algebraically minded

Analyysi, analyttinen lukuteoria

Notions of integrals

Statistical properties of the Riemann zeta function

Topologia

Wild embeddings

De Rhamin lause

Whitneyn upotuslause Sardin lauseen seurauksena

Funktionaalianalyysi

Matrix product state decomposition in infinite-dimensional Hilbert spaces

The Sobolev trace operator

Sobolev extension on locally uniform domain

Matemaattinen fysiikka

Conditions for the vanishing viscosity limit

Mathematical foundations and numerical solutions for compressible air flow phenomena in one-dimensional pipeline analysis

Percolation and modular forms

Qualitative analysis of chaos within double-scroll system

Stochastic heat and quantization equations

Weak non-conservative solutions of ideal magnetohydrodynamics

Tietotekniikan matematiikka

A supervised NMF algorithm for speech signal enhancement

Learning manifolds and manifold learning: from the Whitney embedding theorem to the universal approximation theorem with injective neural networks

Sovellettu matematiikka (yhteensä 17)

Stokastiikka

Classical extreme value theory through variation of CDFs in the limit

Constructing continuous-time Markov chains from continuous transition intensities

Fractal analysis of a human-played drum beat with principal component analysis

Infinitely wide feedforward neural networks as Gaussian processes

On the tail behavior of lognormal sums

Optimal stopping and control of Markov chains with applications

Raja-arvotuloksia ja uskottavuuspäätelyn asymptoottista teoriaa

Visualization techniques for analysing heavy-tailedness of data

Vakuutusmatematiikka ja rahoitusteoria

Riskienkivakuutuksen korvausmenon mallintamisesta ja riskinsiirrosta

Stochastic interest rate modelling with derivatives hedging

The Pollaczec-Khinchine formula with a recursive approach to estimating ruin probabilities

Matemaattinen biologia

Altruism in lattice models

Inversioteoria, sovellettu analyysi

Numerical study of the scattering terms in electrical impedance tomography

Universal differential equations applied in chemical process modelling

Muita aiheita: sovellettu geometria, optimointi, kryptologia

Approximating surfaces of revolution with the Miura-ori origami pattern

BFGS-menetelmä

RSA-algoritmi ja sen haavoittuvuuksia matemaattisesti

Tilastotiede (yhteensä 9)

Tilastotiede on Helsingin yliopistossa oppiaineena myös valtiotieteellisessä tiedekunnassa. Tilastotieteen metodologiset kysymykset ovat tieteenalasta riippumatta tärkeitä ymmärtää kaikissa tutkimuksissa, joissa empiristä aineistoista tehdään tilastollisia johtopäätöksiä. Matematiikan ja tilastotieteen osastolla tehdyissä opinäytteissä olettaisiin päähuomion olevan kehittyneessä metodologiassa, vaikkakin kaikissa alla olevissa töissä myös sovelluskohde on mainittu otsikossa, ja olen ne tässä ryhmitellytkin sovelluksen tieteenalan mukaan.

Biologiaan liittyvät työt

Modeling the relationship between spatial distribution of pikeperch larvae and environmental covariates and date

Spatiotemporal model for bird abundance under human influence

Variable selection with missing data in meta-analyses of genetic studies

Lääketieteeseen liittyvät työt

Accounting for uncertainty and variability in single-hit salmonella dose-response

Bayesian hierarchical model for adverse event monitoring during an ongoing clinical trial

Yhteiskuntatieteisiin liittyvät työt

Bootstrap Study of Design Effect in the Finnish Job Vacancy Survey

Spatiotemporal generalized additive model: investigating weather-related road crashes in Southern Finland

The effects of location and year of construction on the floor plan of an apartment

Työvoimatutkimuksen aikasarjojen menneistys



Kuva: pixabay



MALin gradupalkintoesitelmä

Marraskuussa julkistetun MALin gradupalkinnon saaja **Henna-Riikka Putaala** (Oulun yliopisto) esitelmöi tutkimuksesta hotelli Grand Centralissa Helsingissä 3. maaliskuuta. Työn otsikko on *Ilmakehän ionisaation rekonstruktio syväoppimisverkkojen avulla vuosille 1844–2021*.

MALin vuosikokous 2025

MALin vuosikokous 2025 pidettiin Ostrobotnialla Helsingissä 27. toukokuuta.

Vuosikokouksesitelmän piti CSC:n Tiede ja teknologia -yksikön johtaja, dosentti **Pekka Manninen** otsikolla *Supertietokoneet, tekoäly ja sen sellaiset*.

Vuosikokouksessa valittiin MALin puheenjohtaja, 8 varsinaista hallituksen jäsentä ja 7 varajäsentä. Hallituksen jäsenten toimikausi on kaksi vuotta, varajäsenten yksi vuosi, ja nimen perässä oleva vuosiluku ilmoittaa, miten pitkälle kunkin kausi ulottuu.

Esko Juuso

puheenjohtaja (-2026)

TEKin Teknologia- ja innovaatiopoliittisen valiokunnan jäsen

TEKin valtuuston varajäsen

Hallituksen varsinaiset jäsenet

Lauri Laitinen (-2027)

1. varapuheenjohtaja

Lars Gröndahl (-2027)

2. varapuheenjohtaja

TEKin Yrittäjyysvaliokunnan jäsen

Jyri Jämsä (-2026)

taloudenhoitaja

TEKin Kunnan valiokunnan jäsen

Juulia Kärki (-2026)

opiskelijaedustaja

Maija Lakio-Haapio (-2026)

TEKin Uravaluokunnan jäsen

Raimo Lohikoski (-2027)

Ilkka Norros (-2026)

tiedottaja

Taneli Prittinen (-2027)

TEKin Yksityissektorin valiokunnan jäsen

Hallituksen varajäsenet

Timo Bräysy (-2026)

Katri Halkka (-2026)

Merja Korpela (-2026)

Lasse Paajanen (-2026)

Miia Pynnönen (-2026)

opiskelijaedustaja

Matti Ropponen (-2026)

TEKin koulutuspoliittisen valiokunnan jäsen

Petri Sipilä (-2026)

hallituksen varajäsen

Ufojuttuja

Vuonna 1989 Las Vegasissa toimivan paikallisen televisiokanavan KLAS-TV:n toimittaja **George Knapp** kuuli uskomattoman jutun. Hänen haastateltavanaan oli USA:n hallituksessa työskenteleväksi fyysikoksi esittänyt **Bob Lazar**, joka kertoi, että on työskennellyt kuuluisassa Area 51:ssä. Työnkuvaan oli kuulemma kuulunut avaruudesta tulneiden alusten tutkimista.

Jos ufoalukset eivät vielä olleet tarpeeksi hätkähdyttävä tieto, Lazar kertoi, että tutkimusryhmä oli löytänyt syyn sille miksi nämä lentävät lautaset kykenivät tekemään nopeita liikkeitä, jotka vaikuttavat uhmaavan fysiikan lakeja. Tämä syy oli kuulemma alkuaine järjestysluvultaan 115, joka kykeni hylkimään painovoimaa, ja antamaan täten alukselle mahdollisuuden liikkua kovin ulkoavaruudesta tulleen oloisesti.

Lazar mainitsi, että aine oli radioaktiivista, mutta sen puoliintumisaika oli vajaa 2 vuotta, joten hänen mukaansa USA:n hallitus oli onnistunut saamaan sitä varastoon noin 500 paunan verran. Ainetta ei oltu onnistuttu syntetisoimaan maassa kertaakaan vielä vuoden 1989 mennessä.

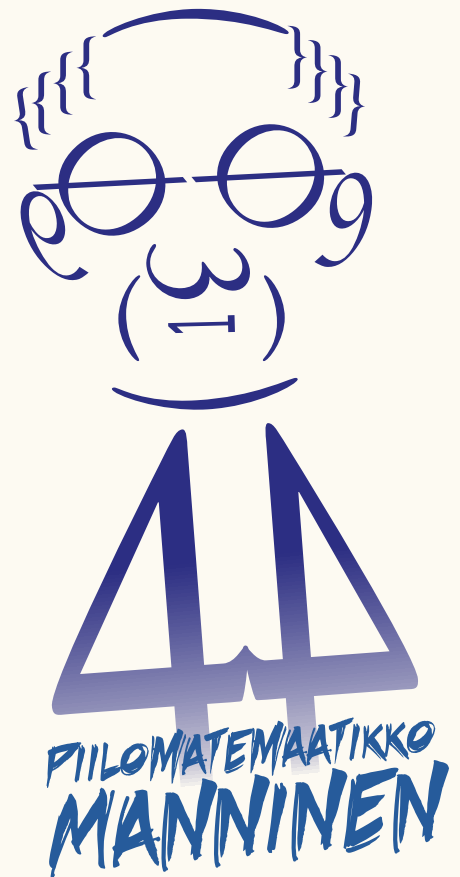
Hypätään tässä välissä hetkeksi vuoteen 2003, Dubna-nimiseen kaupunkiin Venäjällä. Siellä venäläiset ja amerikkalaiset tutkijat onnistuivat ensimmäisen kerran yhteisprojektissaan syntetisoimaan alkuaineen numero 115. Sen puoliintumisaika ei tosin ollut 2 vuotta, vaan joitain kymmeniä millisekunteja. Eikä maagisista antigravitaatio-ominaisuuksista ollut tietoaakaan. Kaiken lisäksi aine sai nykyisessä maailmantilanteessa kenties epäonnekkaan nimen Moscovium.

Mutta, meillä on fysiikassa teoria nimeltä stabiiliisuuden saari. Tämän teorian mukaan on olemassa kasa uraania raskaampia transuraani-isotooppeja, joilla on maagiset luvut protoneita ja neutroneita, jolloin niiden puoliintumisaika voisi olla vuosia mikrosekuntien sijaan. Ja kaiken lisäksi alkuaine 115 vaikuttaisi asettuvan ihanteellisimpaan paikkaan tässä mallissa pitkäikäisyyden kannalta.

Entä se antigravitaatio sitten? Ufotutkijoiden piireissä foliot rapisivat, kun **Petar K. Anastasovski** julkaisi vuonna 2004 paperinsa The Superheavy Elements and Anti-Gravity, jossa käsiteltiin transuraanien mahdollisia antigravitaatio-ominaisuuksia. Ja tietysti alkuaine numero 115 oli siellä joukossa.

Paljastiko Lazar 1989 hallituksen salaisuuksia? Vai oliko hän onnekas veikkaaja? Mikään vuonna 2025 ei ainakaan vielä anna indikaatiota, että maan päältä löytyisi mahdollisesti stabiilia alkuainetta numero 115. Ja ”hallitukselle työskentelevä fyysikko” Lazar paljastui itseoppineeksi, todistettavasti ainoa tiedekurssi minkä hän yliopistolla koskaan suoritti, oli kemian alkeiskurssi. Hänen rikosrekisterinsä (1990 prostituutioringin avustaminen, 2003 luvaton kemikaalien kuljettaminen, 2007 laittomiin ilotulitteisiin käytettyjen kemikaalien myyminen) ei sekään kieltämättä herätä suurta luottamusta.

Mutta, kenties kylähullu Las Vegasissa oli puoli-vahingossa jonkin jäljillä... •



{ MEDIAKORTTI }

MAL-lehden julkaisija:

Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset ry

Puheenjohtaja:

Esko Juuso puheenjohtaja@mal-liitto.fi

Toimituskunta:

Suvi Lahdenmäki, päätoimittaja

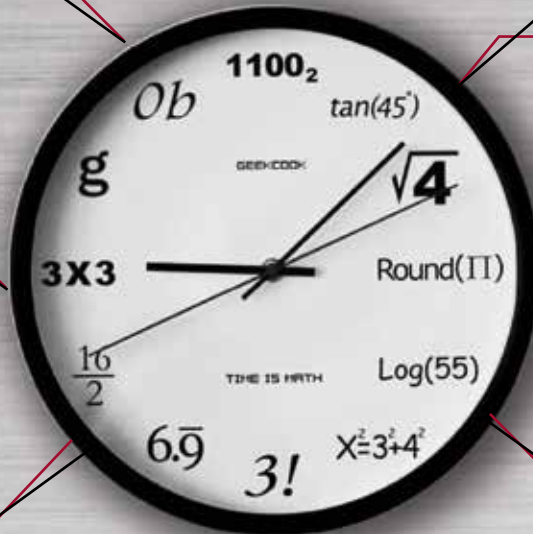
suvi.lahdenmaki@gmail.com

Ilkka Norros tiedottaja@mal-liitto.fi

Taneli Prittinen

Niklas Hietala

Juulia Kärki



Painettu lehti ilmestyy helmikuussa

Sähköinen lehti: kesäkuu ja lokakuu

Julkaisija varaa itselleen oikeuden ilmestymisaikojen muutoksiin.

Lehden kaikki numerot ovat luettavissa **pdf-muodossa**

sivulta <https://www.mal-liitto.fi/julkaisut/mal-lehti>

sekä hakutoiminnoilla varustetussa **blogimuodossa**

sivulta <https://mal-lehti.fi>.

**Seuraavan lehden aineistopäivä:
17.10.2025**

Formaatti: 220x280 mm

Taitto: Sivupainajainen Kirsi Pääskyvuori

Paino: Copy-Set Oy, Helsinki

Painosmäärä: 2120

{MAL}

Ratavartijankatu 2, 00520 Helsinki

puh. (09) 229 121

www.mal-liitto.fi

toimisto@mal-liitto.fi