

MAT

LEHTI 1-2026

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLISTEN ALOJEN AKATEEMISET

00
20
00



Tšernobyľ 26.04.1986

Tekoäly ja ihmisen osaaminen



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} 1-2026

Tšernobyl 26.04.1986	4
Tšernobylin jälkipyykki	8
Tšernobyl vuonna 2026	10
SKALA – Tšernobylin aivot	11
Kattava materiaalitieteen oppikirja – suomeksi!	12
TEKin Pilkku-kerho – yhä rakkaudesta suomen kieleen ja tekniikkaan	14
Epävakaa alkuaine, epävakaa tiede: alabamiini ja patologinen tiede	16
ATK-YTP -yhteistoimintaa	18
Tekoäly ja ihmisen osaaminen	20
Standardoinnista ja voivatko standardit parantaa johtamista	22
Kaunis mieli	24
Vitsit vähissä – mennäänkö matkimella?	27

Kannen kuva: Pixabay



PUHEENJOHTAJA



Tekoälyn toimiva soveltaminen vaatii asiantuntemusta

Tekoäly on rakentunut pitkän ajan kuluessa. Jo 50-luvulta lähtien pohjana on ollut malli aivojen rakenteesta, jossa laskenta tapahtuu toisiinsa kytketyissä kerroksissa. Vuosituhannen vaihteesta lähtien painopiste on ollut koneoppimisessa, jonka perusajatuksena on oppiminen ilman kiinteitä ohjeita ja datassa olevien hahmojen tunnistaminen. Generatiivinen tekoäly on viime aikoina herättänyt innostusta ja suuria lupauksia. Kielimallien kehityksen myötä onkin saatu aikaisempien ratkaisujen ja kehitysideoiden etsimiseen ja selvittelyyn työkaluja, joiden kanssa käytää monipuolisesti varioituja kysymyksiä. Samalla on noussut esille kieliin sisältyvä ajattelumallin merkitys. Suomen kielikin sisältää oman ajattelumallin ratkaisujen kehittämiseen ja toimivuuden arviointiin. Pettymykset ja odotusten hiipuminen liittyvät odotusten yliarviointiin.

Käyttökelpoisten data- ja tekstiaineistojen laajentuminen on tuonut lisää mahdollisuuksia, mutta samalla näiden aineistojen laatuvaatimukset ovat korostuneet. Soveltamisen kannalta tasapainoinen aineisto asettaa rajat ratkaisun käyttöalueelle. Tähän tarvitaan kohteen asiantuntemusta ja kokonaisuuksien ymmärtämistä. Tekoäly ei korvaa asiantuntemusta - tekoäly tulee käyttää asiantuntevasti.

Tekoäly tarvitsee asiantuntemusta kaikissa vaiheissa. Kohteen toiminnasta tulee olla käsitys, jotta osataan valita tasapainoinen aineisto. Generatiivinen tekoälyn vuorovaikutteisuus voi auttaa tässä vaiheessa. Mallinnuksen yleiset ratkaisut ovat muissa osissa keskeisiä. Oppimismallin tulee soveltua käyttökohteen tavoitteisiin. Opetuksen pysäyttämiseksi ja monimutkaisuuden rajaamiseksi tarvitaan validointia. Lopulta käyttökelpoiselta ratkaisulta vaaditaan toimivuus riippumattoman testimateriaalien tapauksessa. Koneoppimiseen on kehitetty monimutkaisuuden sakottamiseen ja keskeytystilanteen tunnistamiseen menetelmiä. Syväoppimisessa luottamus näiden lisäominaisuuksiin on valitettavasti vähentänyt kunnollisen validoinnin ja testauksen käyttöä. Ymmärrettävyys nousee keskeiseksi vaatimukseksi, kun tekoälyä liitetään päätöksentekoon.

Tekoäly kuuluu matemaattis-luonnontieteelliseen kokonaisuuteen, jossa matematiikka on yhteinen kieli ja tekniikan sovelluksia rakennetaan tietojenkäsittelyn menetelmillä. Sovellusten puolella tämä kokonaisuus ei rajaudu luonnontieteisiin. Digitaalisuuden kautta matematiikka yhdistää toiminta-alueita.

Asiantuntemus rakentuu vaihteittain oppimisen ja kokemuksen kautta. Uusiutumiseen vaaditaan koulutuksen ja tutkimuksen tarjoamia mahdollisuuksia tuoda yhteen kohteiden toiminnan, datan ja menetelmien opetusta koko opiskelun ajalle. Lisäpohjaa tuovat harjoittelumahdollisuudet sovelluskohteissa jo varhaisissa vaiheissa. •

• Esko Juuso

PÄÄTOIMITTAJA



Talven kuultavansininen ihme

Arvoitus: "Mikä on talvella silta, kesällä ei mikään?"

Vastaus: Jää.

Jäällä on tänä talvena päässyt kävelemään usein. Helsingissäkin jäätä on ollut harvinaisen laajalti. Myös luisteluretkiä kaukaisillekin majakoille on pitkästä aikaa ollut mahdollista tehdä. On kuitenkin muistutettu, että koska vesi on matalalla, jäättilanne voi muuttua nopeastikin. Tavallisen sunnuntaikävelijän on aika mahdotonta tietää, kuinka kantavaa jäätä todella on. Varovainen saa siis olla ja muistaa varustautua jäällä liikkumiseen oikein, vähintään naskalit kaulalla.

Mutta silloin kun jäälle uskaltaa, niin onhan se suorastaan taianomaista! Samaa paikkaan, jossa kesällä lainehtii sininen merivesi, pääsee nyt kävelemään. Kaikkialla on valkoista, kimaltavaa jäätä ja lunta. Jääkannen värit vaihtelevat kirkkaasta vaaleansiniseen ja jään tuottamat äänet ovat ihmeellisiä. Ei ihme, että lämpimämmistä maista tulevat turistit ovat haltioissaan, kun näin suomalaisenakin huokailee ihastuksesta.

Jäällä on omat lainalaisuutensa. Sitä on myös monen tyyppistä. Ja koska suomen kieli on rikasta, ja talveen liittyvää sanastoa on paljon, meillä on monta eri nimitystä jäättyypeille. On kiintojää (rantaan tai pohjaan kiinnittynyt jää), ahojää (jäähmassojen puristuksessa syntynyt, kasautunut jää), riite (ohut, vastamuodostunut jää) ja hydde (koostuu pienistä jääkiteistä, joita syntyy virtaavan jokijakson alijäähtyneeseen veteen). Harvemmin olen kuullut sen sijaan kohvajäästä, jota syntyy, kun lumi painaa järven jääkantaa niin, että jään päälle nousee vettä ja tämä lumisohjo jäättyy. Kohvajään kantavuus on vain puolet teräsjään kantavuudesta.

Jäätä pystyy tekemään myös synteettisesti polyeteenimuovista. Tässä lehdessä esitellään **Samu Franssilan** mielenkiintoinen kirja, jossa perehdytään erilaisiin materiaaleihin. Onnenmaa-elokuvasta on mieleen jäänyt kohta, jossa ovelta ovelle kiertävä myyjä esittelee erittäin kestävästä kulhoa hyppimällä sen päällä. Kulho on valmistettu uudesta mullistavasta aineesta. "Tämä on plastiikkia!", kuuluu kiertävän kaupustelijan repliikki. Omalle sukupolvelle muovi on ollut olemassa aina, mutta todellakin, sekin on joskus ollut uutta.

Saamme lukea myös erittäin kiintoisia ja tärkeitä havaintoja siitä, miten tekoälyn käyttö vaikuttaa oppimistuloksiin. Kirjoituksissa palataan lisäksi mm. tietojenkäsittelytieteiden opiskelijoiden verkostoitumistapahtumaan Tampereelle ja kuullaan Pilkkukerhon toiminnasta.

Tsernobylin ydinvoimalaonnettomuudesta tulee tänä keväänä 40 vuotta. Muis-tan sen myös itse hyvin. Laskeuman vuoksi oli hiekkalaatikolla leikkiminen yhtäkkiä kielletty, eikä marjoja saanut poimia. **Taneli Prittisen** artikkeli kertoo tuosta kohtalokkaasta tapahtumasta.

• Suvi Lahdenmäki

Tšernobyli 26.04.1986

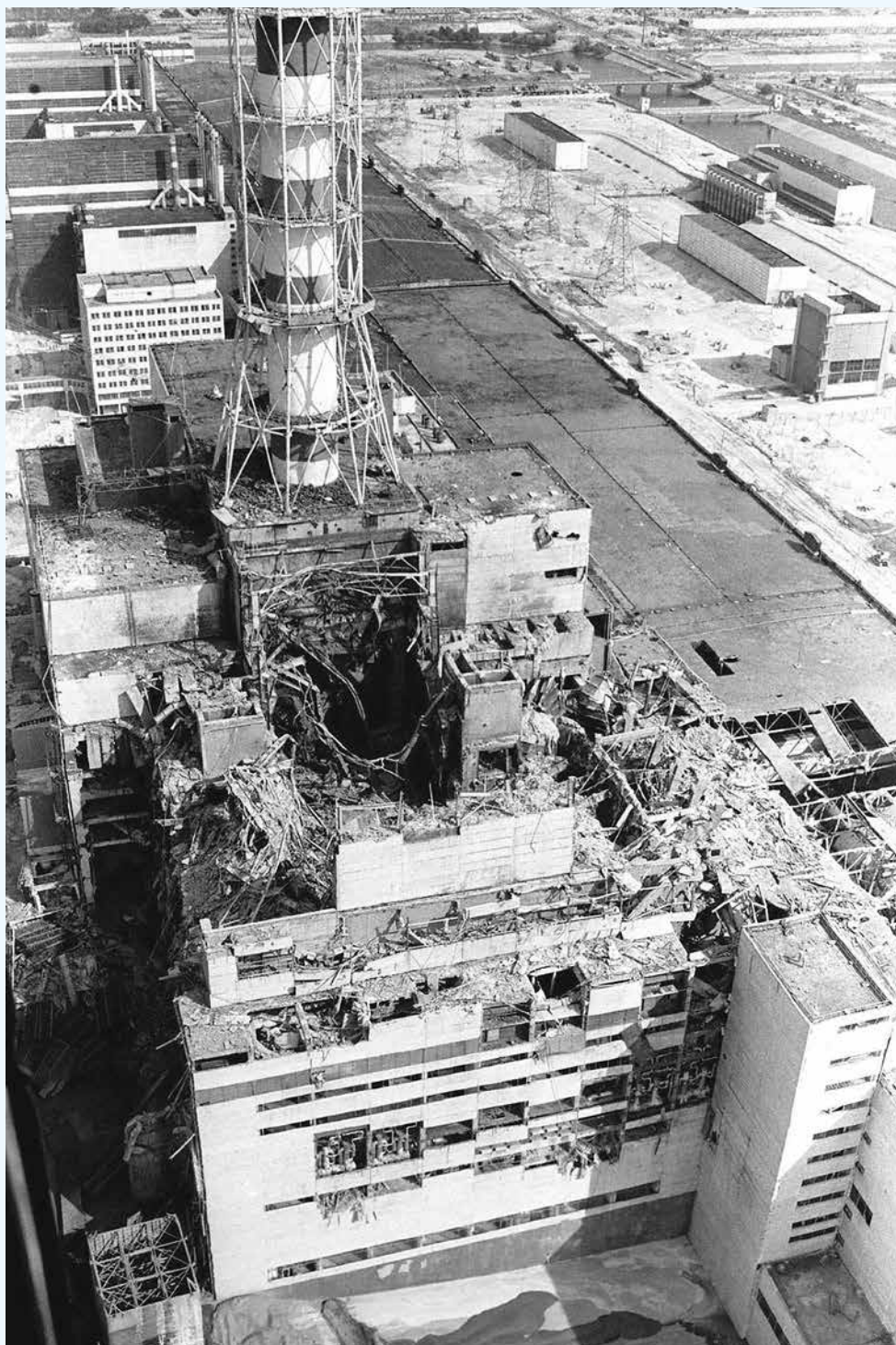
25. ja 26. päivän välinen yö huhtikuussa 1986 Tšernobylin nelosreaktorin valvomossa oli kiireinen. Työvuoro vaihtui puolenyön aikaan päivävuorosta yövuoroon, joka sai heti hoitaakseen kaksi erikoiskoetta. Reaktori oli tarkoitus sammuttaa tulevana yönä pidempää huoltotaukoa varten, joten erikoiskokeet oli ajoitettu samaan yhteyteen. Yöstä tuli kohtalokas.

Ensimmäinen erikoiskoe on kuuluisin. Sen aikana oli tarkoitus tutkia miten voimala selviytyisi pahimmasta suunnitellusta onnettomuustyyppistä, eli päähöyrylinjan tuhoutumisesta ja samanaikaisesta sähköverkosta irtaamisesta. Tätä koetta varten oli tarkoitus testata, pystyisivätkö voimalan turbiinit pyörimään tarpeeksi pitkään omalla inertiallaan ilman höyryä, jotta reaktoria jäähdyttävillä pumpuille voitaisiin syöttää tarpeeksi virtaa, kunnes voimalan varavoimageneraattorit alkasivat tuottamaan sähköä n. minuutin kuluttua.

Toinen erikoiskoe liittyi turbiinien tärinän mittaukseen. Nelosreaktorin kaksi turbiinia käyttivät uudenlaista designiä verrattuna yksiköihin 1–3. Tämän tarkoituksena oli vähentää rakentamiseen tarvittavan titaania määrää, ja siten laskea turbiinien valmistuskustannuksia. Tällä uudella turbiinityypillä kuitenkin ilmeni tärinäongelmia, ja nyt huoltokatkoa edeltävänä yönä tarjoutui mahdollisuus mitata niiden tärinäprofiili samalla kun niiden höyrynsyöttö katkaistaan ja ne alkavat pyöriä "tyhjää".

Näiden kahden erikoiskokeen vaatimukset olivat valitettavasti keskenään ristiriidassa, sillä turbiinien tyhjäkäyntikoe oli suunniteltu tehtäväksi n. 700 MW lämpöteholla, josta reaktori sammutetaan, kun taas värähtelytestit edellyttivät turbiinien ohittamista ja höyryn syöttämistä suoraan takaisin reaktoriin, mihin 700 MW olisi ollut liian suuri teho olemassa olevien määräysten mukaan.

Vuoropäälikkö **Anatoly Dyatlov** sai kuitenkin käskyn suorittaa molemmat testit, sillä voimalassa oli paikalla ulkopuolisen instituutin tutkijoita suorittamassa värähtelymittauksia. Voimalaan oli tuotu tutkimusryhmän Länsi-Saksasta tilattu Mercedes Benz -kuorma-auto. Sen sisään oli rakennettu liikkuva värähtelylaboratorio, joka oli varustettu kehityksen huippua edustavilla läntisen maailman mittalaitteilla.



Tuhoutunut reaktori n. kuukausi onnettomuuden jälkeen.

Lisenssi: <https://commons.wikimedia.org>



Tšernobylin ydinvoimalaitos juuri ennen uuden suojarakennuksen asentamista. Reaktorit vasemmalta oikealle 4, 3, 2 ja 1. Keskellä näkyvä pitkä rakennus on kaikkien reaktorien yhteinen turbiinihalli, joka on n. 1km pitkä yhtenäinen rakennus. Lisenssi: <https://commons.wikimedia.org>

Niinpä Neuvostoliitolla oli tässä kokeessa runsaasti rahaa kiinni, eikä siitä kieltäytyminen ollut vaihtoehto. Dyatlovlin piti siis keksiä lennosta suunnitelma, jolla molemmat kokeet onnistuisivat.

Ongelmat alkavat

Erikoiskokeita kohtasi ensimmäinen ongelma jo edellisenä päivänä. Kun voimalan teho oli saatu pudotettua täydestä 3200 MW:n lämpötehosta puoleen, sähköverkkoa operoivilta viranomaisilta tuli ilmoitus että josain muualla yhteen voimalaan oli tullut vika ja se oli pudotettu verkosta, joten tehoa ei saanut laskea enää enempää ettei verkosta lopu sähkö. Edellinen vuoro ei saanut minkäänlaista tietoa siitä kuinka kauan tämä katkos kestäisi, ja jatkoi voimalan käyttämistä 1600 MW:n teholla tuntikausia.

Erikoiskoe 1 edellytti voimalan hätäjähdytysjärjestelmän (ECCS) eristämistä, sillä koe olisi voinut laukaista tämän järjestelmän joka olisi puhaltanut yhtäkkiä kylmää vettä paineella kuumaan reaktoriin, ja aiheuttanut mahdollisesti vaurioita. Harmi kyllä ECCS ei ollut järjestelmä jonka saisi eristettyä nappia painamalla, vaan se vaati venttiilien kääntelyä käsin useamman henkilön voimin n. 2 tunnin ajan. ECCS oli jo ehditty eristää kun ilmoitus hajonneesta voimalasta tuli, mutta koska viivästyksen pituus oli tuntematon, ei päivällä vuorossa ollut vuoropäällikkö **Yuri Tregub** halunnut laittaa miehiään kääntelemään venttiileitä, jos kesken urakan tulisikin puhelu, että tehonalennus voisi jatkua ja kokeen suorittaminen voisi alkaa.

Möhemmissä IAEA:n tutkimuksissa selvisi, että voimalan käyttäminen tuntikausia ilman ECCS:ää oli ainoa turvamääräys, jota voimalan henkilökunta missään vaiheessa koetta rikkoi. Tosin IAEA totesi INSAG 7 -raportissaan onnettomuudesta, että onnettomuuteen tämän järjestelmän toimimattomuus ei vaikuttanut mitenkään (se ei edes lauennut räjähdysketjellä, ja jär-

jestelmä tuhoutui ensimmäisenä), mutta tämä oli osoitus huonosta turvallisuuskulttuurista Neuvostoliitossa.

Viimein klo. 23 puhelu tuli, ja teho voitiin alentaa 700 MW:iin. Puoliltaöin töihin tullee vuoropäälliköllä Dyatlovilla oli kuitenkin nyt ongelma käsissään, sillä tuo teho oli liian suuri turbiinin tärinämittauksiin. Dyatlov halusi alentaa tehoa 200 MW:iin, koska molempien testien pitäisi onnistua tuolla tehoalueella kun toisesta turbiinista mitataan tärinää ja toisesta sen tuottamaa tehoa. Tässä kohtaa HBO:n Chernobyl-sarjaan oli valitettavasti päässyt mukaan Neuvostoliiton Wienissä IAEA:lle esittämää propagandaa siitä, kuinka RBMK-reaktoria ei määräysten mukaan saisi käyttää alle 700 MW:n teholla. Tämä 700 MW:n tehorajoitus kuitenkin annettiin vasta onnettomuuden jälkeen, lähinnä jotta Dyatlovia voitiin syyttää siitä.

Kohtalokkaat suunnitteluvirheet

RBMK-reaktori on pienillä tehoilla epävakaa sen rakenteen takia. Suurilla tehoilla höyryä syntyy suuria määriä, syntynyt höyry menee höyrynerottimien jälkeen turbiineille, ja sen jälkeen se jäähdytetään takaisin vedeksi ja syötetään jäähdytyneenä uudelleen reaktoriin. Pienillä tehoilla taas jäähdytys voi olla lähes nollassa kun höyryä ei synny paljoa ja tämä johtaa siihen että reaktorissa kiertää vain kuuma vesi reaktorin ja höyrynerottimien väliä. Tällöin vesi hieman epäintuitiivisesti voi virrata sisään reaktoriin kuumempana kuin suurilla tehoilla, mikä voi johtaa siihen että se saavuttaa kiehumispisteen heti reaktoriin tullessaan ja muuttuu välittömästi höyryksi.

Toinen suunnitteluvirhe reaktorissa oli mahdollisuus positiiviseen aukkovakioon. Aukkovakio kuvaa reaktorin käytöstä tilanteesta jossa vesi muuttuu nesteestä höyryksi. Länsimaisissa reaktoreissa aukkovakio on aina negatiivinen, eli jos vesi kiehahtaa kuivaksi reaktorissa, reaktori sammuu, sillä vettä käytetään myös ydinreaktion moderaattorina. RBMK-reaktorissa päinvastoin

teho nousee veden kiehahtaessa, sillä veden sijaan reaktorin moderaattorina toimii grafiitti, joten reaktori on alitis tehopiikeille pienillä tehoilla käytettäessä.

Reaktoria suunniteltaessa tässä ei nähty ongelmaa, sillä kun polttoaine kuumenee reaktorissa, laskee se tehoa, ja 1960-luvun tietokonemallinnusten perusteella nämä ilmiöt tasapainottavat toisensa. Käytännön ”erikoiskoe” osoitti muuta... Tämä ilmiö oli huonosti ymmärretty, sillä kun reaktori on ladattu tuoreella polttoaineella, osa polttoainepuista on korvattu neutroniabsorbaattoreilla, joita poistetaan pikkuhiljaa reaktorista polttoaineen kuluessa, ja korvataan polttoaineella. Niinpä reaktorin aukkovakio muuttuu ajan myötä negatiivisesta koko ajan positiivisempaan suuntaan, ollessaan pahimmillaan aivan polttoainesyklin lopussa ennen sen vaihtamista tuoreeseen. Valitettavasti Tšernobylin nelosreaktori oli juuri polttoainesyklin lopussa tämän efektin ollessa suurimmillaan.

Kolmas ongelma erikoiskokeessa oli nk. ksenonkuoppa. Reaktorissa muodostuu radioaktiivisten hajoamisten seurauksena Xe-135 -kaasua, joka täydellä teholla ajettaessa häviää sitä mukaa kun sitä muodostuu, mutta tässä tapauksessa reaktoria oltiin ensin ajettu puolella teholla, ja sen jälkeen alennettu vielä lisää 700 MW:iin. Xe-135 on voimakkain tunnettu neutroniabsorboija, joka pyrkii siis pysäyttämään ketjureaktiota reaktorissa. Tämä aine muodostuu I-135:n hajoamisessa (puoliintumisaika 6,58 h), joten sitä oli alkanut kertyä reaktoriin päivän mittaan, mikä johti siihen että reaktorista piti vetää enemmän säätösauvoja ulos efektiä kompensoimaan.

Tämän ansiosta reaktorin ORM-arvo alkoi putoamaan. Kun pienin sallittu ORM oli 15, onnettomuuden jälkeiset laskut osoittivat että ORM oli alhaisimmillaan 8 klo. 01:22 aikaan. Vuonna 1986 reaktorin ORM-arvo laskettiin voimalan keskustietokoneella parin tunnin välein, eikä valvomon henkilökunnalla ollut mitään

suunnitteluvirhe säätösauvoissa, mikä johti siihen että ne kiihdyttivät reaktorin tehoa ensimmäiset sekunnit hätäpysäytystä painettaessa. Tämä oli lopulta liikaa, ja kaikki reaktorin vesi kiehahti höyryksi jolloin teho alkoi positiivisen aukkovakion ansiosta raketoimaan, kunnes paine reaktorin sisällä kasvoi niin suureksi, että se räjähti. Räjähdyksen voimasta kertoo jotain se, että reaktorin 200 tonnia painava yläpuolinen biologinen suoja lensi noin 10 metrin korkeuteen ilmaan, ja putosi takaisin poikittain reaktorin sisälle, missä se on vielä tänäkin päivänä.

Turvallisuutta parannettu

Säätösauvat olivat tässä tapauksessa viimeinen nauha arkuun. RBMK-reaktoreissa ne oli rakennettu siten että puolet sauvasta oli reaktiota kiihdyttävää grafiittia ja puolet reaktiota vaimentavaa booria. Harmi kyllä toisen sukupolven reaktoridesignissä (jota Tšernobyliissa edustivat reaktorit 3&4) grafiittiosaa oli lyhennetty, jotta reaktorin alle saatiin rakennettua iso vesiallas, johon reaktoritilan ylipainetilanteessa voidaan syöttää hallitusti höyryä jäähdytämään, ja laskea reaktoritilan painetta. Tämä järjestelmä oli kuitenkin suunniteltu vain maksimis- saan kahden polttoainekanavan yhtäaikaista hajoamista varten, joten se ei kyennyt millään ottamaan vastaan energiaa, joka reaktorista turmayönä purkautui. Tämän järjestelmän kaikki merkkivalot palamassa säikäyttivät syystäkin turbiinoperaattorit.

Lyhennettyjen sauvojen vaarallisuus uudemmissa reaktoreissa tällä turvajärjestelmällä oli käynyt ilmi jo aikaisemmin vuonna 1982, kun Ignalinan ydinvoimalan ykkösreaktoria käynnistettiin, ja heti ensimmäisellä käynnistyksellä havaittiin tehopiikki hätäpysäytystä käytettäessä. Ironisesti tuolloin paikalla Ignalinan valvomossa oli myös ydintekniikan opiskelija Leonid Toptunov, joka siis tiesi tästä ilmiöstä, muttei tajunnut itse luovansa sitä turmayönä. Vielä suurempi ironia liittyy siihen, että koska ilmiö oli tunnettu, sille oli kehitetty myös korjaus, jossa reaktorin muutamien pohjasta syötettävät lyhyet säätösauvat liikkuvat ensin ylös ja muut sen jälkeen alas, jotta estetään grafiitin aiheuttama reaktiivisuuspiikki reaktorin pohjalla. Pohjasta syötettävät säätösauvat eivät kuuluneet alun perin turvajärjestelmään, joten ne eivät liikkuneet sitä painettaessa, mutta turmareaktorissa muutostyö oli tarkoitus tehdä reaktorin huoltotauolla seuraavalla viikolla.

Turman jälkeen reaktoreihin tehtiin isompia muutoksia. Niissä olevan uraanin rikastusastetta nostettiin, säätösauvojen määrää lisättiin ja niissä oleva grafiitti on nyt teleskooppinen, jotta se täyttää koko kanavan reaktorissa mutta mahtuu silti ulos reaktorista, valvomossa on näyttö ORM:lle ja lukuisia pienempiä turvallisuusparannuksia. Muut Tšernobylin reaktorit pysyivätkin muutoksilla käytössä vielä vuosia onnettomuuden jälkeen, ykkösreaktori suljettiin 1996, kakkosreaktori 1990 ja kolmosreaktori 2000. Itse asiassa RBMK-reaktoreja on vieläkin käytössä 7 kappaletta, 2 niistä Kurskissa, 3 Smolenskissa ja 2 aivan meidän naapurissamme Leningradissa, Suomenlahden rannalla. •

Säteilyn yksiköistä

Röntgen kuvaa kuinka paljon säteily aiheuttaa ionisaatiota ilmassa. Vanhahtava yksikkö, oli käytössä yleisesti Neuvostoliitossa 1980-luvulla

Sievert kuvaa ionisoivan säteilyn biologista vaikutavuutta ihmiskehossa. SI-järjestelmän mukainen yksikkö (J/kg)

Koska nämä yksiköt kuvaavat eri asiaa, niitä ei voi suoraan konvertoida keskenään. Kuitenkin gammasäteilyllä voidaan antaa karkea muunnos on $1 \text{ R} = 10 \text{ mSv}$

Suomessa väestölle on määrätty yleiseksi annosrajaksi 1 mSv vuodessa, ja säteilyöntekijöille 20 mSv vuodessa. Säteilyn haitallisuutta arvioidaan suunnilleen siten, että 1 Sv annos nostaa yksilön elinikäistä syöpärisiä 4%. Täten esimerkiksi 100 mSv annos nostaisi riskiä 0,4%, ja jos yksilön laskennallinen riski sairastua syöpään muista risikeijöistä johtuen on esim. 30%, olisi se tämän jälkeen 30,4%

Säteilyn LD50-arvo, jolla puolet annoksen saaneista menehtyy on n. 3 Sv lyhyellä aikavälillä. LD100-arvo, johon kaikki säteilyn saaneet menehtyvät hoidosta riippumatta on n. 6-10 Sv lyhyellä aikavälillä. Suurin tunnettu elinikäinen säteilyannos oli amerikkalaisella **Albert Stevensillä**, jonka verenkiertoon injektointiin salaa plutoniumia Manhattan-projektin yhteydessä. Stevens ei menehtynyt (tai saanut havaittavia terveysvaikutuksia), vaikka hänen elinikäinen annoksensa olikin 64 Sv, vaan hän menehtyi sydänsairauteen 79-vuotiaana. Tässä tapauksessa säteilyannosta ei saatu kerralla vaan pikkuhiljaa vuosikymmenien saatossa, joten elimistön omat korjausmekanismit pystyivät kompensoimaan sen vaikutuksia.

Sanastoa

AZ-5 RBMK-reaktorin SCRAM-painike

ECCS Emergency Core Cooling System, hätäjäähdytysjärjestelmä

ORM Operatiivinen Reaktiivisuus Marginaali, kuvaa kuinka monen säätösauvan verran negatiivista reaktiivisuutta on saatavilla reaktorissa. Korkea arvo, paljon sauvoja reaktorissa ja reaktori on helposti kontrolloitava. Matala arvo, vähän sauvoja reaktorissa, reaktori on epävakampi

SCRAM Safety Control Rod Axe Man, reaktorin hätäpysäytyspainike. Termi juontaa juurensa maailman ensimmäiseen ydinreaktoriin Chicago Pile-1:een, jossa säätösauvat pudotettiin reaktoriin katkaisemalla kirveellä niitä ylhäällä pitävä köysi

SKALA voimalan keskustietokone

Säätösauva neutroneja absorboivasta materiaalista tehty sauva, jota voi liikutella reaktorissa ja säätää tehoa sen avulla

Onnettomuuden aikajana

25.04.1986 01:00 Reaktori käy normaalilla 3200MW lämpöteholtaan, tehon alennus erikoiskoetta varten alkaa

25.04.1986 13:00 12 tunnissa teho on laskettu 1600MW:iin. ECCS kytketään pois päältä

25.04.1986 14:00 Teho oli tarkoitus pudottaa 700MW:iin erikoiskoetta varten, mutta sähköverkkoviranomaiset kieltävät tehonlaskun koska toisessa voimalassa on vika ja se on pudonnut verkosta

25.04.1986 23:00 Verkkoviranomainen antaa luvan jatkaa reaktorin tehonlaskua

26.04.1986 00:00 Ohjaushuoneen henkilökunnan päivävuoro vaihtuu Dyatlovin johtamaan yövuoroon

26.04.1986 00:28 Toptunov vaihtaa reaktorin automaattiohjauksen globaalilta lokaalille. Ohjaustietokoneessa on bugi, jonka takia reaktorin asetettu tehoarvo ei siirry järjestelmästä toiseen vaan putoaa alas 30MW:iin. Toptunov alkaa Akimovin kehotuksesta nostamaan säätösauvoja manuaalisesti nostaakseen tehoa

26.04.1986 01:03 Reaktorin teho on stabiloitunut 200MW:iin, koe päätetään suorittaa tällä tehotasolla

26.04.1986 01:23:04 Erikoiskoe alkaa, turbiineilta katkaistaan höyry ja niiden pyöriminen alkaa hidastua

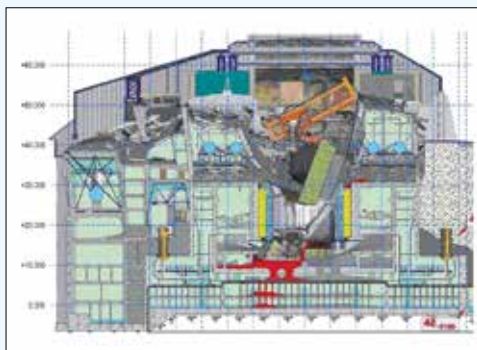
26.04.1986 01:23:40 Koe on ohi, Toptunov painaa AZ-5:sta sulkeakseen reaktorin

26.04.1986 01:23:43 Ohjaushuoneen hälytykset käynnistyvät osoittaen tehon rajua kasvua

26.04.1986 01:23:45 Reaktorin teho ylittää instrumentaation mukaan 34000MW, reaktori tuhoutuu höyryräjähdyksessä

26.04.1986 01:23:48 Reaktorissa muodostunut vety aiheuttaa toisen, vielä isomman räjähdysen

Tšernobylin jälkipyykki



Radioaktiivisen laavan sijainti sargofagin läpileikkauksessa, sekä kolme kuuluisinta muodostelmaa: ylävasemmalla Kasa, yläoikealla Elefantin jalka ja alaoikealla Kiina-syndrooma, joka tulee ulos yhdestä reaktorin 8 paineenalennusventtiilistä

Jälkipyykin selvittäminen alkoi nopeasti turmayönä, ensimmäiset palomiehet olivat paikalla jo 5 minuuttia räjähdysen jälkeen. Mutta tulipalojen sammutus oli vasta alkua yhdelle maailman valtavimmista urakoista, joka jatkuu vielä nykyäänkin. Viimeinen iso urakka oli uuden suojarakennuksen (maailman suurin liikuteltava rakennus, ei vähempää) rakentaminen 2016 reaktorin jäänteiden päälle.

Heti räjähdysen jälkeen tilanne oli kaoottinen, koska tällaista tilannetta ei ollut ennen sattunut missään. Aivan ensimmäisenä hätätoimenä tulossa olevan reaktorin sammuttamiseksi yritettiin lyijyn, hiekan ja boorin pudottamista helikoptereista. Harmi kyllä suurin osa meni ohi, eikä tällä lopulta ollut suurtakaan vaikutusta lopputulemaan. Reaktori sammui lopulta itsestään 10 päivän päässä, mutta sitä ennen se oli ehtinyt päästää massiiviset radioaktiiviset päästöt ympäristöönsä.

Itse asiassa radioaktiivisten päästöjen kanssa koettiin myös tilanteeseen nähden positiivinen yllätys, kun jo kuukauden päästä onnettomuudesta suoritetuissa mittauksissa havaittiin, että reaktori ei juurikaan enää

päästä mitään ilmakehään. Päästöt olivat jopa niin pieniä, että ne olivat alle sallitun päästörajan mitä voimalan piipusta voitaisiin päästää ilmaan normaalikäytössä!

Vähän negatiivisempi yllätys tuli, kun ydintekniikkaan erikoistuneen Kurtšatov-instituutin fyysikko **Konstantin Checherov** ujutti lämpömittarin reaktorin jäänteisiin helikopterista, ja mittari näytti vain 23 astetta. Tämä ei ollut odotettu tulos, sillä reaktorissa onnettomuushetkellä olleen 900 tonnin polttoainemäärän odotettiin vielä suurelta osin olevan reaktorissa. Checherov ryhtyi uhkarohkeaan kartoitusoperaatioon selvittääkseen mihin polttoaine oli reaktorirakennuksessa päätenyt.

Ensimmäinen vinkki tuli palomiehiltä, jotka olivat joutuneet sammuttamaan sähköpaloja pumppuhuoneessa (reaktorirakennuksesta saatiin sähköt pois vasta useamman viikon jälkeen, joten siellä syttyi silloin tällöin sähköpaloja alussa). Pumppuhuoneen lattiassa oli huoltoluukku alempaan kerrokseen. Muutamat palomiehet olivat saaneet sääriinsä beetasäteilyä johtuvia palovammoja luukun ohi kuljettuaan. Yksi epäonninen palomies oli jopa pudonnut pimeässä luukusta alempaan kerrokseen, jossa oli kuulemma kuumaa ja täysin

pimeää. Checherov ujutti dosimetrinsa luukusta sisään, ja ällistyi mitattuun 9000 röntgeniä tunnissa satunnaiselta käytävältä kaukana reaktorista.

Checherovin tiimi alkoi kartoittamaan reaktorin alla olevia kerroksia, mikä oli hyvin hankalaa, sillä ne olivat aluksi niin radioaktiivisia, että niihin meneminen oli mahdotonta. Pian fyysikoille oli selvää, että reaktorin ydin oli sulanut, valunut pois reaktorista ja levinnyt käytäviä pitkin ympäri rakennuksen alimpia kerroksia, jonne se oli jähmettynyt uudelleen. Tämä oli sinänsä lohduttava tieto, sillä alun perin pelkona oli, että ydin sulaisi ja valuisi reaktorirakennuksen perustusten läpi pohjaveteen asti, ja aiheuttaisi mahdollisesti höyryräjähdyksiä levittäen kontaminaatiota. Myöhemmin laavavirrat kartoitettiin kolmeksi isoksi päämuodostumaksi, jotka saivat lempinimet: 1. elefantin jalka, 2. kasa ja 3. Kiina-syndrooma.

Samalla kun fyysikot juoksentelevat mittareineen reaktorin kellareissa, insinööreillä oli suuri haaste rakennuksen katolla. Reaktorin räjähdysessä sinne oli lentänyt tavaraa reaktoriytimestä, ja katto piti saada puhtaaksi, jotta reaktorin päälle voitaisiin rakentaa suojarakennus, ja viereinen kolmosreaktori saada käyntiin ennen talvipakkasia. Kolmos- ja nelosreaktorit jakoivat yhteisen rakennuksen, niillä oli yhteinen ilmanvaihto sekä joitain yhteisiä apujärjestelmiä. Niiden erottaminen toisistaan oli kuin siamilaisten kaksosten irrotus, sillä erotuksella että kaikki ympärillä oli erittäin radioaktiivista.

Katon tyhjennys romusta osoittautui yhdeksi vaativimmista hommista. Sitä yritettiin mm. traktoreilla ja roboteilla, mutta korkeimmin säteilevillä alueilla tekniikka antoi periksi. Niinpä katolle oli pakko lähettää sotilaita lapioiden kanssa. Yhteensä 3 828 sotilasta.

Kun katto oli saatu puhtaaksi, päästiin rakentamaan sarkofagia reaktorin ympärille. Kolmos- ja nelosreaktorit erotettiin toisistaan paksulla betoniseinällä ja nelosreaktorin ympärille rakennettiin betonimuuri pysäyttämään säteilyä. Sarkofagin katto osoittautui suurimmaksi haasteeksi, sillä reaktorin päällä säteily oli sitä luokkaa, että työskentely oli mahdotonta, joten katto toteutettiin nostamalla jättimäiset palkit nosturilla raunioiden päälle (toivoen että ne eivät romahda) ja laittamalla näiden palkkien päälle pitkiä ilmastointiputkia ja niiden päälle peltikaton. Sarkofagi ei koskaan ollut ilmatiivis vaan siinä oli reikiä yhteensä peräti 1 200 neliömetrin verran! Reiät eivät kuitenkaan haitanneet, koska kuten aiemmin mainittua, reaktori lopetti itsensä päästöt ilmakehään.

Sarkofagin sisälle rakennettiin pölynsidonta-järjestelmä, joka suihkuttaa raunioita säännöllisesti hieman vetisen liiman kaltaisella tahmaisella seoksella, joka sitoo radioaktiivisen pölyn paikoilleen. Reaktorin alapuoli tiivistettiin betonilla, ja ulosvalulle vedelle on puhdistusjärjestelmä, joka estää radioaktiivisten aineiden karkaamisen ympäristöön. Sarkofagiin tehtiin myös monia portaita ja siltoja, joilla sulaneen reaktoriytimen jäänteitä pääsee tarkastelemaan nopeasti. Rakennus on myös täynnä säteily- ja neutronivuomittareita.

Reaktorin ympärillä alkoi kuitenkin vielä mahdollisesti isompi urakka. Vieressä ollut mäntymetsä kuoli säteilystä pystyyn ja sai väristään lempinimen Punainen metsä. Kun metsäpalokausi alkoi lähestyä, alkoi tämä alue hermostuttaa viranomaisia, ja suurin osa puista kaadettiin. Tämän jälkeen maahan kaivettiin valtavia ojia joihin puut haudattiin. Pintamaa haudattiin samalla, ja tilalle tuotiin puhdasta maata. Alue on kuitenkin helppo löytää vieläkin seuraamalla säteilymittaria sinne missä lukema kasvaa.

Kaikista isoin urakoista kuitenkin lienee Pripjatin kaupungin evakuointi ja asukkaiden uudelleen asuttaminen. Pripjat oli ennen onnettomuutta 50 000 asukkaan kasvava kaupunki alle 3 kilometrin päässä voimalaitoksesta. Kun asukkaat (suurin osa ydinvoimalan työntekijöitä) evakuoitiin 36 tuntia onnettomuuden jälkeen, osoittautui Neuvostoliiton kokemus väestöjen pakkosiirroissa hyödylliseksi, sillä kaupunki saatiin tyhjäksi alle 2 tunnissa. Neuvostoliitto rakensi pikavauhtia asukkaille täysin uuden kaupungin, Slavutyšin. Tämä kaupunki on itse asiassa uusin neuvostokaupunki, ja mielenkiintoinen historiallinen kuriositeetti Gorbatsovin ajan rakentamisesta jo itsessään.

Pripjat ei tosin ollut ainoa paikkakunta joka joutui onnettomuuden uhriksi. Useita pieniä kyliä piti evakuoida. Kuuluisampana reaktorin lähellä sijainnut Kopachi, jonka asuinrakennukset olivat niin saastuneita että koko kylä puskettiin puskutraktorilla nurin ja haudattiin maan alle.

Joistain urakoista myös päätettiin luopua. Reaktorit 5 & 6 olivat rakenteilla onnettomuuden sattuessa, reaktori 5 niin valmiina että se oli tarkoitus käynnistää lokakuussa 1986. Nämä peitettiin peltilevyillä nopeasti heti onnettomuuden jälkeen etteivät ne kontaminoidu liikaa, mutta luottamus RBMK-reaktoreihin oli niin alhaalla että näiden reaktorien rakentaminen päätettiin lopettaa pysyvästi vuonna 1988. Nykyään ne seisovat vieläkin ne ruostuvat peltilevyt ympärillään muistomerkkinä atomiajasta, jota ei koskaan tapahtunut. •



Punaista metsää, kuvassa näkyvä kumpare ja radioaktiivisuuden varoitusmerkki osoittavat yhtä vallihaudoista, jonne saastunut metsä haudattiin onnettomuuden jälkeen.

Lisenssi: <https://commons.wikimedia.org>



Punaista metsää, taustalla näkyy voimalaitokselle kulkeva rautatie. Kyllit varoittavat haudatusta radioaktiivisesta materiaalista. Lisenssi: <https://commons.wikimedia.org>

Tšernobyl vuonna 2026



Villihevotia Tšernobyliissa. Taustalla näkyy mannertenvälisten ohjusten havaitsemiseen käytetty DUGA-tutka.
Lisenssi: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horses_in_Chernobyl_Ukraine.jpg

Ennen Ukrainan sotaa tämä alue oli merkittävä turistikohde. Tšernobylin ydinvoimalaan oli saatavilla turistikierroksia, joilla pääsi kierrokselle mm. tuhoutuneen nelosreaktorin valvomoon. Myös Pripjatin aavekaupunki oli suosittu kohde.

Sodan alkaessa tilanne muuttui täysin. Venäläiset joukot miinoittivat Pripjatin, ja sinne pääseminen onkin lähitulevaisuudessa aivan liian riskialtista. Joukot levittivät myös kontaminaatiota alueella kaivamalla poteroita Punaiseen metsään (tosin toisin kuin mediassa aluksi erheellisesti uutisoitiin, noissa poteroissa ei ole mitään niin radioaktiivista, että sotilaat olisivat saaneet säteily sairauden oireita).

Suurin tuho sotatilan myötä tuli, kun venäläinen drooni teki reiän uuden suojarakennuksen kattoon, ja sytytti sen eristeet tuleen. Reiän paikkaus on osoittautunut suureksi ongelmaksi, koska rakennuksen saaminen taas ilmatiiviiksi niin, että sen sisällä on alipaine estämässä hiukkasten kulkeutumisen ulos, ei ole onnistunut. Katto vaatii todennäköisesti laajempaa purkua,

jotta rakenteet eivät ala ruostua ja suojarakennuksen käyttöikä lyhene merkittävästi.

Myös nelosreaktorin purkutyöt ovat vuosia jäljessä sodan takia, dronepommitusten alla kun ei pureta reaktoria. Tosin vanha suojarakennus sinnittelee vielä paikoillaan, joten hommalla ei onneksi ole kiire. Myös ydinmateriaalin poistaminen sarkofagin sisältä vaikuttaisi ajan myötä käyvän helpommaksi: hajoamistuotteissa on mukana kaasuja, jotka muuttavat radioaktiiviset laavakerrostumat pikkuhiljaa hiekan kaltaiseksi. Niinpä tulevaisuudessa niiden poistaminen voi olla mahdollista ihan pölynimurilla, mikä olisi varmaankin myös nopein mahdollinen keino, ja siten takaisi työntekijöille matalimman mahdollisen säteilyannoksen.

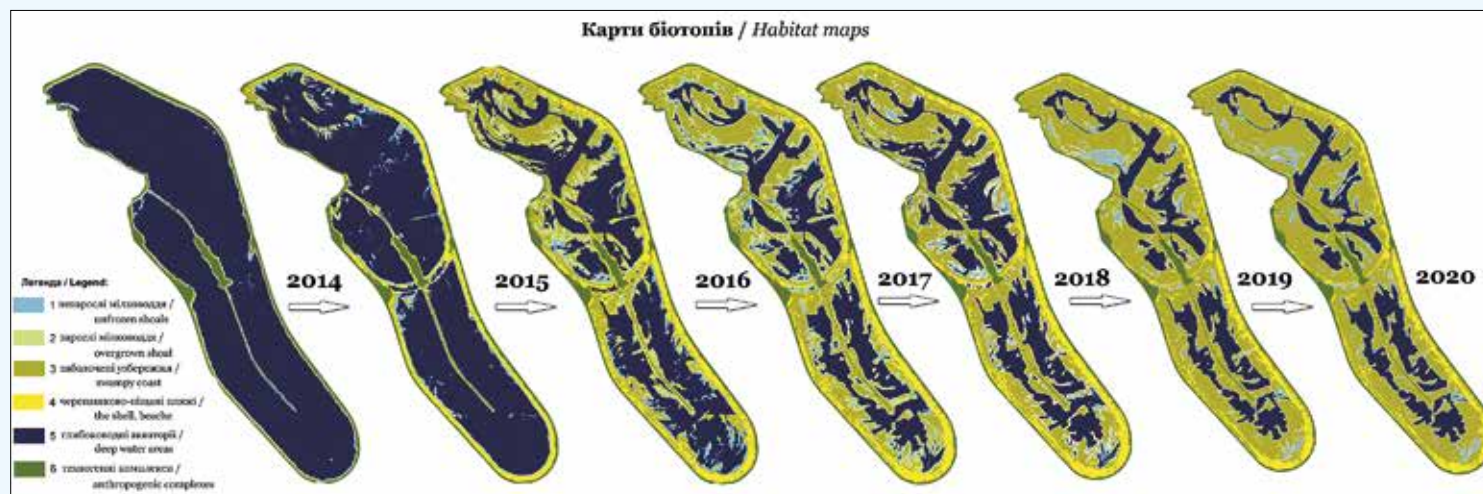
Yksi alueen maamerkeistä, valtava tekojärvi, jota käytettiin reaktorin jäähdytykseen, on myös muutoksen kourissa. Joitain vuosia takaperin sen täyttäminen lopetettiin ja sen annetaan haihtua hitaasti tyhjäksi. Tällöin pohjaan kasvava kasvillisuus sitoo itseensä järven pohjassa mahdollisesti olevat radioaktiiviset

aineet, eivätkä ne pääse leviämään esim. tuulessa, kun järven pohja pölyyää.

Alueella on ollut viimeisten vuosien aikana myös useita metsäpaloja, joiden on pelätty levittävän saasteita taas ilmaan, mutta toistaiseksi palokunta on aina saanut pidettyä ne tarpeeksi kurissa. Toisaalta tämä epäluonnollinen ympäristö on kenties muuttunut samaan aikaan koko Euroopan luonnollisimmaksi, ja elämä alueella on alkanut kukoistaa ihmisten jälkeen. Sudet, karhut, ketut jne. ovat omineet alueen, ja sieltä löytyy myös Euroopan ainoa villihevospopulaatio.

Ihmisen jälkeensä jättämästä elämästä ongelman alueella muodostavat villikoirat, jotka ovat Pripjatiin evukuoinnin yhteydessä jääneiden lemmikeiden jälkeläisiä. Vapaaehtoiset ovat vuosia rokottaneet näitä koiria rabieksen varalta, mutta sodan takia tämä rokotusohjelma on kärsinyt ja rabies alkanut levitä koirien keskuudessa.

Entä itse voimala? Se on vielä aktiivinen työpaikka tuhansille ihmisille, jotka osallistuvat sen ylläpitoon ja purkamiseen. •



Jäähdytysaltaan kuivattamista ja täyttämistä kasvillisuudella. Vuonna 2026 allas on käytännössä jo kokonaan kuivunut.

Lisenssi: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chornobil.jpg>

SKALA – Tšernobylin aivot



SKALA-keskustietokone reaktorille nro. 3.

Lisenssi: [Youtube-näyttökuva](https://www.youtube.com/watch?v=ZbaptQh2AM4), <https://www.youtube.com/watch?v=ZbaptQh2AM4>

SKALA (ven. Система Контроля Аппарата Ленинградской Атомной, "kivi") oli Neuvostoliitossa 1960-luvulla kehitetty tietokonepohjainen valvonta- ja tiedonkeruujärjestelmä, jota käytettiin RBMK-1000-reaktoreissa, kuten Tšernobylin ydinvoimalan nelosyksikössä. Systeemi pohjautui V-30M-keskustietokonearkkitehtuuriin.

Järjestelmä vastaanotti arviolta noin 7 000 analogista ja 6 000–7 000 digitaalista signaalia eri puolilta voimalaitosta. Se seurasi muun muassa lämpötiloja, paineita, virtauksia ja neutronivuota.

SKALA käytti ferriittirengasmuistia (magneettisydämuisti) keskusmuistina, magneettinauha-asemia tiedon

tallentamiseen sekä reikänauhalukijoita ohjelmien lataamiseen. Koneella ajettiin yleensä kahta tärkeintä ohjelmaa, DREG, joka luki reaktorin parametrejä, sekä PRIZMA joka laski tärkeitä parametrejä kuten ORM:ää.

Ohjelmia ajettiin eristyksissä toisistaan, joten virhe yhdessä ohjelmassa ei voinut jumittaa koko systeemiä. Koneessa oli myös aikakauteen nähden kehittynyt virheenkorjaus. RAM:ia laitteessa oli vaatimattomat 20kb. Näyttölaitteita koneessa ei ollut muutamia numeronäyttöjä lukuunottamatta, vaan data tulostettiin printterillä reaktorioperaattorien luettavaksi. •

Lisätietoa YouTubessa

1. Chornobyl family

<https://www.youtube.com/@ChernobylFamily>

Kanavalla kaksi Tšernobylin työntekijää, Alex ja Mikaela, dokumentoivat kaikkea mahdollista historiasta tietotekniikkaan liittyen voimalaitokseen

2. Aleksand Kupnyi

<https://www.youtube.com/@chernobyl86>

Kupnyi toimi dosimetristinä Tšernobylyssä 1988–2010. Kanavalla paljon videomateriaalia sarkofagin sisältä, polttoainemuodostumista jne. mielenkiintoista. Valitettavasti vain osa videoista on tekstitetty englanniksi.

3. That Chernobyl Guy

<https://www.youtube.com/@thatchernobylguy2915>

Tšernobyl-aiheisiin minidokumentteihin erikoistunut kanava



Kattava materiaalitieteen oppikirja – suomeksi!

Sami Franssila: *Aine*.

Materiaalitieteen perusteet (2025). 469 s.



Aalto-yliopiston professori Sami Franssila tuore materiaalitieteen oppikirja on tapaus, josta on hyvät syyt kertoa MAL-lehdessä. Haastattelin Franssilaa teoksen tiimoilta.

Aine kuulostaa oppikirjan nimeksi melko kunnianhimoiselta, mutta kirjaa selatessa vaikuttaa siltä, että ”materiaalia” voi tosiaan olla jotakuinkin aine kuin aine, jos sitä tarkastellaan reaalisen tai potentiaalisen materiaalin roolissa: puhtaista alkuaineista kompleksisen rakenteen omaaviin luonnontuotteisiin ja edelleen teollisesti tai laboratorioissa valmistettuihin materiaaleihin. Franssila kertoi tämän olevan ensimmäinen suomenkielinen oppikirja, joka kattaa kaikki materiaalityypit: metallit, keraamit, polymeerit ja komposiitit.

Perinteisestä tämän alan peruskurssisäällöstä kirjan erottaa mm. nanomateriaalien mukanaolo. Sami Franssila oma tutkimusalue onkin mikrovalmistus, jonka kohteita ovat puolijohdekomponenttien ja nanoteknisten ratkaisujen toteuttaminen. Hänen kirjastaan *Introduction to Microfabrication* (Wiley, 2010) on tullut kansainvälisesti laajalti käytetty perusteos.

Materiaalitieteen peruskurssia luennoidaan ensimmäisen vuoden teekkareille kolmessa Aalto-yliopiston korkeakoulussa, ja sen suorittaa noin vuosittain noin 600 opiskelijaa. Franssila professori on Kemian

tekniikan korkeakoulussa, jossa kemian ja materiaalitieteen kandipääaineesta valmistuu vuosittain noin 80 opiskelijaa.

Koska kirja on tarkoitettu ensimmäisen vuoden opiskelijoille, se on luettavissa lukion pohjatiedoilla. Franssila kertoi, että joissakin peruskurssilla aiemmin käytetyissä oppimateriaaleissa saatettiin tehdä yllättäviä syväsukelluksia joihinkin yksittäisiin kysymyksiin kuten erilaisten teräksien hyvinkin konstikkaiksi osoittautuviin ominaisuuksiin. *Aineen* esitystapa on sen sijaan tasalaatuista, ja lukijaystävällisyyteen ja kuvitukseen on panostettu kauttaaltaan.

Tekoälyä Franssila on käyttänyt sparraajana: vaikeina koettuja kohtia tekoäly on koelukunut ja kommentoinut, ja se on kysynyt muun muassa onko käsite varmasti opiskelijoille tuttu, ja saattanut ehdottaa, että se kannattaisi vielä selityksen alussa kerrata.

Kirjan lukurakenne on ohessa esitetty erillisessä laatikossa. Johdattelun jälkeen käsitellään materiaalien *rakenteita* eri tasoilla –materiaalin havaittava luonne perustuu viime kädessä alkeishiukkasten vuorovaikutuksiin ja kemiallisiin sidoksiin kuten kaikki muukin tässä maailmassa, mutta näiden mittakaavojen välissä myös monenlaisiin kide- ja mikrorakenteisiin. Tämän jälkeen tarkastellaan materiaalien *ominaisuuksia* eriteltynä mekaanisiin, termisiin, sähköisiin, optisiin ja magneettisiin.

Seuraavaksi käsitellään omista luvuissaan alussa mainitut materiaalien päätyypit ja sitten niiden erilaiset valmistus- ja käsittelytavat – takominen, ruiskuvalu, puristus, sintraus, hitsaus, liimaus ja niin edelleen. Nanomateriaaleista on vielä oma luku. Loppupään luvuissa materiaaleja tarkastellaan elävien olentojen, ihmisen ja yhteiskunnan näkökulmista, mukaan lukien ekologinen kestävyys ja kierrätettävyyys.

Meikäläisen maallikon, mutta varmasti myös opiskelijoiden ja eri spesialiteettien ammattilaistenkin näkökulmasta erityisen hauskaa kirjassa on vielä arkielämän esimerkkien lukuisuus. Miksi kristalli syöpyy tiskikoneessa? Mitä on silkki, ja miksi se on erinomainen materiaali? Hämähäkkien seitit kuuluvat muuten silkkeihin. Mitä tiedetään Finlandia-talon käyristyneistä ja tällä kolmannella kerralla toivon mukaan vähemmän käyristyvistä marmoreista? Millainen materiaali on huopa? Mistä tulee uuden auton haju? Tällaista asiaa on kirjassa höysteenä mukavasti siellä täällä, ja nämä on myös otettu mukaan laajaan asiahakemistoon, josta löytyvät niin autonrenkaat kuin simpukoiden liiman salaisuudet. Toisaalta Franssila teos eroaa selvästi myös populaaritieteellisestä kirjallisuudesta: tieto on aina täsmällistä, ja tyypillisellä aukeamalla on tekstin ja kuvien lisäksi kaavoja ja taulukoita. Suosittelen kirjaa kaikille, jotka kuvailuni teki uteliaiksi. •



Aine. Materiaalitieteen perusteet

1. Materiaalien jaottelua
2. Materiaalitieteen mittakaavat
3. Sidos
4. Kiderakenne
5. Mikrorakenne
6. Mekaaniset ominaisuudet
7. Termiset ominaisuudet
8. Sähköiset ominaisuudet
9. Optiset ominaisuudet
10. Magneettiset ominaisuudet
11. Metallit
12. Keraamit ja lasit
13. Polymeerit
14. Komposiitit
15. Biopohjaiset materiaalit
16. Pinnat ja pinnoitteet
17. Lämpökäsittelyt
18. Materiaalien prosessointi
19. Materiaalit kontaktissa
20. Suorituskyky
21. Materiaalien biovuorovaikutukset
22. Nanomateriaalit
23. Aistimuksia
24. Materiaalit ja kestävä kehitys



UUTISIA

Edellisen MAL-lehden jälkeen MAL on järjestänyt seuraavat tapahtumat, joista löydät jutut tästä numerosta:

- Matemaattikkoihaisen elokuvan esitykset Helsingissä ja Oulussa marraskuussa ja nyt myös Tampereella helmikuussa.
- MALin tiedevisa Tieteiden yössä tammikuussa.

Tervetuloa MALin gradupalkintoesitelmään Tieteiden talolle 10.3.!

MALin vuosittain jakama gradupalkinto ojennettiin viime marraskuussa jyväskyläiselle **Miika Manulle** hänen työstään *"Geodeettisen sädemuunnoksen ja valonsädemuunnoksen injektivisyys"*. Manu jatkaa nyt väitöskirjatutkijana inversio-ongelmien tutkimusryhmässä.

Palkittu gradu on kirjoitettu suomeksi ja se on ladattavissa linkistä <https://jyx.jyu.fi/bitstreams/6277db9f-5402-4aa5-9d2f-df34d1513f90/download>

Miika Manu kertoo tutkimustyöstään kaikille avoimessa tilaisuudessa seuraavin koordinaatein:

Aika: tiistai 10. maaliskuuta klo 18

Paikka: Tieteiden talo, Kirkkokatu 6, Helsinki

Kysymyksille ja keskustelulle on varattu runsaasti aikaa. Kahvitarjoilu.

Tapahtuman tiedot ilmoittautumislinkkeineen löydät MALin kotisivulta mal-liitto.fi. Esitelmää on mahdollista seurata myös etänä.

TERVETULOA!

TEKin Pilkku-kerho – yhä rakkaudesta suomen kieleen ja tekniikkaan



Pilkusta asiaa 6 -tilaisuudessa Markku Mantila kertoi Vaasan Teknillisen Seuran Ateljeessa Vaasassa ja Teamsin kautta kielen merkityksestä mm. hybridivaikuttamisessa.

TEKin Pilkku-kerho on runsaassa kahdessa vuodessa vakiinnuttanut asemansa keskustelufoorumina, jossa suomen kieli ja tekniikka kohtaavat. Kerho syntyi halusta varmistaa, että suomenkielinen tiede ja sanasto säilyvät elinvoimaisina jatkossakin.

Pilkku-kerho perustettiin keväällä 2023 neljän silloisen Tekniikan akateemiset TEKin jäsen- ja järjestövaliokunnan jäsenen aloitteesta. Perustamiskokous pidettiin huhtikuussa 2023 Helsingissä, ja kerhon päätaavoitteeksi määriteltiin suomen kielen aseman vahvistaminen tekniikan ja tieteen kentällä. Pilkku toimii yhdysiteenä jäsenille, jotka haluavat edistää suomen kielen käyttöä erityisesti tekniikan ja sen lähitieteiden aloilla.

Keskusteluissa on viime vuosina korostuneesti noussut esiin aiheellinen huoli siitä, että englannin kieli valtaa yhä enemmän alaa korkeimmassa opetuksessa ja tutkimuksessa kansalliskieltemme kustannuksella. Pilkku muistuttaa, että suomenkielinen

tiede ja sanasto ovat osa kulttuurista ja teknologista identiteettiämme. Erityisesti TEKin piirissä asialla on myös perustavanlaatuinen arvo, perustettiinhan TEKin edeltäjä, Suomenkielisten Teknikkojen Seura, sittemmin Suomen Teknillinen Seura STS, tasan 130 vuotta sitten nimenomaisesti laatimaan tekniikan alan suomenkielistä sanastoa ja edistämään suomen kieltä tekniikan ja teollisuuden aloilla.

Kymmenen tilaisuutta, kymmenen näkökulmaa

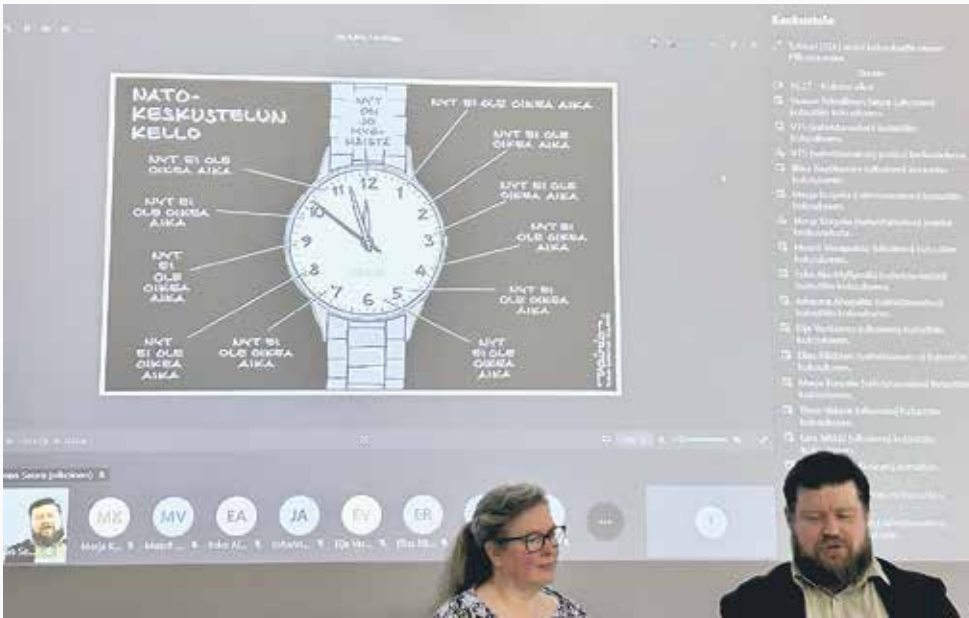
Tähän mennessä Pilkku on järjestänyt kymmenen **Pilkusta asiaa** -tilaisuutta, joissa asiantuntijat ja jäsenet ovat pohtineet suomen kielen elinvoimaisuutta, terminologiaa ja roolia tieteen kielenä. Tilaisuudet ovat olleet hybridimuotoisia, jotta osallistuminen on mahdollista eri puolilta Suomea.

Ensimmäisessä **Pilkusta asiaa** -tilaisuudessa kustantaja, tietokirjailija **Kimmo Pietiläinen** alusti Suomen kielen merkityksestä tieteen ja tutkimuksen kielenä. Keskustelimme tietokirjallisuuden suomentamisesta

ja sen tulevaisuudesta. Alustuksen yksi merkittävä ja kansakuntamme kannalta erittäin huolestuttava huomio oli se, että ellei suomenkielistä tietokirjallisuutta enää julkaista, jää tiede pelkän eliitin asiaksi. (MAL antoi 25.4.2023 kustantaja ja suomentaja Kimmo Pietiläiselle elämäntyöpalkinnon hänen ainutlaatuisesta panoksestaan suomenkielisen tietokirjallisuuden edistäjänä, suomen kielen uudistajana ja yleissivistyksen kartuttajana, MAL-1-2023 (toim.huom.))

Kielitieteilijä, dosentti **Janne Saarikivi** esitteli **Pilkusta asiaa 2** -tilaisuudessamme selvityksensä kansalliskielten asemasta yliopistoissa ja pohti suomen kielen merkitystä luovuudessa. Ajattelemisen aihetta antoi mm. se, että meitäkin pienemmillä kielialueilla Norjassa ja Virossa yliopistoissa edellytetään opittavan kansalliskieli: jos muualta muuttanut opiskelija opiskelee Virossa maksutta, opiskelee hän viroksi, ja jos ulkomaalaistaustainen professori opettaa Norjassa, asianosainen opettelee parin vuoden sisällä norjan kielen.

Tietokirjailija, suomen kielen dosentti **Vesa Heikkinen** pohti alustuksessaan aihetta *Suomen kieli käy-*



Pilapiirtäjä Jyrki Vainio toi humoristisen näkökulman kieleen Pilkusta asiaa 8 -tilaisuudessa TEKin Tohtori-tilassa Helsingissä ja Teamsin kautta.

tettynä – pitääkö olla huolissaan? Alustus käsitteli kielen uhkakuvia: englannin vaikutusta, sanavaraston supistumista ja sosiaalisen median roolia. Lopputulos oli, että kieli muuttuu jatkuvasti, mutta jäämme pohtimaan, köyhtyykö se samalla. Syksyllä jatkoimmekin samasta aiheesta, otsikkona *Uhanalaiset sanat – katoavatko sanat kielestä?*

Koneen Säätiön tiede- ja taiderahoituksen johtaja **Kalle Korhonen** kertoi meille keväällä 2024 *Vuoden Tiedekynä* -palkinnosta ja sen merkityksestä suomenkielisen tieteen tukemisessa. Vielä sentään joillain aloilla julkaistaan suomeksikin ihan palkittavaksi saakka, totesimme tilaisuuden yhteydessä. Virkistäviä poikkeuksia siis löytyy eikä peli ole kokonaan menetetty.

Päätoimittaja, tietokirjailija **Markku Mantila** alusti meille valitettavankin ajankohtaisesta aiheesta joulun 2024 alla: *Valehtelua, vakoilua ja valtiollista vaikuttamista*. Esitelmä käsitteli mm. hybridivaikuttamista, jolta edes harvinaisen kielemme ei enää meitä suojaa, sekä ulkopuolisten toimijoiden pyrkimyksiä muokata kansan näkemyksiä myös kielellisen vaikuttamisen kautta.

STS:n hengessä kutsuimme seuraavan esitelmöitsijämme Sanastokeskuksesta, jonka jäsen myös TEK on. Terminologi **Mari Suhonen** esitteli sanastotyön merkitystä ja palveluja, jotka tukevat teknistä kielenkäyttöä.

Kannattaa tutustua näihin palveluihin, jos yhtään on epävarmuutta oikeasta suomenkielisestä termistä.

Pilapiirtäjä **Jyrki Vainio** toi humoristisen näkökulman kieleen ja sen ilmiöihin. Kantaaottavat, osuvat kuvat ja kielellinen leikittely kiinnosti useita Pilkun jäseniä. Totesimmekin, ettei tämä kielenhuoltotyö nyt niin rypyytsaista saa olla, etenkin näin kerhotoimintamuotoisena vapaa-ajanharrastuksena.

Syksyllä 2025 Genelecin toimitusjohtaja **Siamäk Naghian** kertoi omasta polustaan suomen kieleen ja kulttuuriin sekä teknologian huipulle. Kiinnostavan yritysasetteluyosuuden jälkeen kuulumme hänen opiskelustaan aikoinaan Suomessa juuri suomen kielellä ja siten integroitumisestaan Suomeen. Arvokkainta, mitä Naghian kertoi saaneensa Suomesta, on juuri tämä suomen kieli! Kunpa osaisimme itsekin arvostaa kielitämme yhtä paljon, vaikka emme osaisikaan kirjoittaa runoja yhtä sujuvasti suomeksi kuin hän.

Kymmenennessä Pilkusta asiaa -tilaisuudessa tekniikan kandidaatti **Väinö Jalkanen** jakoi kokemuksiaan ajastaan ulkomaalaisena opiskelijana Saksassa ja ehdotti keinoja, joilla Suomi voisi tukea kansainvälisten opiskelijoiden integroitumista. Jalkanen oli tietoisesti valinnut nimenomaan saksankielisiä kursseja *Karlsruhe Institute of Technology*ssä opiskellessaan, ja kertoi

miten paikalliskielellä opiskelu ja saksan kielen käyttö erimaalaisten opiskelutovereiden kanssa yhdisti ja osallisti sekä avasi mahdollisuuksia aivan eri tavalla kuin pelkässä ulkomaalaiskuplassa pysyttelemineen olisi tehnyt. Totesimme, että Suomessakin kannattaisi tarjota myös ulkomailta tuleville opiskelijoille aito mahdollisuus opiskella suomeksi, jotta he kokisivat itsensä tervetulleiksi jäämään maahan.

Pilkusta asiaa jatkossakin

Pilkku jatkaa Pilkusta asiaa -tilaisuuksiaan myös vuonna 2026 ja toivottaa kaikki suomen kielestä ja tekniikasta kiinnostuneet mukaan. Ehdotuksia alustajista otamme erittäin mielellämme vastaan.

Pilkun johtokunta vuodelle 2026 valittiin vaalikokouksessa 4.12.2025. Vuoden 2025 johtokunta jatkaa aiemmissa tehtävissään: puheenjohtaja **Johanna Aho-pelto**, varapuheenjohtaja **Ilkka Raatikainen**, sihteeri **Lars Miikki** ja rahastonhoitaja **Mervi Vatanen**. Johtokunnan yhteyshenkilöt löytyvät sivustoltamme <https://pilkku.tek.fi/>, ottakaa yhteyttä, keskustelkaa WhatsApp-ryhmässämme ja osallistukaa tilaisuuksiimme! Liittymiskaavakekin löytyy edellä mainituilta sivuilta. •

Kirjoittaja on TEK:n Pilkku-kerhon puheenjohtaja

Taulukko: Kymmenen ensimmäistä Pilkusta asiaa -tilaisuutta

#	Päivämäärä	Aihe	Alustaja
1	26.9.2023	Suomen kielen merkitys tieteen ja tutkimuksen kieleenä	Kimmo Pietiläinen, kustantaja, tietokirjailija
2	6.11.2023	Kansalliskielten asema ja luovuus	Janne Saarikivi, dosentti, kielitieteilijä
3	11.3.2024	Suomen kieli käytettynä – pitääkö olla huolissaan?	Vesa Heikkinen, suomen kielen dosentti, tietokirjailija
4	14.5.2024	Vuoden Tiedekynä -palkinto ja suomenkielinen tiede	Kalle Korhonen, tiede- ja taiderahoituksen johtaja (Koneen Säätiö)
5	12.9.2024	Uhanalaiset sanat – katoavatko sanat kielestä?	Vesa Heikkinen, suomen kielen dosentti
6	16.12.2024	Valehtelua, vakoilua ja valtiollista vaikuttamista	Markku Mantila, päätoimittaja, tietokirjailija
7	4.3.2025	Terminologiatyö ja Sanastokeskus	Mari Suhonen, terminologi (Sanastokeskus)
8	28.4.2025	Pilapiirros ja kielen ilmiöt	Jyrki Vainio, pilapiirtäjä
9	23.9.2025	Suomen kieleen ja kulttuuriin integroituminen sekä Genelecin tarina	Siamäk Naghian, toimitusjohtaja (Genelec)
10	17.12.2025	Ulkomaalaisena opiskelijana Saksassa – ehdotuksia Suomelle	Väinö Jalkanen, tekniikan kandidaatti

Epävakaa alkuaine, epävakaa tiede: alabamiini ja patologinen tiede

Fred Allison uskoi löytäneensä uuden alkuaineen Alabamassa, mutta hänen magneto-optinen menetelmänsä petti aisteja ja havaintoja. Allisonin tapaus muistuttaa, että tieteessä odotukset ja todellisuus eivät aina kohtaa. Joskus vilpittömät tutkijat voivat nähdä sen, mitä he toivovat.



Fred Allison uskoi löytäneensä uusia alkuaineita. (Encyclopedia of Alabama / The Alabama Humanities Alliance/ Courtesy of Auburn University)

Harvoin pro gradu -tutkielma nousee kansallisten ja jopa kansainvälisten uutisten aiheeksi. Näin kävi kesällä 2023 **Henna Kokkoselle**. Fysiikkaa opiskellut Kokkonen onnistui tuottamaan Jyväskylän yliopiston kiihdytinlaboratoriossa aiemmin tuntemattoman isotoopin. Uusia atomiytimiä löytyy harvoin maailmalla, joten ihan ansaitusti iltapäivälehdet kirjoittivat hänestä, ja presidentti kutsui hänet linnan juhliin. Kokkonen jatkaa tutkimusta tohtorikoulutettavana ja tulokset ovat hyvät. Kesällä 2025 saimme lukea, kuinka hän oli löytänyt jälleen uuden isotoopin.

Kokkoson löytämät atomiytimet ovat astatiinin isotooppeja. Astatiinilla on atomiluku 85 ja se on radioaktiivinen halogeenien ryhmään kuuluva alkuaine. Kokkoson löytämät 190-astatiini ja 188-astatiini ovat keveimpiä tunnettuja astatiinin isotooppeja. Ytimet, joissa on näinkin valtava määrä protoneja ja neutroneja, ovat yleensä hyvin lyhytikäisiä. Nämä astatiinin isotoopit hajoavatkin silmänräpäyksessä. Astatiini on jopa saanut nimensä kreikan sanasta *astatos*, joka tarkoittaa epävakaa.

Astatiini on niin radioaktiivista, että jos onnistuisit saamaan lusikallisen sitä kasaan, niin radioaktiivisen hajoamisen tuottama lämpö höyrystäisi sen saman tien.

Tosin lusikallinen astatiinia olisi todella suuri määrä. Arvioiden mukaan astatiinia ei löydy koko maapallolta lusikallista enempää. Joidenkin arvioiden mukaan maapallolla on vain 0,07 grammaa astatiinia. Vähäisiä määriä sitä on, koska sitä syntyy uraanin ja toriumin hajotessa maankuoressa. Koska kaikki astatiinin isotoopit ovat hyvin lyhytikäisiä, on astatiini harvinaisin luonnollisesti esiintyvä alkuaine maapallolla.

Aukkoja jaksollisessa järjestelmässä

Kun **Dmitri Mendelejev** kehitti jaksollisen järjestelmän, ei kaikkia alkuaineita vielä tunnettu. Taulukkoon jäi siis reikiä, joiden avulla hän osasi ennustaa tuntemattomien alkuaineiden olemassaolon ja jopa joitakin niiden ominaisuuksista. Mendelejev ei alkanut keksimään nimiä näille puuttuville aineille, vaan kutsui niitä sen mukaan, mikä alkuaine oli jaksollisessa järjestelmässä niiden yläpuolella. Esimerkiksi skandiumista Mendelejev käytti nimitystä ekaboori, koska se oli boorin alapuolella. Etuliite *eka* tulee sanskritin ykköstä tarkoittavasta sanasta.

Mendelejevin ennustamat alkuaineet löytyivät yksi toisensa jälkeen, mutta samalla kemistit ennustivat uusien aineiden olemassaoloa. 1930-luvulla etsintä

kohdistui erityisesti kahteen aineeseen: ekajodiin ja ekacesiumiin, eli alkuaineisiin 85 ja 87.

Uusien alkuaineiden etsintään kietoutui vahva kansallismielinen eetos. Löydöille annettiin valtioiden ja alueiden nimiä, ikään kuin jaksollinen järjestelmä olisi ollut myös symbolinen kartta tieteellisestä kunniasta.

Alkuaineet 85 ja 87 tunnettiin hetken aikaa amerikkalaisten osavaltiojen mukaan alabamiinina ja virginiuinina. Näin ne nimesi Virginiassa syntynyt ja Alabaman teknillisessä korkeakoulussa työskennellyt **Fred Allison**. Virginiumia ja alabamiinia ei löydetty perinteisin menetelmin, vaan Allisonin kehittämän magneto-optisen menetelmän avulla.

Allisonin magneto-optinen menetelmä

Allison esitti, että jokaisella alkuaineella on sille ominainen magneto-optinen ”spektri”. Allisonin koejärjestelmässä valo johdettiin polarisaattorin kautta kahteen rinnakkaiseen nestesäiliöön, joista toinen toimi vertailuna ja toinen sisälsi tutkittavan näytteen. Molemmat säiliöt asetettiin voimakkaaseen magneettikenttään, ja magneettikenttää muuttamalla havaittiin valon intensiteetin eroja, hetkellisiä kirkkauden minimejä. Ajatus oli, että näytesäiliön ja vertailusäiliön välillä

Fred Allisonin tapaus on kuitenkin myös huojentava esimerkki siitä, että yksi erehdys ei välttämättä pilaa koko uraa.



Irving Langmuir esitteli patologisen tieteen käsitteen. (Wikimedia). Wikimedia/ Library of Congress, Washington, D.C.

syntyvä ero voitaisiin tulkita suoraan tutkittavan alkuaikaisen ominaisuudeksi.

Allisonin menetelmä perustui paljain silmin tehtyihin havaintoihin tummista juovista valossa. Allison itsekin myönsi, että vaatii paljon aikaa oppia tekniikat, joilla säätää laite ja joilla erottaa minimi varmuudella. Kokematon havaitsija saattaisi sivuuttaa minimi täysin. Jo tämän pitäisi soittaa hälytyskelloja. Havaintokynnyksen rajalla oleva ja havaitsijasta riippuva ilmiö on altis virhetulkintoille.

Tulokset puhuivat kuitenkin puolestaan. Allison teki järkevän oloisia havaintoja. Lukuisia artikkeleja kirjoitettiin kokeista ja löydöistä, jotka perustuivat Allisonin menetelmään. Ennen vedyn isotoopin tritiumin yleisesti hyväksyttyä tunnistamista raportoitiin sen havainnoinnista tällä menetelmällä.

Menetelmän ehdoton hyöty oli se, että tutkittavaa ainetta tarvitsi olla liuoksessa hyvin pieniä määriä ja silti se voitiin havaita. Kummallista kyllä, jos konsentraatiota kasvatti, signaalin voimakkuus ei kasvanut. Taas hälytyskellojen tulisi soida.

Kyllä hälytyskellot soivatkin. Useat tutkimusryhmät epäonnistuivat toistamaan Allisonin kokeita. Allisonin mielestä he eivät vain olleet tarpeeksi harjaantuneita

havainnontekoon. Lopulta kuitenkin tiedeyhteisö hylkäsi menetelmän, eikä sitä käytettäviä artikkeleita enää hyväksytty julkaistaviksi. Oikeat alkuaineet 85 ja 87, eli astatiini ja frankium, löydettiin toisenlaisia menetelmiä käyttäen. Todellinen alkuaine 85 on epävakaa, mutta olemassa. Allisonin alabamiini oli vakaa vain mittajaan mielessä.

Patologinen tiede

Kemisti **Irving Langmuir** oli tunnettu äärimmäisestä metodologisesta kurinalaisuudesta. Jopa jotkut hänen kanssaan työskennelleistä pitivät hänen vaatimustasoaan kokeellisille kontrolleille liioiteltuna. Langmuir kuitenkin tiesi, että kun työskennellään mittauskynnyksen tuntumassa, ei voi olla liian tarkka. Hänen huolellinen pintakemiaan liittyvä työnsä palkittiin Nobelilla vuonna 1932.

Langmuir oli yksi niistä, joilla hälytyskellot soivat. Allison edusti kokeellista kekseliäisyyttä ja luottamusta havaitsijan taitoon; Langmuir puolestaan epäluuloa kaikkea sellaista kohtaan, mikä ei pakene yksittäisen havaitsijan kontrollia.

Sivustakatsojan olisi helppo leimata Allison joko huijariksi tai sitten vaan hölmöksi, joka näkee sen, mitä haluaa. Langmuir tuntui kuitenkin osaavan asettua myös Allisonin saappaisiin. Hän ei aluksi hyökännyt menetelmää vastaan, vaan piti asiaa avoimena, mutta kummallisena. Kun konsensus kääntyi Allisonen metodia vastaan, Langmuir oivalsi, että kyse ei ollut huijauksesta, vaan kokeellisesta itsepetoksesta. Mitä lähemmäs mittauskynnyksen rajaa mentiin, sitä helpompi oli nähdä se, mitä toivottiin näkevän.

Irving Langmuir esitteli *patologisen tieteen* käsitteen. Allisonin menetelmä oli yksi hänen käyttämistään esimerkkitapauksista. Patologinen tiede on tutkimusta, jossa vilpittömät ja pätevät tutkijat tulevat vakuutetuiksi ilmiöistä, jotka syntyvät mittauskynnyksen rajalla kohinan ja odotusten yhteisvaikutuksesta.

Allisonin minimi olivat vain juuri ja juuri nähtävissä. Tämän takia valon intensiteetissä nähdyt kohinas johtuvat pienet muutokset voitiin tulkita signaaliksi. Efekti ei voimistunut magneettikentän tai liuoksen konsentraation kasvaessa. Kuitenkin tarkkuuden väitettiin olevan erinomainen. Kokeiden perusteella esitettiin poikkeuksellisia väitteitä, kuten uusien alkuaineiden löytäminen, ilman riittäviä perusteita.

Jos muut eivät onnistuneet toistamaan koetta, si-
vuutettiin kritiikki ad hoc -selityksillä, kuten havaitsijan kokemattomuudella tai huonosti viritetyllä mittalaitteella. Todellisuudessa huonosti viritetty laite synnytti täydellisen asetelman havaintoharhalle. Jos vertailusäiliön ja näytesäiliön välillä oli pienikin ero lämpötilassa tai optisessa kohdistuksessa, saattoi syntyä näennäinen ero, jonka havaitsija tulkitsee signaaliksi.

Patologiselle tieteelle ominaista on myös se, että vaikka se ei koskaan saavuttaisi yleisesti hyväksytyn teorian asemaa, saa se kuitenkin jonkun verran kannatusta. Lopulta kannatus kuitenkin hiljalleen hiipuu. Toisin kuin selvien virheiden tai huijausten kohdalla, patologiset tutkimukset kohtaavat yleensä loppunsa juurikin hiipumalla sen sijaan, että ne hylättäisiin kertarysäyksellä. Näin kävi myös Allisonin menetelmän kanssa. Tavallaan se loppui siihen, kun merkittävät tieteelliset lehdet päättivät hylätä menetelmää käytäneiden tutkimusten julkaisun. Se ei kuitenkaan ollut selvärajainen loppu. Allison itse ei koskaan nähnyt syytä perua tai korjata aiempia tutkimuksiaan.

Puhuessaan patologisesta tieteestä Langmuir painotti, että asianomaiset ovat rehellisiä, päteviä – ja väärässä. Juuri tämä tekee ilmiöstä vaarallisen. Päteväkin tutkija voi haluta onnistuvansa niin paljon, että näkee, mitä haluaa. Toki Allisonin ja Langmuirin aikaan paljain silmin tehtävät havainnot olivat tieteessä yleisempiä. Patologiseen tieteeseen voi sortua myös koneellisesti kerätyn mittausdatan käsittelyssä. Allisonin tapaus onkin yleinen varoitus tiedeyhteisölle. Mittauskynnyksen rajalla toimivia tutkimusalueita löytyy edelleen. Voimakkaat odotukset voivat vaikuttaa tulkintaan erityisesti silloin kun signaalit ovat heikkoja ja datamassat suuria. Joskus se, mitä näemme, on enemmän omaa toivettamme kuin luonnon todellisuutta.

Fred Allisonin tapaus on kuitenkin myös huojentava esimerkki siitä, että yksi erehdys ei välttämättä pilaa koko uraa. Allison teki huippulaatuista tutkimusta eläkepäiviinsä saakka ja vielä niiden ajanakin. Hän oli niin opiskelijoiden kuin kollegojensa arvostamana. Allison eteni akateemisella polullaan ja toimi fysiikan ja matematiikan laitoksen johtajana parissakin yliopistossa. Tämä siitä huolimatta, että hän ilmeisesti ei koskaan lakannut uskomasta magneto-optiseen menetelmäänsä. Hän kirjoitti aiheesta vielä emeritusprofessorina 1960-luvulla. •

ATK-YTP -yhteistoimintaa

ATK-YTP, eli automaattisen tietojenkäsittelytieteiden yhteistoimintapäivät, on Tietotekniikan opiskelijoiden liiton TiTOL ry:n kaksipäiväinen vuosittainen seminaaritapahtuma. Sen tarkoituksena on tuoda alan opiskelijat ja yritykset yhteen. Tapahtuma järjestetään yhdessä seitsemästä tietojenkäsittelytieteitä tarjoavasta yliopistokaupungista sen mukaan, mitä on järjestöjen välillä sovittu. Vuonna 2025 järjestämisvastuu osui Tampereen yliopiston tietojenkäsittelytieteiden, matematiikan ja tilastollisen data-analyysin ainejärjestölle Luuppi ry:lle.

Mikä on ATK-YTP?

- Järjestettiin 15.–16.10.2025 Tampereella
- Tietotekniikan opiskelijoiden liitto ry:n (TiTOL) alainen seminaari ja verkostoitumistapahtuma, joka kokoaa Suomen tietojenkäsittelytieteiden opiskelijat kerran vuodessa samaan kaupunkiin
- Ohjelma painottuu päivän yritysluentoihin ja illan verkostoitumisohjelmaan. Näiden lisäksi on vielä torstaina aamupalasauna.
- Järjestetty ensimmäisen kerran 1980–1990 luvulla
- Järjestetään yhdessä seitsemästä tietojenkäsittelytieteitä tarjoavasta yliopistokaupungista.

ATK-YTP on ollut opiskelijoiden keskuudessa pidetty ja odotettu tapahtuma, koska seminaarissa pääsee tutustumaan niin alan yrityksiin, muihin alan opiskelijoihin kuin toiseen opiskelijakaupunkiin ja sen kulttuuriin.

Tampere ennen ja nyt

Viimeksi ATK-YTP oli ollut Luupin järjestettävänä vuonna 2018. Tänä aikana monta asiaa on ehtinyt muuttua. Tapahtuman osallistujamäärät ovat kasvaneet huomattavasti: vuonna 2018 osallistujia oli n. 250–300, vuonna 2025 odotettu kävijämäärä oli 500 plus järjestäjät ja nakkilaiset. Samoin taloustilanne IT-alalla oli hyvin erilainen. Vuonna 2018 IT-ala oli kasvussa ja yritysten kanssa yhteistyöstä sopiminen suhteellisen helppoa, kun taas vuonna 2025 yrityksillä on mennyt huonosti ja YT-neuvotteluita pukkaa. Myös yleinen ilmapiiri isojen opiskelijälähtöisten tapahtumien tekoon tuntuu olevan muuttunut. Ainakin Tampereella.

Näistä huolimatta ATK-YTP:n saapumista oli odotettu jo vuosia Luupilla ja tehtävään valittu työryhmä aloitti työt heti vuoden alussa. Tapahtuma on iso ja hyvin erilainen kuin tavan opiskelijatapahtumat, joten valmistelut tuli aloittaa hyvissä ajoin. Järjestämisen avuksi tehtiin karkea vuosikello siitä, mitä milloinkin tulisi olla valmiina ja jokaiselle toimikuntalaiselle jaettiin oma vastuualue. Teema valittiin aiempien vuosien trendiä noudattaen Frutiger Aeroksi ja tarvittavien tilojen hankkiminen laitettiin työn alle. Luuppi on usein tuonut jotain uutta ATK-YTP:n konseptiin. Vuonna 2018 se oli nyt jo perinteeksi muodostunut torstaiamun aamusauna ja aamupala, sekä toisen päivän yritysvetoinen rastikierrros. Koronan jälkeen tämä edellä mainittu rastikierrros, toiselta nimeltään IT-räkki on kuitenkin hiljalleen muuttunut samanlaiseksi kuin keskiviikkona, eli järjestäjäjärjestön sisarainejärjestöt

paikkakunnalta ovat pitämässä rasteja yritysten sijaan, joten moni on toivonut jotain uutta.

Ideointia oli aloitettu jo edellisessä vuonna, mutta asiaa ei ollut ehditty viemään loppuun. Tätä ideaa Luupin toimikunta alkoi jatkojalostaa ja lopputuloksena oli ATK-YTG, eli Yhteistoimintagamesit. Näissä ainejärjestöt kilpailivat toisiaan vastaan leikkimielisten olympialaisten merkeissä. Lajeina oli enemmän ja vähemmän alalle tyypillisiä aihepiirejä, algoritmeja, ongelmanratkontaa ja erilaisia opiskelijoille tuttuja pelejä.

Tapahtuman järjestäminen ja sen vaikeudet

Tilat osoittautuivat nopeasti haasteeksi iltaohjelman ja majoituksen kohdalla. Iltaohjelma on perinteisesti jaotettu ATK-YTP:llä kahteen osaan, joista ensimmäinen on enemmän rento illanvietto, jossa pääsee juttelemaan. Yleensä tätä illanviettoa ennen on ollut rastikierrros tai jokin vastaava ulkona ja lokakuun lopulla on jo usein kylmä, joten tämä paikka edustaa osallistujille myös paikkaa, johon pääsee hetkeksi istahtamaan ja levähtämään lämpimään. Ehkä haukkaamaan purtavaa, jos päivän aikana ei ole ehtinyt. Tästä sitten halukkaat jatkavat jatkoille.

Tutkiessa kävi ilmi, ettei Tampereella tähän tarkoitukseen soveltuvia tiloja juuri ole. Koska tapahtuma halutaan pitää mahdollisimman saavutettavana kaikille opiskelijoille, eikä opiskelijoiden taloustilanne yleisesti ole korkea, eivät esimerkiksi ravintolat voisi tulla kysymykseen. Eikä ne olisi käyttötarkoitukseltaan sopineet. Muutama mahdollinen paikka ei ollut varattavissa tai ne olivat remontissa.

Sama ilmiö toistui majoituksen kanssa. Saman saavutettavuussyyn vuoksi lattiamajoitus on oikeastaan ainoa opiskelijaystävällinen ratkaisu, sillä kovin monella ei ole varaa maksaa hotelleista tai vastaavista majo-

paikoista. Majoitus sisältyy lipun hintaan, joten sen ei haluta kohoavan liian korkealle. Kyseessä on kuitenkin opiskelijoille suunnattu tapahtuma, jossa on mahdollisuus tutustua alan yrityksiin ja sitä myöten työelämän vaihtoehtoihin. Tampereella osa kouluista järjestää itse lattiamajoitusmahdollisuutta ja joidenkin osalta se tapahtuu kaupungin liikuntapalveluiden puolesta. Muutama vuosi sitten kaupunki kuitenkin tiukensi omaa toimintaansa niin, että lattiamajoituksen saaminen heidän kauttaan on ensisijaisesti lapsille ja nuorille. Asiasta kysyttiin myös muilta, jotka olivat viimeisen vuoden aikana vastaavia tapahtumia järjestäneet, ja sama kuva sieltäkin tuli takaisin, että haastavaa on.

Asiaa ruvettiin hoitamaan heti vuoden alusta ja tilanne tuntui miltei mahdottomalta, monet kouluista olivat remontissa ja yhteydenottoihin oli vaikea saada vastauksia. Kaupungilta saimme toisistaan eriäviä mielipiteitä riippuen kuka niihin vastasi. Yksi sanoi, että voimme jättää lomakkeen myöhemmin, toinen sanoi, ettei tiloja anneta ollenkaan muille kuin lapsille ja nuorille. Näiden tilaongelmien myötä päädyttiin tiputtamaan kävijämäärää, jotta olisi paremmat mahdollisuudet ongelmien ratkaisemiseen ja lopulta syksyn alussa tilat saatiin neuvottelujen ja selvittelyjen jälkeen hankittua.

Kaiken kaikkiaan tapahtuma saatiin järjestettyä ja tielle sattuneet ongelmat ratkottua. Tapahtuman aikana ei myöskään tapahtunut mitään suurempia sattumuksia, joten sen suhteen ATK-YTP oli onnistunut. Lopulta tapahtumaan osallistui kävijät ja järjestäjät yhteenlaskettuna noin 430 henkeä. Kävijöiltä kiitosta keräsi luennot ja majoituksen sijainti Tampereen kansainvälisessä koulussa Amurissa. Myös aamupalasaunan aamupala ja sauna olivat olleet siellä käyneiden mieleen. Erityisen paljon kiitosta sai ATK-YTG. Puitteet ja tapahtuman konsepti olivat selvästi mieluiset ja toivottua vaihtelua aiempiin. •



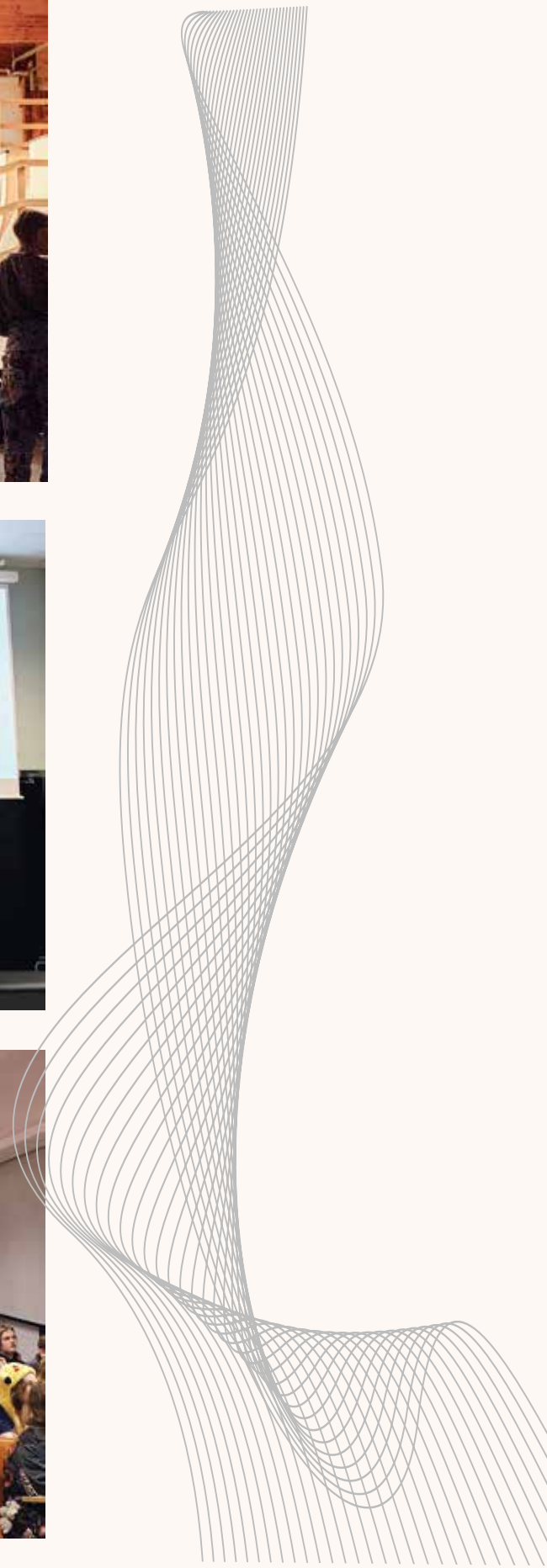
ATK-YTG:n tunnelmia. Kuvaaja: Noel Koskinen



Torstain luennoilla kuultiin mm. Integraatioista. Kuvaaja: Joni Hellman



Tunnelmia keskiviikon luennoilta. Kuvaaja: Noel Koskinen



Tekoäly ja ihmisen osaaminen

Filosofian dosentti Jaana Parviaisen haastattelu

Koulussa englanninopettajani huomautti joskus, että jos aivoja ei käytä, ne surkastuvat... Tämä opetus mielessäni olin tammikuussa järjestämässä Tekniikka elämää palvelemaan -yhdistyksen keskustelutilaisuutta, jossa esitelmän piti Tampereen yliopiston filosofian dosentti Jaana Parviainen otsikolla ”Voiko tekoäly rapauttaa osaamista?”. Keskustelua riitti pitkään, kun monet jakoivat kokemuksiaan ja näkemyksiään aiheesta. Haastattelin Parviaista MAL-lehdelle hänen esityksensä teemoista.

Ilkka Norros: *Esityksesi alussa luonnehdit suuriin kielimalleihin perustuvaa tekoälyä olemukseltaan stokastiseksi papukaijaksi, jolta puuttuu ymmärrys todellisuudesta. Voisiko tällaisen papukaijan ilmaantuminen keskuuteemme myös herättää meitä pohtimaan ja selvittämään tietoteorian ongelmia uudenvälisellä selkeydellä? Onko tekoäly jo noussut isoksi aiheeksi filosofian opetuksessa ja tutkimuksessa yliopistolla?*



Jaana Parviainen: Suuria kielimalleja ei ole suunniteltu kuvaamaan maailmaa totuudenmukaisesti, siksi niitä kutsutaan stokastiseksi papukaijaksi. Ne toistelevat koulutetun datan ja monimutkaisten algoritmien pohjalta satunnaisesti erilaisia fraaseja kuten papukaijat tekevät. Papukaija latelee sille opetettuja sanoja, vaikka se ei ymmärrä sanojen merkitystä ja yhteyttä maailmaan. Kun papukaija tarpeeksi usein toistaa satunnaisesti oppimia sanoja, meistä ihmisistä vaikuttaa siltä, että se välillä onnistuu kuvaamaan jotain tilannetta hyvinkin osuvasti.

Usein väitetään harhaanjohtavasti, että suuriin kielimalleihin pohjautuva tekoäly ”hallusinoisi”. Tekoälyn näkökulmasta katsottuna se ei ”hallusinoi”, vaan tuottaa pelkästään todennäköisiä sanoja tai tokeneja

(sanan osia) edellisten sanojen pohjalta. Näin ollen tilastollisessa mielessä se ei tee virheitä, vaikka sisältö meidän ihmisten mielestä olisi välillä puuta heinää.

Koska suuria kielimalleja ei ole koskaan suunniteltu totuuden tavoitteluun, esimerkiksi tiedon etsintään, ne eivät ole tietokantojen tai edes hakukoneiden ja Wikipedian kaltaisia informaatiolähteitä. Ongelma on, että monet - jopa asiantuntijatehtävissä olevat henkilöt - eivät näytä ymmärtävän perustavaa tietoteoreettista eroa esimerkiksi ChatGPT:n ja hakukoneen välillä. Valitettavasti kielimallien käyttö tiedonhaun työkaluina on jo normalisoitunut työssä ja vapaa-ajalla, joten tilannetta on tässä vaiheessa enää vaikea korjata. Tämän tilanteen systeemisistä seurauksista voi vain ennustaa, mutta ainakin kielimallien nykyisenlainen käyttö tulee

lisäämään informaatioosaasteen määrää merkittävästi. Tulevaisuudessa voi olla vaikea löytää luotettavia tiedon lähteitä, kun tekoälyliete (slop) saastuttaa vähitellen yhteiskunnan kannalta kriittisiä tietolähteitä.

Ja sitten vastaus varsinaiseen kysymykseesi. Opetuksen ja tutkimuksen osalta yliopistoissa on suhtauduttu suuriin kielimalleihin alistuvasti ja reaktiivisesti, tarjoamalla opiskelijoille ja henkilökunnalle lähinnä ns. eettistä ohjeistusta tekoälyn käytöstä. Minusta yliopistojen pitäisi ottaa rohkeampi strateginen näkökulma siihen, miten yliopistot säilyttävät asemansa yhteiskunnan keskeisenä episteemisenä instituutiona, kun kielimallit mylläävät kollektiivisen tiedontuotannon mekanismeja. Toistaiseksi yliopistojen tutkimus- ja opetusresurssit on valjastettu tekoälyn kehitystyöhön.

Sen sijaan tekoälyn yhteiskuntakriittinen tutkimus ja siihen pohjautuva opetus on aliresursoitu yliopistoissa.

I.N.: *Kerroit amerikkalaisesta tutkimuksesta, jonka mukaan opiskelijat erottuvat väestöryhmien joukossa aktiivisimpina ChatGPT:n käyttäjinä. Opettajalle on tärkeää sekä se, että opiskelijat oppivat, että se, että hän voi todeta kunkin oppineen. Miten tekoälyn käyttö näkyy sinun yliopistosi arjessa, millaisia uusia tapoja ja millaisia haasteita se on tuonut?*

J.P.: Tosiaan mainitsemiä lähde keräsi anonymia dataa ChatGPT:n käytöstä viime kevään ja kesän osalta. Datasta pystyi päättämään, että toukokuussa koulujen loppukokeiden aikaan Yhdysvalloissa tokeneiden tuotannon määrä kipusi korkealle ja romahti heti kesälomien alettua. Tämän seurauksena pääteltiin, että ChatGPT:n käyttö on normalisoitunut opiskelijoiden keskuudessa Yhdysvalloissa, mutta on vaikea arvioida, miten paljon suomalaisopiskelijat tai omat opiskelijani käyttävät näitä työkaluja.

Alustavan kansainvälisen kasvatusieteellisen tutkimuksen valossa voidaan sanoa, että jos kielimallien käyttöä opetuksessa ei mitenkään rajoiteta, oppimistulokset heikentyvät. ”Kysy-ChatGPT:Itä” asenteen omaksuneet opiskelijat altistuvat oppimisen välttämiseen, mikä voi johtaa oppimismotivaation katoamiseen. Omat kognitiiviset resurssit jäävät ohuiksi, koska omat taidot eivät ”kasaannu” ja kehity. Esimerkiksi kyky etsiä tietoa ja arvioida asiantuntijoita tai informaatiolähteen luotettavuutta heikkenee. Tutkijat muistuttavat, että joillekin opiskelijoille voi kehittyä eräänlainen ”tekoälyriippuvuus”. Annetuista tehtävistä syntyvän stressin seurauksena syntyy pakonomainen selviytymismalli turvautua kaikessa tekoälyn apuun.

I.N.: *Sanoit, että tekoälyn käyttö vaatisi pedagogiikkaan uudistuksia, mutta tällaisten kehittämiseen ei ole vielä osoitettu erityisiä resursseja. Minkä tyyppisiä uudistuksia tämä voisi tarkoittaa?*

J.P.: Täytyy muistaa, että kielimalleja ei kehitetty opetus-tekniologiaksi, mutta kielimallien seurauksena teknologia-teollisuus pakottaa koulutusjärjestelmän muokkaamaan pedagogisia toimintatapojaan. Jotkut kutsuvat suuria kielimalleja ”plagiointityökaluiksi”. Minusta plagiointityökaluja pitäisi tarkastella opiskelijoiden oikeuksien näkökulmasta: ne pahimmassa tapauksessa riistävät opiskelijoiden oikeudet oppia ja kehittää osaamistaan.

Monet opettajat kokevat, että he ovat velvollisia turvaamaan opiskelijoiden oikeudet oppimiseen. Yliopistossa pedagogisten menetelmien kehittäminen

on lähinnä opettajien oman kiinnostuksen ja oma-toimisuuden varassa. Koska aikaa menetelmien kehittämiseen ei ole, on joltain osin käännetty kelloa taaksepäin. Esimerkiksi osa opettajista käyttää sähköisten tenttien tai esseiden sijasta paperisia tai suullisia tenttejä, jotta opiskelijat eivät kirjoittaisi töitään tekoälyn avulla.

Toki kielimalleista voi olla pedagogiikan kannalta hyötyä opiskelijoille ja opettajille, jos niitä pystytään käyttämään siten, että ne edistävät osaamista. Tosin silloin on tarpeen arvioida tekoälyn käytön kokonaisuhyödyt- ja haitat myös ekologisesta näkökulmasta, vertailemalla tekoälyn kuluttaman veden ja sähkön määrää suhteessa perinteisiin työkaluihin.

I.N.: *Kuten totesit, automaation yleinen sääntö on, että se toisaalta vähentää osaamista syrjäyttäessään työtehtäviä, mutta toisaalta luo uudenlaisia tehtäviä uusine osaamisvaatimuksineen. Tekoäly on työelämän muutostekijänä vasta alkutaipaleellaan, mutta kerroit jo joistakin empiirisistä tutkimuksista maailmalla. MALin jäsenet ovat korkeasti koulutettuja asiantuntijoita – millaisia uusia ilmiöitä ja kehittämissaasteita on havaittu asiantuntijatyön osalta?*

J.P.: Tekoäly muuttanee ennen kaikkea asiantuntijatyön sisältöjä ja tehtävien muotoiluja. Pelkään, että syntyy joukko uusia tekoälyyn liittyviä piiloisia tehtäviä, joita ei huomioida tehtävien aikataulutuksessa. Esimerkiksi tekoälyn avulla voidaan kirjoittaa raportti näennäisen nopeasti, mutta raportin virheiden korjaamiseen, olennaisiin lisäyksiin ja lauseiden muotoiluun voi kulua lähes yhtä pitkä aika, kuin mitä kokenut asiantuntija tekisi ilman tekoälyä. Myös palkattoman työn määrä yhteiskunnallisella tasolla lisääntyy, koska monenlaista erikoisasiantuntemusta tarvitaan erottamaan tekoälyn tuottama liete oikeasta informaatiosta.

Lupaukset siitä, että tekoäly lisäisi työn tuottavuutta, eivät ainakaan vielä näytä toteutuvan. Joissakin laajoissa empiirisissä tutkimuksissa on havaittu, että kielimallien käyttö ei hyödytä taloudellisesti työtekijöitä palkan korotusten muodossa tai organisaatioita työn tuottavuuden kannalta.

Riippumatta siitä, lisääkö tekoäly organisaation tuottavuutta, asiantuntijatyötä automatisoidaan tehokkuuden ja taloudellisten säästöjen toivossa. Automaation myötä työt saattavat hoitua hitusen nopeammin, mutta pitkällä aikavälillä automaatiolla voi olla kielteisiä seurauksia organisaatiolle. Organisaation koko osaaminen voi alkaa rapautua, jos asiantuntija ei saa säännöllistä harjoittelua ja kannustimia ylläpitää inhimillistä osaamista. Jos esimerkiksi onkologi tai patologi ei saa harjoitusta syöpien tunnistamisessa, vaan sairaalat automatisoivat kudoksenäytteiden seulonnan tekoälyn avulla tehtäväksi, johtavien lääkärin kyvyt voivat rapautua.

Tällöin myöskään nuoret lääkärit eivät kehity kokeiden lääkärin johdolla. Pahimmassa tapauksessa asiantuntijat eivät enää pysty niihin tehtäviin, jotka heidän oletetaan hallitsevan esimerkiksi tilanteissa, joissa teknologiaa ei ole saatavilla.

I.N.: *Kiinnitit huomiota siihen, että suurten kielimallien tekoäly on digijättien luomus, ja näillä yrityksillä on omat intressinsä. Miten meidän pitäisi ottaa tämä asia huomioon?*

J.P.: Generatiivisen tekoälyn kehitystä ohjaavat teknojättien liiketaloudelliset intressit, joten käyttöliittymät on suunniteltu mahdollisimman helposti käytettäväksi ja käyttäjiä kouluttaviksi sovelluksiksi. Tekoäly mielistelee käyttäjänsä, jotta käyttäjä olisi mahdollisimman pitkään sovelluksen ääressä. Teknoyhtiöt tarjoavat perusmallejaan käyttäjille yleensä ilmaiseksi, mutta ”ilmaisuus” on monitulkintaista: käyttäjä luovuttaa oman datansa samalla ilmaiseksi teknoyhtiön käyttöön. Täytyy muistaa, että kielimallit ovat ensisijaisesti kaupallisia tuotteita eikä niitä ole suunniteltu opetukseen tai asiantuntijatyöhön, vaikka niitä markkinoidaan avustajina.

Nykyään monet käyttävät kielimalleja ”kavereina” ja valmentajina, jopa romanttisina kumppaneina ja terapeutteina. Jatkuvan myönteisen palautteen vaarana on, että käyttäjä joutuu huomaamattaan manipuloitavaksi. On jopa väitetty, että jatkuva päivittäinen käyttö keskustelevalle tekoälyn kanssa voi vahvistaa omia harhaluuloja ja laukaista psykoosin kaltaisen tilan. Vaikka tutkimus osoittaisi kielimallien aiheuttavan joillekin mielenterveysongelmia, digijättejä on vaikea saada tästä vastuuseen.

Nykykeskustelussa amerikkalaiset digijätit näytettyvät helposti pahiksina, kun taas eurooppalaiset teknoyhtiöt paistattelevat hyvinkin. Nähdäkseni eurooppalaiset noudattavat samankaltaista ansaintalogiikkaan kuin amerikkalaisyhtiöt eivätkä niiden tekoälymallit poikkea merkittävästi amerikkalaisista teknoveljistään. Kun pohditaan sitä, pitäisikö eurooppalaisten kehittää eettisesti kestävämpiä tekoälytyökaluja, jotka edistäisivät oppimista eivätkä rapauttaisi osaamista, voidaan kysyä, mikä taho niitä voisi kehittää. Käytännössä kaikki julkisen sektorin tietojärjestelmät ovat yksityisten yritysten kehittämiä tai jonkinlaisen yhteistyön tulosta. Julkinen sektori ulkoisti jo kauan sitten lähes kokonaan oman teknologiaosaamisensa yksityisille teknoyrityksille. Vaikka rahoitusta ”eettisesti kestäviin” tekoälytyökalujen kehitykseen jostain löytyisikin, valitettavasti näyttää siltä, eurooppalaisten teknoyhtiöiden arvomaailma ei poikkea merkittävästi amerikkalaisyhtiöstä, siksi tuotokset ovat yhdenmukaisia. Tämä on aika pessimistinen arvio, mutta niin kauan kuin julkiset organisaatiot eivät pysty kehittämään digitaalista omavaraisuuttaan ja linjaamaan omaa teknologiapolitiikkaansa, ne ovat teknologiayhtiöiden ansaintalogiikan vietävissä. •

Standardoinnista, ja voivatko standardit parantaa johtamista



Standardoinnista

MAL:n jäsenille ajatus standardoinnista on todennäköisesti tuttu. Jokainen meistä käyttää standardeihin pohjautuvia tuotteita ja palveluita päivittäin. Myös useat prosessit, menetelmät, (laatu)mittarit ja mittaumenetelmät on standardoitu. Ilman standardeja jokapäiväinen elämämme olisi hankalaa, vaikkamme asiaa yleensä ajattele.

Kansainväliset standardointiorganisaatiot ISO (the International Organisation for Standardization), IEC (International Electrotechnical Commission) ja ITU (International Telecommunication Union) toteuttavat pääosan globaalien standardien kehittamisestä. Näistä suurimmalle ja laajimmalle eli ISO:lle kuuluvat tuotteiden ja palveluiden nykyiset noin 26 000 standardia, joita 830 komitean asiantuntijat 175 maasta kehittävät jatkuvasti. Uusien standardien lisäksi olemassa olevien standardien päivitystarve arvioidaan enintään 5 vuoden välein. Arvioitu standardi vahvistetaan uudeleen, päivitetään tai rautetaan. Standardointijärjestöt kehittävät standardeja myös yhteisissä komiteoissa esimerkiksi yhteiset ISO/IEC komiteat ja standar-

dit. Vuosiluku standardin jäljessä kertoo sen luomisen tai päivityksen ajankohdan, esimerkkinä ISO/IEC 38500:2024 (IT - Governance of IT for the organizations, julkaistu 2024). Euroopassa CEN vastaa ja täydentää ISO:a, Cenelec IEC:tä ja ETSI ITU:a. Kullakin maalla on lisäksi vastaavat kansalliset standardointiorganisaatiot. Suomessa ne ovat SFS Suomen standardit, Sesko sekä Liikenne- ja viestintäministeriö.

Nykyinen standardointi käynnistyi 1800-luvulla muuttuen vuosien aikana suuresti. Kansainväliset ja eurooppalaiset standardit ovat korvanneet viimeistään 2000-luvulla lähes kokonaan vielä jäljellä olevat Suomessa kehitetyt kansalliset standardit. Nykyään SFS vahvistaa pääsääntöisesti ISO ja CEN standardit kansallisiksi SFS standardeiksi. Kukin SFS:n standardiryhmä vastaa vastuualueellaan kansallisesti merkittävien standardien kääntämisestä Suomen kielelle. Esimerkiksi edellä mainittu ISO/IEC 38500:2008 on käännetty ja myös vuoden 2024 päivitys käännetään vuosina 2026–2027.

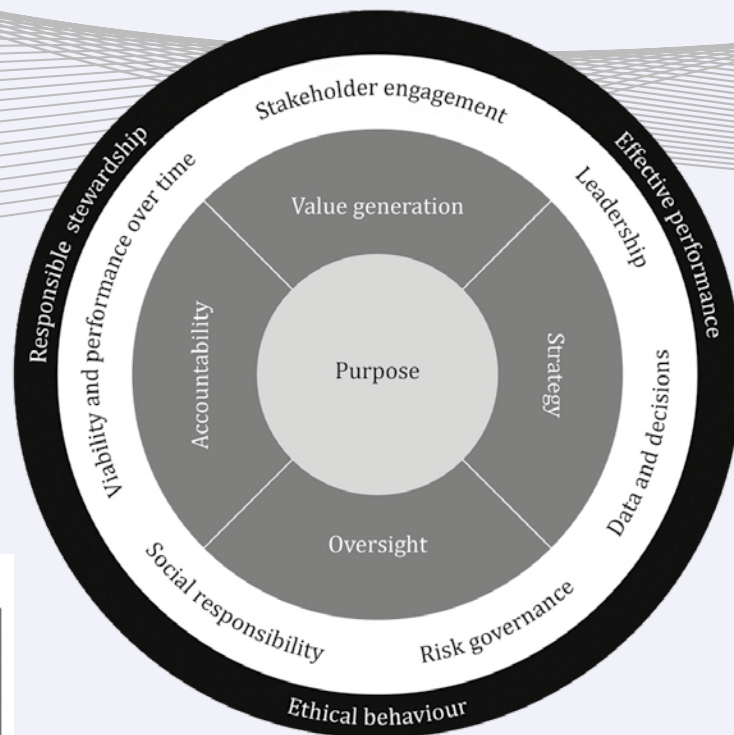
EU:ssa viime vuosien uusi käytäntö on EU-regulaation toteuttaminen kolmelle eurooppalaiselle standardointiorganisaatiolle annettavilla, hy-

vinkin yksityiskohtaisilla, standardointipyyntöillä eli SREQ:illa. Tuloksena syntyvät standardit nähdään lakien toteuttamisena velvoittavalla pehmeällä regulaatiolla. Osallistun EU:n ekosunnitteluasetusta toteuttavan digitaalisen tuotepassin, tieto ja tiedonhallinta-asetuksia toteuttavan datatalouden ja kyberturva-asetusta toteuttavan digitaalisten tuotteiden kyberturvallisuuden standardointiin CEN/Cenelecin yhteisissä komiteoissa. Regulaatioyhteys on voimakas, sillä standardoinnin ja EU-komission asiantuntijat keskusteleval jatkuvasti.

Viime vuosien muutosten vuoksi suomalaisten yritysten, julkisyhteisöjen ja kuluttajien toimintaan eniten vaikuttaviin standardeihin vaikuttamisen kansallinen merkitys on kasvanut. Standardeilla luodaan lainsäädäntöä täydentävät pelisäännöt alusta- ja datataloudelle, digitaalisille tuotteille ja palveluille sekä niiden kaupalle, tuotteiden perus-, ympäristövaikutus- ja kierrätettävyystiedoille, tekoälyn käytölle, älykille kaupungeille ja monille muille asioille. Mielestäni meillä on paljon parannettavaa Suomessa alkaen standardoinnin käsitteiden ja standardointiprosessien opettamisesta oppilaitoksissa ulottuen aina standardoinnin

Where the shades represent:

	Governance outcomes
	Primary governance principle
	Foundational governance principles
	Enabling governance principles



Kuva ISO 37000 governance of organizations standardin perheen perusstandardin 37001 periaatteista. Nämä ovat myös ISO/IEC 38500 standardin periaatteet IT governanceen sovellettuna. Kuvälähde: ISO 37001:2021.

strategisen ymmärtämiseen organisaation strategian osana sekä kansallisten prioriteettien asettamiseen standardointistrategian avulla.

Voivatko standardit parantaa johtamista?

Olen SFS/SR 308 (IT:n ja IT-palveluiden johtaminen) pitkäaikainen puheenjohtaja. Työmme kohteena on johtaminen. Vastausta varten johtaminen on jaettava päivittäiseen operatiiviseksi kutsuttuun johtamiseen ja ylimmän johdon strategiseksi kutsuttuun johtamiseen. Päivittaisen johtamisen avuksi on kehitetty suuri määrä "parhaita johtamisen käytäntöjä" kuvaavia standardisarjoja. Tunnetuimpia ja käytetyimpiä ovat ISO 9000 laadunhallinnan standardisarja, ISO 14000 ympäristöjohtamisen standardisarja ja ISO/IEC 27000 tietoturvallisuuden standardisarja. SFS/SR 308:n vastuualueella ISO/IEC 20000 IT-palveluhallinnan standardisarja kuuluu tähän joukkoon. Se kilpailee Euroopassa ja Suomessa ITIL IT-palveluhallinta menetelmän kanssa. Auditointipalveluksi kutsuttu liiketoiminta on syntynyt tällaisten johtamismenetelmällisten standardi-

sarjojen soveltamisen ja vaatimustenmukaisuuden arvioimiseksi.

Ylimmän johdon johtamistyön standardeissa lähestymistapa on toinen. Standardit ovat johtamista kuvaavia periaatestandardeja (principles based standards). Hyviä strategisen johtamisen periaatteita sekä operatiivisen johtamisen ohjaamista ja hallintaa kuvaavina ne eroavat merkittävästi operatiivisen johtamisen standardeista. Auditoinnin mahdollistamiseksi operatiivisen johtamisen standardit painottavat standardoidun menetelmän vaatimuksenmukaisuuden täyttämistä päivittäisessä johtamistyössä. Vaatimuksenmukaisuuden puuttuessa periaatestandardeista niiden auditointi ei ole mielekäästä. Periaatteiden toteutumista arvioidaan tyypillisimmin hallitusten ja johtoryhmien itsearvioinneilla osana organisaation johtamisjärjestelmän toimivuuden arviointia.

ISO 37000 (Governance of organizations) standardia kutsutaan hyvän hallintotavan (corporate governance) kuvaukseksi. Se sisältää 11 periaatetta tehokkaan, eettisen ja kestävä hallinnon ja ohjauksen toteuttamiseksi kaiken tyyppisissä ja kokoisissa organisaatioissa. Organisaation toiminnalla tulee olla tarkoitus

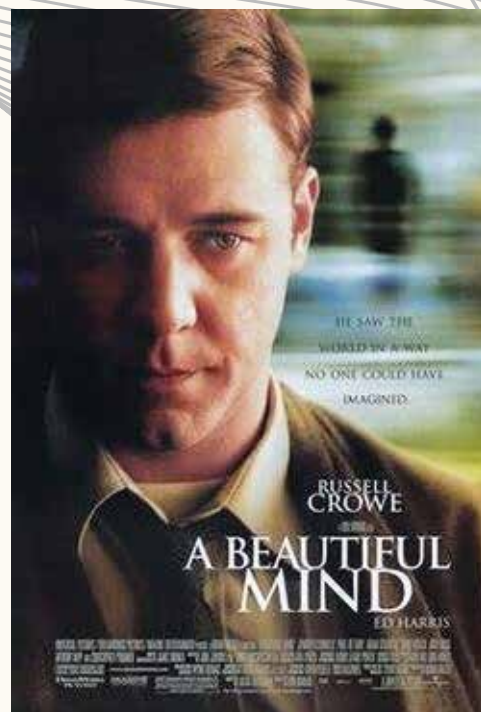
ja organisaatiolla tulee olla strategia ovat kaksi esimerkkiä periaatteista. Yllä mainittu ISO/IEC 38500 standardi soveltaa samat 11 periaatetta IT:n hallintaan ja ohjaukseen. Ajatuksena on, että IT governance on osa corporate governancea. ISO/IEC standardisarjan osia ovat 38505 data governance, 38506 ja 38507 governance of artificial intelligence, 35308 governance of (shared) service management systems ja 38509 governance of IT for digital inclusion. Mainituista standardeista 38505 on jo uusittu ISO 37000 periaatteiden mukaiseksi.

Standardoinnin kasvavan merkityksen vuoksi kannustan MAL:n jäseniä osallistumaan standardointiryhmiin, esimerkiksi ottamalla yhteys SFS:ään tai kommentoimalla julkisessa lausuntovaiheessa olevia standardeja SFS:n lausuntopalvelussa. •

Tomi Dahlberg on Turun kauppakorkeakoulun eläköitynyt professori alanaan tietojärjestelmätiede. Hän toimii asiantuntijana useissa standardointiryhmissä sekä hallitusammattilaisena.

Kaunis mieli

MAHTAVAA
MATEMATIIKKA



Kuten usein aiemminkin näissä MALin esittämis-
sä matemaatikkoelokuviissa, tosielämän henkilöitä ja
tapahtumia on muokattu elokuvallisuuden paranta-

Matemaatikkoelokuvallisesta näkökulmasta voi vielä huomauttaa, että Nashin merkittävyys puhtaasti matemaattikkona jää filmissä turhan epämääräiseksi. Tosiasiassa hänen tuloksensa sileistä monistoista ja osittaisdifferentiaaliyhtälöiden teoriasta olivat erittäin merkittäviä näiden tärkeiden alojen kehityksessä. Lisää tietoa Nashista ja hänen tieteellisestä työstään löytää nopeimmin lähtemällä Wikipedia-sivulta https://en.wikipedia.org/wiki/John_Forbes_Nash_Jr.



{MAL} 1-2026-24



Luonnontieteellinen pubivisa keräsi innokkaan yleisön

Tieteiden yön ohjelmaan kuulunut MAL:n järjestämä *Luonnontieteellinen pubivisa* täytti Ravintola Singin & Poren iloisella puheensorinalla. Paikalle saapui noin 50 osallistujaa, ja tunnelma oli alusta loppuun poikkeuksellisen innostunut.

Visa sisälsi 49 kysymystä, joista suurin osa oli neljän vaihtoehdon monivalintoja. Kysymykset vaihtelivat fysiikasta ja biologiasta aina yllättäviin tieteellisiin knoppitietoihin. Joukkueet kävivät tiukkaa mutta hyvätuulista kamppailua, ja oikeat vastaukset herättivät vuoroin riemunkiljahduksia ja helpotuksen huokauksia. Palkinnoksi jaettiin juomalippuja parhaiten pärjänneille joukkueille.

Tapahtuma osoitti, että tieteeseen pohjautuvat yhteisötapahtumat vetävät puoleensa aktiivista ja uteliasta yleisöä. Osallistujat olivat erityisen energisiä, mikä teki illasta sekä kilpailullisen että lämmينhenkisen. •

Esitykset Helsingissä, Oulussa ja Tampereella

Kaunis mieli esitettiin Helsingissä Orionissa yhdessä ja Oulussa elokuvateatteri Starissa kahdessa näytöksessä. Orioniin tuli viitisenkymmentä katsojaa, joista osa ehti jäädä myös mukavaan jälkikeskusteluun. Siinä aiheina pyörivät niin matematiikka kuin mielenterveyskysymyksetkin.

Oulun esityksissä oli kuusikymmentä katsojaa, joista hyvin suuri osa jäi jälkikeskusteluihin. Keskustelu alkoi Nashin varhaisesta tutkimustahdist, joka tuotti tutkimukset varsin nuorena - varsinkin väitöskirja syntyi nopean hyvin intensiivisen työskentelyn tuloksena. ”Nashin tasapaino” muotoutui jo tässä vaiheessa ja merkittäviä tieteellisiä tuloksia tuli tiiviiseen tahtiin.

Keskustelussa pohdittiin työskentelytahdin vaikutusta skitsofrenian puhkeamiseen. Katsojien joukossa ollut asiantuntija korosti taudin monitahoisuutta. Puolisonsa ja ystävien tuella Nash pääsi takaisin tutkimuksen pariin ja sai tunnustusta, josta suurimpana oli Nobel-palkinto yli 40 vuotta keskeisten sisällön kehittämisen jälkeen. Vuosien myötä teorian yleisyys on

vahvistunut. Oulun keskusteluissa edettiin jopa nykyisen maailmanpolitiikan pelien tarkasteluun. TEK ja Oulun Teknillinen Seura (OTS) tukivat merkittävästi Oulun esitysten markkinointia ja toteutusta.

MAL tarjosi matemaatikkolokuaillon nyt ensimmäistä kertaa myös Tampereella. *Kaunis mieli* esitettiin Arthouse Cinema Niagarassa keskiviikkona 11. helmikuuta, ja tilaisuuteen osallistui noin 30 henkilöä. Ennen elokuvaa ja sen jälkeen käytiin keskustelua matematiikasta, sen oppimisesta sekä itse elokuvasta. Vedettyä keskustelua elokuvan jälkeen ei järjestetty, mutta useampia osallistujia jäi vaihtamaan ajatuksia, erityisesti matematiikan oppimisesta aikuisiällä.

Kaiken kaikkiaan tilaisuus oli onnistunut. Tampereelakin oli selvästi kysyntää matematiikkaa koskevalle keskustelulle sekä mahdollisuudelle katsoa aiheeseen liittyviä elokuvia nimelliseen hintaan. Niagara-teatteri soveltui tapahtumaan erinomaisesti. Voimme siis käydä odottamaan MALin seuraavana matemaatikkolokuvailtaa Mahtavaa matematiikkaa-päivänä 5. marraskuuta 2026 Helsingissä ja viikkoa myöhemmin Oulussa! Myös Tampereella järjestetään esitys •

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.

Vitsit vähissä – mennäänkö matkimella?

Jos piilomatematiikko kaivetaan piilostaan ja häntä pyydetään sanomaan jotain hauskaa, niin tapahtuu usein kipsiin meneminen. Mitään ei tule mieleen. Tai tulee jotain, mutta moneen kertaan sanottua. Tai vitsi niin vanhaa vuosikertaa, että vaatii ympärilleen rutikuivan selityskerroksen.

Seuraa hätäntynyt introspektio: mikä meikäläistä ylipäättään huvittaa?

Thomas Hobbesin komiikan teoria lienee lajissaan vanhin, se on 1600-luvulta. Hobbesin mukaan se se vasta naurattaa, kun äkkiä huomaa toisen olevan itseä huonompi. Ettäkö ylimielisyys ihan naurattaisi? Häijyn Hobbesin tuntemuksiin en sentään pysty samaistumaan. Tai ehkä tätä ylimielisyyttä on sittenkin mukana, kun tyhmyys joskus naurattaa. Mutta naurattiko Hobbesia-kin myös silloin kun hän itse möhli?

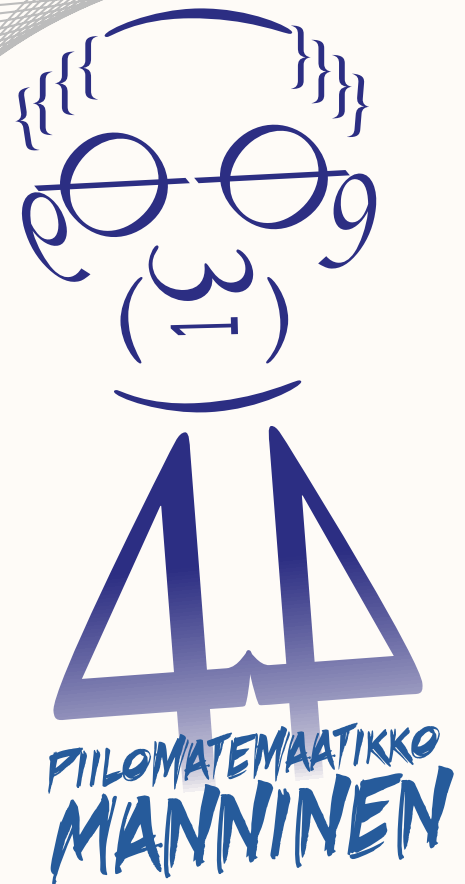
1700-luvulta alkaen on kehitelty teorioita, joiden mukaan koomisuutta koetaan, kun ensin on mieleen latautunut jonkin sortin energiaa, ja tämä varaus sitten yllättäen purkautuu niin hausalla tavalla että naurattaa. **Sigmund Freud** laati omasta tämäntapaisesta teoriastaan pienen kirjankin, nimeltään *Der Witz*.

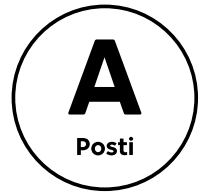
Tässä voisi olla jotain perää. Kuulukohan se matemaatikon oireyhtymään, kun tiiviys ja kiteytykset ihan sellaisenaan niin kovasti huvittavat meikäläistä? Säästetään pitkien pöpinöiden vaatimaa energiaa, kun jotain sanotaan aivan nappiin.

Matematiikassa on joitakin huippuesimerkkejä tästä. Ehkä paras on **Georg Cantorin** diagonaalargumentti,

joka osoittaa, ettei reaalilukuja voida luetella jonona. Jos voitaisiin, niin listataan välin $[0,1]$ luvut allekkain desimaalimuodossa ja vaihdetaan sitten ensimmäisessä ensimmäinen desimaali joksikin muuksi, toisessa toinen ja niin edespäin. Tarkastellaan sitten diagonaalille muodostunutta desimaalijonoa, joka tietenkin esittää jotain reaalilukua nollan ja yhden väliltä. Mutta tämä luku ei ollut listassa, koska se eroaa ensimmäisessä desimaalissa listan ensimmäisestä, toisessa toisesta jne. Ristiriita. Joukko-opin perustaja Cantor oli miettinyt tätä ongelmaa pitkään, ja ihmettelen jos ei häntä naurattanut ratkaisun hoksattuaan. Kaiken huipuksi saman argumentin muunnelmilla on todistettu paljon muutakin, sellaista käytti muun muassa **Kurt Gödel** kuuluisassa epätäydellisyyslauseessaan. En tiedä nauroiko Gödel, hän oli aika erikoinen kaveri.

Tekoälynkin huumorintajua voisi kokeilla. Tätä ovat monet tehneetkin, mutta minua ei jostain syystä huvita. Mitä vitsiä siinä on, jos hauskuutta joutuu hakemaan puppugeneraattorien Rolls Roycelta? Pohjana oleva neuroverkkojen teoria on kuitenkin suurenmoinen tieteen saavutus. Sinne johtavan polun jotkut, kuten Suomessa **Teuvo Kohonen**, vainusivat jo 60-luvulla. Nämä vehkeet oppivat jäljittelemään funktiota kuin funktiota. Siis matkimaan mitä vain. Matkimet ovat nyt tulleet jäädäkseen joka puolella, mutta ehkä tällainen nimike auttaisi edes vähän suhteellistamaan niitä suhteessa ihmisen älyyn ja huumorintajuun. •





Kuva: Unsplash

{ MEDIAKORTTI }

MAL-lehden julkaisija:

Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset ry

Puheenjohtaja:

Esko Juuso puheenjohtaja@mal-liitto.fi

Toimituskunta:

Suvi Lahdenmäki, päätoimittaja

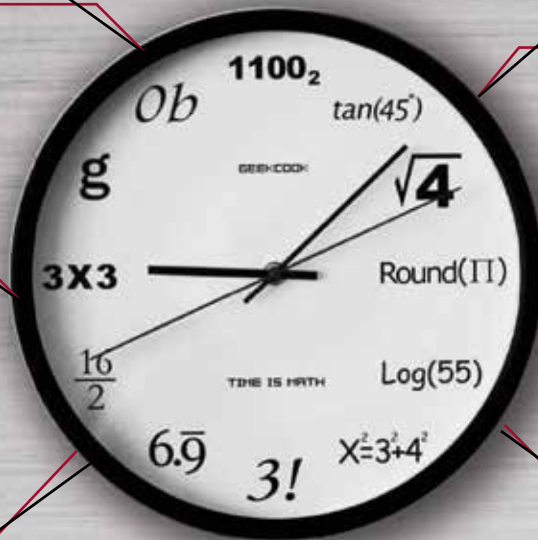
suvi.lahdenmaki@gmail.com

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:
18.5.2026

Formaatti: 220x280 mm

Taitto: Sivupainajainen Kirsi Pääskyyvuori

Paino: Copy-Set Oy, Helsinki

{MAL}

Ratavartijankatu 2, 00520 Helsinki

puh. (09) 229 121

www.mal-liitto.fi

toimisto@mal-liitto.fi