

NRO 1/2021

**FYSIIKAN JA MATEMATIIKAN AIKAKAUSILEHTI  
TIDSKRIFT FÖR FYSIK OCH MATEMATIK**

# **ARKHIMEDES**

**DRIVEN BY CURIOSITY:  
FROM HIGGS TO PANDEMICS**

**EPIDEMIAN MALLINNUS**

**KORONA JA MASKIT**

**ETÄOPETUKSEN HAASTEET**

### Julkaisijaseurat

Suomen Fyysikkoseura ry:

<https://www.fyysikkoseura.fi>

Fysikersamfundet i Finland rf:

<https://www.physics.helsinki.fi/~fysif/>

Suomen matemaattinen yhdistys ry:

<https://www.matemaattinenyhdistys.fi/>

### Valtuuskunta - Delegation

Suomen Fyysikkoseura ry: Kimmo Kainulainen,  
Emilia Kilpua ja Jukka Pekola.

Fysikersamfundet i Finland rf: Tomas Linden (vpj.)

Suomen matemaattinen yhdistys ry:

Mats Gyllenberg (pj.), Matti Lassas.

### Toimituskunta - Redaktion

KIMMO TUOMINEN, (HY), PÄÄTOIMITTAJA

SYLVESTER ERIKSSON-BIQUE, (OY)

THOMAS HACKMAN, (HY)

EMILIA KILPUA, (HY)

PEKKA KOSKINEN, (JY)

KATJA LAURI, (HY)

PETRI OLA, (HY)

NEEA PALOJÄRVI, (HY)

### Yhteystiedot

[toimitus@arkhimedes.fi](mailto:toimitus@arkhimedes.fi)

### PÄÄKIRJOITUS

IHMEELLISET VUODET ..... 3

### ARTIKKELIT

FROM HIGGS TO PANDEMICS..... 4

KORONAEPIDEMIAN MALLINNUKSESTA10

KORONAVIRUKSEN LEVIÄMINEN JA KAS-  
VOMASKIT..... 13

FYSIIKAN OPETUKSEN KEHITYSTYÖ AUT-  
TOI VASTAAMAAN KORONA-AJAN HAAS-  
TEISIIN..... 17

LUONNONTIETEEN NYT JA TULEVAISUUS  
-OHJELMA..... 28

### KOLUMNI

AKATEMIAN JALKAVÄKI ..... 32

### KIRJA-ARVIO

SILMÄYKSIÄ SUOMALAISEN MATEMAAT-  
TIS-LUONNONTIETEELLISEN TUTKIMUK-  
SEN HISTORIAAN..... 34

## PÄÄKIRJOITUS

Kimmo Tuominen

## IHMEELLISET VUODET

**Y**liopistot sulkivat ovensa, kaupunkeja ja alueita eristettiin, ihmisten liikkumista rajoitettiin. Jos mahdollista, siirryttiin maalle ja mökeille paikoin nopeasti leviävää epidemiaa. Woolsthorpen kartanossa Cambridgesta paennut Isaac Newton keskittyi luomaan perustan tuloksilleen differentiaalilaskennassa, optiikassa ja mekaniikassa.

Nämä vuosien 1665 ja 1666 tapahtumat vaikuttavat kovin tutuilta. Maaliskuussa 2020 yliopistot sulki-  
vat ovensa, tutkijat ja opettajat siirtyivät etätöihin ja opiskelijat etäopetukseen. Aiemmin toteutetut opetuksen digiloikat muuttuivat harjoitustöiksi, kun pakko ajoi jokaisen opettajan tositoimiin verkkoopetuksessa ja käyttämään meetin, zoomin tai teamsin tarjoamia mahdollisuuksia opetuksen järjestämisessä.

Tämän lehden sivuilla käsitellään korona-ajan opetusta ja kokemuksia opettajien näkökulmasta. Jutussa tarkastellaan myös, olisiko korona-ajan käytänteissä jotakin säilyttämisen arvoista myös normaalimman ajan toimiin.

Muissa lehden artikkeleissa tarkastellaan miksi hiukkasfyysikko kiinnostui epidemian mallintamisesta, koronatilanteeseen liittyvän mallintamisen

haasteita yleisemmin ja mallien vaikutuksista päätöksentekoon. Maskit puhuttivat korona-aikaan erityisesti, ja tätä käsitelläänkin yhdessä lehden artikkeleista.

Samaan aikaan Arkhimedeksessa on tapahtunut muutoksia. Tämän numeron myötä aloitan uutena päätoimittajana ja otan pestin mukanaan tuomat haasteet innolla vastaan. Kapulanvaihdossa erityinen kiitos kuuluu lehden edelliselle päätoimittajalle Tero Karjalaiselle.

Tämän numeron myötä Arkhimedes palaa tauon jälkeen lukijoiden käsiin ja ensi vuonna on odotettavissa neljä numeroa. Toimituskunnassa on tapahtunut myös muita muutoksia. Emilia Kilpua Helsingin yliopistosta ja Pekka Koskinen Jyväskylän yliopistosta aloittavat toimituskunnassa uusina Fyysikköseuran edustajina. Matemaattisen yhdistyksen osalta toimituskunta vahvistuu uusilla matemaatikkojäsenillä: Neea Palojärvi Helsingin yliopistosta ja Sylvester Eriksson-Bique Oulun yliopistosta. Kannattaa kuitenkin muistaa, että lehden sisältö näyttää ennen kaikkea aktiiviselta lukijakunnaltaan. Juttuja otetaan edelleen mielellään vastaan!

## FROM HIGGS TO PANDEMICS: DID CURIOSITY KILL THE CAT?

**Francesco Sannino**

*Professor, University of Southern Denmark*

### THE PROLOGUE

**B**y December 2019 the world was about to face, largely unprepared, one of the deadliest pandemic in human history. The pandemic exploded in the Wuhan region of China in December 2019 and many of us wrongly assumed that it would have been somehow contained. I was, in fact, planning a number of research trips including one for a lecture at MIT at Boston and a longer research visit at Yale University. About two decades ago, I had spent there three wonderful years as research fellow. Not only had I learnt so much from the colleagues and senior researchers at Yale but also learned about how to function as a fully independent researcher.

My journey started after returning to Denmark from a research visit in Napoli, Italy in mid-February 2020. Europe was about to become the primary target of the pandemic with its epicenter in northern Italy. As the situation was unfolding, we received a message from the University telling us that we had to postpone our research trips. Howe-

ver, nobody could tell us when we could travel again.

### THE STORY

It was then that I felt the urge to understand what was going on, and hopefully answer the question: When can we travel again?

Despite the well known idiom on how "curiosity killed the cat", I decided to give in to my own curiosity and use my theoretical physics bag of skills to make a dent in understanding the dynamics of the pandemic and its evolution.

Research is often more fun when it is shared with colleagues. I was very fortunate to start this endeavor with Michele della Morte, also a theoretical physicist. Michele is part of the center of excellence in theoretical physics of elementary particles and cosmology that I brought to life in 2009 in Denmark and which was financed, for a decade, by the



**The author** *Francesco Sannino earned two PhDs in theoretical physics, one from Syracuse University and the other from Federico II university, in 1997. Subsequently, he held a research fellow position at Yale university from 1997 to 2000. In 2000, he arrived in Copenhagen to assume the position as fellow in Nordita. After that, in 2004 he was awarded the Excellence Team Grant of the EU commission and established an independent research group at the Niels Bohr Institute as associate professor. In 2006 he became scientific associate at CERN, in Geneva and in 2007 became full professor at the University of Southern Denmark (SDU). At SDU he obtained a prestigious 10 years grant awarded by the Danish National Research Foundation to establish the Centre for Excellence in Cosmology and Particle Physics (CP3-Origins). He has also been the creator of the Danish Institute of Advanced Studies (DIAS). Currently, Francesco Sannino holds dual professorships at Federico II University in Napoli (Italy) and at SDU in Denmark. In Napoli, he is now building a research group consisting of young and eager researchers from theoretical physics to computer science for genetics and epidemiology. Francesco Sannino is also a chair in theoretical physics at the Scuola Superiore Meridionale in Napoli and at the Danish Institute for Advanced Study.*

*The CP3-Origins has been a platform for many Finnish students, postdocs and junior faculty members. In 2015 Sannino was invited as a foreign member to the Finnish Academy of Science and Letters. In 2018, he was elected foreign member of the Royal Danish Academy. Starting in 2022 he will also be an appointed distinguished visiting fellow of the prestigious T.D. Lee Institute (TDLI) in Shanghai.*



Danish National Research Foundation. Later on, I was immensely happy that one more colleague, Domenico Orlando from INFN, Torino in Italy, joined the team.

Given that our background was in high energy physics, and more specifically in Higgs physics, numerical simulations of the strong force and string theory, we had to start from scratch in epidemiology. It seemed

reasonable to begin our investigation with the data available on the World Health Organisation (WHO) website. We concentrated on the temporal evolution of the number of SARS-COV-2 infected people in China, Korea, Italy and other reported countries.

From the outset, we focused on the temporal evolution of the outbreaks in various

regions of the world. This was different from the bulk of other studies. Further, this allowed us to reduce as much as possible the inevitable biases that occur when focusing on restricted regions of the world. At the same time our global approach is better suited to reveal general patterns in the transmission and diffusion of the virus.

The typical S-shape behavior of the logistic function used to fit the data immediately reminded me of the dynamics of certain physical systems. This dynamic is controlled by symmetry principles such as approximate invariance of the short and large time cumulative number of infected individuals upon a time rescaling. These type of symmetry principles are the pillars on which the modern physics of fundamental interactions relies on, from the physics of the Higgs (discovered in 2012 at CERN ) to string theory. String theory was introduced to unify the theory of quantum gravity with the other forces discovered so far. We dubbed the approach Epidemic Renormalization Group (eRG)[1] in honor of the physicist Kenneth Wilson that revolutionized physics with the introduction of the RG approach. The latter is an extremely powerful tool. It is devised to encode the relevant degrees of freedom needed to describe a given physics problem at hand. It is further apt to capture rescaling symmetries via the appearance of fixed points in the theory.

An important step was to further link our work to established mathematical models [2]. We therefore constructed an explicit

map between our framework and classical epidemiological approaches. These use various versions of the Susceptible-Infected-Removed (SIR) type of models, which were introduced almost a century ago, and more precisely in 1927, by Kermack, McKendrick and Walker [3]. The crucial difference between SIR and the eRG is that the latter is devised to be more reliable on longer time scales than SIR.

To our surprise, not only did the approach prove efficient in describing and predicting the evolution and spread of the virus within a region of the world. Once generalized [4], it proved efficient in describing the diffusion across different regions of the world. This was work done in collaboration first with Giacomo Cacciapaglia, researcher at the CNRS in Lyon France, and later on also with Corentin Cot, PhD student at the University of Lyon. Since the beginning of August 2020, we predicted, by averaging through hundreds of simulations, that the second wave in Europe would take place between the end of August and the first months of 2021 [5]. Our simulations and forecasts were designed to prepare governments, industries and citizens of the various European states to take the relevant measures to avoid, delay and/or reduce the impact of the second pandemic wave. Because of the relevance of our results the work was selected by Nature for an international press release.

## THE EPILOGUE

Let us come back to the initial question: When can we travel again? Already from the first paper it became clear that rather than postponing I had to cancel the trips. More generally, our work has shown that the eRG framework efficiently captures the temporal evolution of the pandemic diffusion across the globe with just two relevant parameters per each region of the world.

My current interests regarding this novel line of research is in the following topics: understanding human behavior by, for example, combining Apple and Google data to investigate human mobility during a pandemic [7]; and learning about the genesis and evolution of virus variants [8], including the impact of vaccination strategies [9]. The latter results were achieved by marrying machine learning techniques to genome data with the epidemic Renormalisation Group framework. One of our recent discoveries is that each wave of the COVID-19 pandemic has been driven by a new and more aggressive variant [8,10]. Last but not least we wrote a review of our work and of general approaches to epidemiology that might be a useful introduction to this exciting research field [11]. In these more recent endeavors I have been immensely fortunate to learn from several new colleagues with deep expertise in different fields. These include Maria Óskarsdóttir and Anna Sigridur (Department of Computer Science, Reykjavík University in Iceland) in compu-

ter science, Francesco Conventi (University Federico II of Napoli in Italy) in experimental particle physics and Stefan Hohegger (University of Lyon in France) in string theory. Our research benefitted especially from the work of our super engaged junior collaborators Adele de Hoffer, master student at the Politecnico di Torino, and Shahram Vatani, doctoral student at the University of Lyon.

Overall our story is a clear example of highly interdisciplinary work that is key to human progress. Perhaps the idiom should be changed into *curiosity didn't kill the cat, it saved it*.

### Selected references

- [1] *Renormalization Group Approach to Pandemics: The COVID-19 Case*  
Della Morte Michele, Orlando Domenico, Sannino Francesco, *Frontiers in Physics*, 8, 2020, 144  
<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphy.2020.00144>  
DOI=10.3389/fphy.2020.00144
- [2] *Renormalisation Group approach to pandemics as a time-dependent SIR model*  
Michele Della Morte, Francesco Sannino  
*Frontiers in Physics*, vol. 8, 2021, 583
- [3] *A contribution to the mathematical theory of epidemics.*  
Kermack, W. O., McKendrick, A. & Walker, G. T.  
*Proc. R. Soc. A* 115, 700–721. <https://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118> (1927).

- [4] *Interplay of social distancing and border restrictions for pandemics via the epidemic renormalisation group framework*  
Giacomo Cacciapaglia & Francesco Sannino  
Scientific Reports, volume 10, Article number: 15828 (2020)
- [5] *Second wave COVID-19 pandemics in Europe: a temporal playbook*  
Giacomo Cacciapaglia, Corentin Cot & Francesco Sannino,  
Scientific Reports, volume 10, Article number: 15514 (2020)
- [6] *Calling for pan-European commitment for rapid and sustained reduction in SARS-CoV-2 infections*  
Viola Priesemann, Melanie M Brinkmann, Sandra Ciesek, Sarah Cuschieri  
Thomas Czypionka, Giulia Giordan, et al.  
The Lancet, volume 397, issue 10269, P92-93, January 09, 2021.
- [7] *Mining Google and Apple mobility data: temporal anatomy for COVID-19 social distancing*

- Corentin Cot, Giacomo Cacciapaglia & Francesco Sannino  
Scientific Reports, volume 11, Article number: 4150 (2021)
- [8] *Epidemiological theory of virus variants*  
Giacomo Cacciapaglia, Corentin Cot, Adele de Hoffer, Stefan Hohenegger, Francesco Sannino, Shahram Vatani  
<https://arxiv.org/abs/2106.14982>
- [9] *Impact of US vaccination strategy on COVID-19 wave dynamics*  
Corentin Cot, Giacomo Cacciapaglia, Anna Sigridur Islind, María Óskarsdóttir & Francesco Sannino  
Scientific Reports, volume 11, Article number: 10960 (2021)
- [10] *Variant-driven multi-wave pattern of COVID-19 via Machine Learning clustering of spike protein mutations*  
Adele de Hoffer, Shahram Vatani, Corentin Cot, Giacomo Cacciapaglia, Francesco Conventi, Antonio Giannini, Stefan Hohenegger, Francesco Sannino  
<https://arxiv.org/abs/2107.10115>
-



# KORONAEPIDEMIAN MALLINNUKSESTA



Janne Solanpää

**K**oronaepidemian mallinnus on ollut otsikoissa puolitoista vuotta. Pahimmillaan mallinnukset ovat menneet aivan metsään: Koronan piti olla riesanamme puolisen vuotta, olla lähinnä vanhuksille vaarallinen, ja kausivaihtelun sekä rokotusten piti saada epidemia taltutettua viimeistään kesäksi 2021. Parhaimmillaan mallinnukset ovat tarjonneet varoittavia signaaleja epidemian kiihtymisestä jo kuukausia ennen varsinaisia kriisitilanteita, antaneet tarkan kuvan koronaepidemian vaarallisuudesta sekä luoneet informaatiota päättäjien tueksi.

Suomen koronaepidemian mallinnus mahdollistui heti alkuvuonna 2020, kun Terveysten ja hyvinvoinnin laitos (THL) alkoi julkaista dataa havaituista koronatartunnoista. Alkuvaiheessa data julkaistiin THL:n verkkosivuilla, josta sen sai käsipelillä poimitua talteen. Myöhemmin THL alkoi tarjoamaan tartuntatautirekisterin dataa suoraan koneluettavan rajapinnan kautta. Muutamat tahot julkaisevat julkisesti Suomen koronaepidemian mallinnusten tuloksia: THL:n mallinnuksia julkaistaan epäsäännöllisesti, epidemia.fi-sivustolla pyörii päivittäin päivittyvä malli ja esimerkiksi Kausal Oyn Reina-mallia on pystynyt ajamaan verkkokäyttöliittymän kautta.

Mallinnus tuottaa tulkintaa menneestä koronatilanteesta sekä ennusteita tilanteen kehittymisestä erilaisten datalähteiden pohjal-

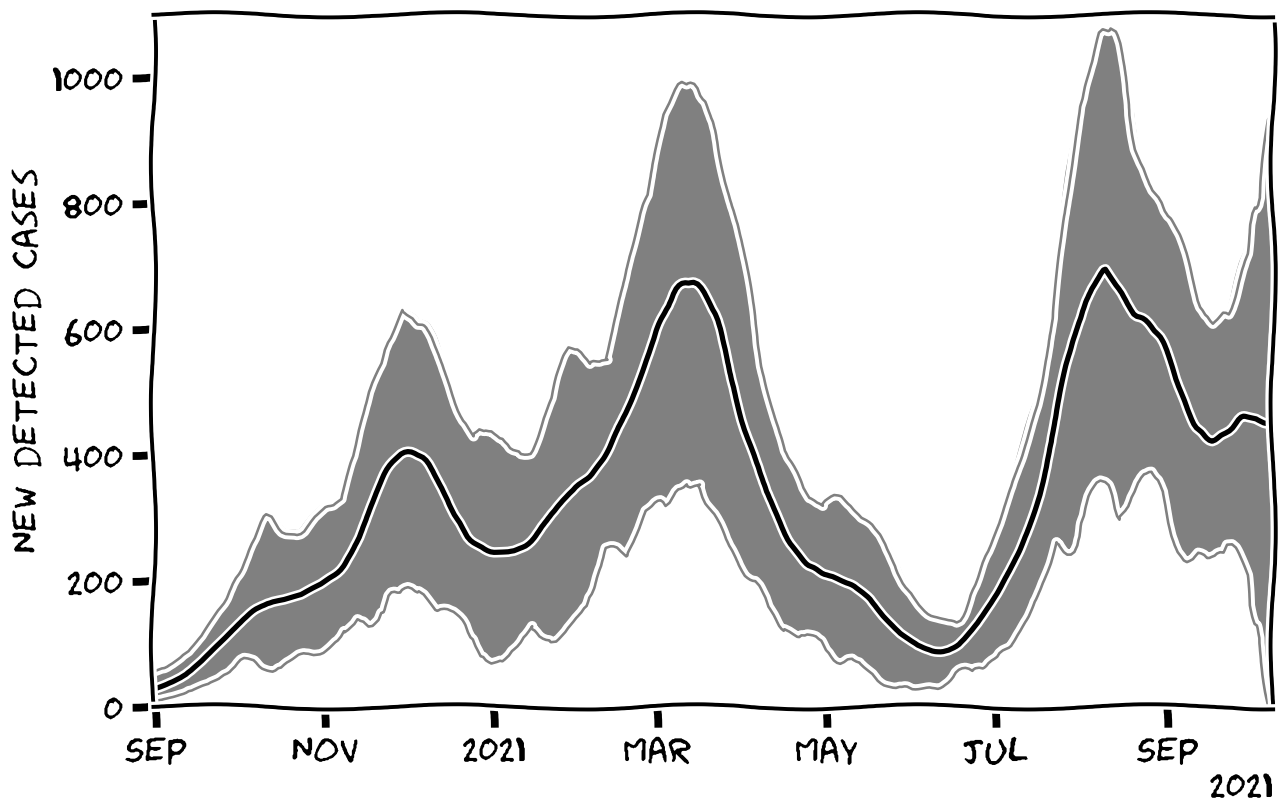
ta. Syötteistä tärkein on tartuntojen kokonaismäärä, joka saadaan vain huolellisella väestön testaamisella. Lisäksi mallista riippuen sille voidaan syöttää esimerkiksi koronaviruksen vasta-aineiden esiintyvyyttä väestössä, sairaanhoidossa olevien koronapotilaiden määrä, koronakuolleisuus, väestön ikä- ja kohtaamistilastoja sekä esimerkiksi teleoperaattoreiden liikkuvuusdataa. Havaittujen tartuntojen määrä on erinomainen syöte, sillä se seuraa liki reaaliaikaisesti todellista epidemian tilaa, kun puolestaan sairaanhoidon tarve kuvaa epidemiaa puolisentoista viikkoa menneisyydessä ja kuolleisuusdata laahaa noin kuukauden epidemiatilannetta jäljessä. Parhaimmillaan mallinnuksen tuloksena saadaan kuitenkin kattava kuva lähitulevaisuuden epidemiatilanteesta: arvio todellisesta koronatartuntojen

määrästä, sairaanhoidon tarpeesta sekä koronakuolleisuudesta.

Liki kaikki koronaepidemian mallit jakavat yksilön tilan neljään kategoriaan: terve, sairastunut muttei tartuttava, tartuttava ja parantunut/menehtynyt. Nykyhetkellä mallit jakavat edellämainitut tilat vielä rokotusstatuksen mukaan. Karkeimmat mallit kuvaavat epidemian kehittymistä keskeiskenttämallilla, jossa väestöä käsitellään yhtenäisenä joukkona. Mallin yksityiskohtaisuutta voidaan lisätä ikä- ja aluepohjaisilla jaotelluilla, ja mikrotasolla voidaan jopa mallintaa epidemian leviämistä yksittäisten henkilöiden välisten kontaktien kautta. Dynamiikkaa kuvaa (mahdollisesti stokastinen) differentiaali- tai differenssiyhtälö, joka ratkaistaan numeerisesti. Sen sijaan viranomaistyönä dynamiikkaa voidaan ilmeisesti mallintaa myös suoransovituksella logaritmisella asteikolla.

Mallien ennusteiden osuvuuteen vaikuttavat käytännössä (1) mallin tarkkuus, (2) arvio nykyisestä epidemiatilanteesta, (3) henkilöiden kontaktien mallinnuksen tarkkuus, (4) arviot tulevista rajoitus- ja suojatoimista sekä (5) väestön käyttäytymisvaste epidemiatilanteeseen (ts. rajoittavatko ihmiset toimintaansa epidemiatilanteen pahentumissa). Näiden tekijöiden epävarmuudet tekevät ennusteiden kvantitatiivisista arvioista epävarmoja muutaman viikon jälkeen. Tosin, jos mallinnuksen tavoitteena on havainnollistaa mahdollisia skenaarioita, ei mallien epävarmuus ole niin kriittistä.

Skenaariomallinnuksessa kuitenkin arviot rajoitusten ja suojatoimien (”interventiot”) vaikutuksista ovat kriittisiä tulosten luotettavuuden kannalta. Erilaisten interventioiden tehoa epidemian hallinnassa onkin arvioitu useissa kymmenissä tutkimuksissa, ja interventioiden mallintaminen luo päättäjille arvokasta informaatiota poliittisten rajoit-



tuspäätösten ja suositusten vaikutuksista epidemiatilanteeseen. Usein interventioiden vaikutusta arvioidaan sovittamalla parametrisoituja malleja lukuisten eri maiden rajoitukseen ja epidemioiden kehittymiseen.

Interventioiden vaikutusarviot ovat usein kuitenkin epävarmoja, sillä ne voivat olla malliriippuvaisia ja mahdolliset huomiotta jääneet tekijät vääristävät niitä. Lisäksi interventioiden teho ei ole ajallisesti vakio, vaan teho muuttuu julkisen keskustelun, turnausväsymyksen ja ihmisten henkilökohtaisten riskiarvioiden mukaan. Epävarmuuksista huolimatta interventioiden vaikutusarvioita käytetään mielellään epidemiaskenaarioiden mallinnuksessa. Lisäksi oman epävarmuutensa mallintamiseen tuovat poliitikkojen ja virkamiesten luomat skenaarit. Esimerkiksi kokoontumisrajoitukseen tyypillisesti sisällytetään vaatimus, että ihmisten välille on *mahdollista* jättää turvaväli. Sen sijaan turvavälien *toteutuminen* ei

ole vaatimuksena. Näin suuri epävarmuus mallinnusskenaarion määrittelyssä hankaloittaa etukäteen tehtäviä arvioita päätösten vaikutuksista epidemiatilanteeseen.

Syksyllä 2021 epidemian etenemisen mallintaminen on huomattavasti helpottunut aikaisemmasta. Enää ei ole useaa mallinnettavaa virusvarianttia, vaan kaikki on käytännössä deltaa. Rokotuskattavuus on hieman yli 70 %, ja sen kasvu on hidastunut. Tekstin kirjoitushetkellä rajoitukset on pääosin poistettu, eikä uusia ole näköpiirissä. Datan perusteella koronaepidemia ei kuitenkaan ole vielä ohi. Tämän artikkelin kirjoitushetkellä tapausmäärät ovat kasvussa, ja sairaala- ja tehohoidon tarve alkaa olla samaa suuruusluokkaa kuin keväällä 2021. Mikään malli ei viittaa epidemian laantuvan lähikuukausina, mutta ne eivät toki sisällä ”pääministeriparametria”, joten mahdollisuudet ovat vielä avoimina.

---

**Kirjoittaja** *Janne Solanpää on laskennallisen fysiikan alan tekniikan tohtori. Hänen tutkimuksensa keskittyy laskennallisten menetelmien kehittämiseen ja soveltamiseen mm. fysiikan, lääketieteen ja terveystieteiden aloilla. Hän toimii nykyään teollisuudessa tutkimus- ja tuotekehitystehtävissä (data scientist), missä hän on viime aikoina tutkinut ihmisten terveydentilan ja hyvinvoinnin arviointia fysiologisten signaalien pohjalta. Lisäksi Solanpää tekee konsultaationa monenlaisia laskennallisia analyysjä mm. koronapandemiaan liittyen.*

# KORONAVIRUKSEN LEVIÄMINEN JA KASVOMASKIT

**Kaarle Hämeri,**

*Helsingin yliopiston kansleri, aerosolifysiikan professori*

**M**aailma on kärsinyt koronaviruksen, tarkemmin sanottuna Covid-19 tai vielä tarkemmin SARS-CoV-2 -viruksen aiheuttamasta pandemiasta vuoden 2020 alkupuolelta lähtien. Pandemia ymmärrettiin pian vaaralliseksi ja tutkijayhteisöissä aloitettiin nopeasti monenlaiset tutkimukset viruksen leviämiseen, tartunnan aiheutumiseen, sairastumiseen ja hoitamiseen liittyen. Tämän lisäksi tutkimuksia on tehty myös suojautumisen ymmärtämiseksi ja sitä kautta oikeiden suositusten antamiseksi. Monia tutkimuksia on saatu tehdyksi ja raportoiduksi nopeassa tahdissa. Tiedon ja ymmärryksen lisääntymistä on luonnollisesti nopeuttanut eri aloilla toimivien tutkijoiden aiemmat tutkimukset ja niistä syntynyt osaaminen. Viruksia, leviämistä, sairastumisia ja niihin liittyvää suojautumista on tutkittu aiemminkin, vaikkei tietenkään juuri tähän uuteen virukseen liittyen.

Virusten leviämisen tyypilliset reitit tiedetään ennestään ja Covid-19 -viruksen osalta tilanne on suurelta osin samanlainen. Virus leviää tilanteissa, joissa tartunnan saanut

henkilö uloshengittää pisaroita ja hyvin pieniä hiukkasia, joissa on mukana viruksia. Tutkijat kutsuvat näitä pieniä hiukkasia aerosolihiukkasiksi. Raja aerosolihiukkasten ja suurempien pisaroiden välillä ei ole täsmällinen, mutta ajatuksena on, että isot pisarat putoavat nopeasti, kun taas aerosolihiukkaset jäävät leijumaan ilmaan pitkiksi ajoiksi. Isoille pisaroille on myös mahdollista ballistiset törmäykset pinnoille tilanteissa, joissa pisarat lentävät esimerkiksi aivastuksen aiheuttamalla alkunopeudella. Aerosolihiukkaset vastaavasti relaxoituvat nopeasti ilmassa ja liikkuvat ilmavirtauksia seuraten. Karkea raja pisaroiden ja aerosolihiukkasten halkaisijoiden välillä on noin 100  $\mu\text{m}$ .

Pisarat ja aerosolihiukkaset joutuvat muiden ihmisten hengitykseen tai ne voivat laskeutua silmiin, nenään tai suuhun. Joissain tapauksissa ne voivat kontaminoida pintoja, joita ihmiset koskettelevat. Nyrkkisääntönä monissa maissa pidetään noin kahden metrin rajaa, jota lähempänä virus tartunnat ovat todennäköisiä, vaikka heikos-

ti tuulettuvissa sisätiloissa aerosolihiukkas-  
ten pitoisuudet saattavat olla suuria kauem-  
panakin.

Covid-19 -virus tarttuu pääsääntöisesti  
kolmella tavalla:

- Hengittämällä ilmaa sairaan ihmisen lähellä ja saamalla aerosolimuodossa esiintyviä viruksia hengityselimistöön.
- Saamalla viruksia sisältäviä pisaroita ja hiukkasia silmiin, nenään tai suuhun. Tämä tapahtuu erityisesti sairaan henkilön aivastusten ja yskimisen johdosta.
- Koskettelemalla silmiä, nenää tai suuta käsillä, joissa on viruksia.

## SUOJAUTUMINEN

Covid-19 -virukselta suojautuminen tapah-  
tuu samoilla keinoilla kuin muiltakin tarttu-  
vilta taudeilta suojautuminen. Suojautumi-  
sen tärkein tapa on rokotusten ottaminen.  
Rokotus suojaa itseä ja sen kautta myös  
muita ihmisiä ympärillä. Riittävällä rokote-  
kattavuudella saavutetaan tilanne, jossa tart-  
tuva tauti ei pääse leviämään epidemian tai  
pandemian tavoin.

Suojautumista voi tehdä tai parantaa myös  
muilla keinoin. Yhteiskunnassa tärkeim-  
miksi keinoiksi on otettu kasvomaskien  
käyttö, etäisyyden pitäminen muihin ihmi-  
siin, suurten väkijoukkojen välttäminen,  
pysyttely poissa huonosti tuulettuvista sisä-  
tiloista, käsien pesu sekä yskimisen ja ai-  
vastuksen tekeminen muita suojaten. Tilan-  
ne on pandemian aikana muodostunut kui-  
tenkin kansalaisten kannalta hankalaksi,

kun eri viranomaisilta ja muilta toimijoilta  
on tullut erilaista ohjeistusta, joka näin jäl-  
keen päin ajatellen ei aina ole perustunut  
tutkittuun tietoon.

Eräs merkittävimmistä tapahtumista oli  
Maailman terveysjärjestön WHO:n twitter-  
postaus maaliskuun 28. päivä 2020. Tuol-  
loin WHO julkaisi tiedotteen tunnisteella  
”#COVID-19 is NOT airborne” väittäen,  
että virus ei esiinny aerosolimuodossa ja  
tästä johdosta virus ei viivy ilmassa pitkiä  
aikoja.

Aerosolitutkijoiden oli vaikea argumentoida  
tilanteessa, sillä tässä oli kyseessä tyypilli-  
nen monitieteinen kysymys. Aerosolitutki-  
mus pystyy kyllä nopeasti antamaan täsmäl-  
lisiä vastauksia eri tiloissa esiintyvistä aero-  
soleista, niiden käyttäytymisestä ja ihmisten  
altistumisesta hiukkasille. Tämän lisäksi  
tarvitaan kuitenkin tietoa virusten esiinty-  
misestä aerosolihiukkasissa: minkä kokoi-  
sissa hiukkasissa viruksia esiintyy ja kuinka  
paljon, mitkä ovat kriittiset altistumiset ja  
annokset, joilla virus aiheuttaa tartunnan ja  
sairastumisen. Näiden kysymysten selvit-  
täminen alkoi luonnollisesti heti, mutta kes-  
tää aikansa ennen kuin tulokset valmistuvat,  
tutkimukset vertaisarvioidaan ja julkaistaan  
sekä ennen kaikkea ennen kuin tietoisuus  
saavuttaa viranomaiset, median ja lopulta  
kansalaiset. Prosessia pyrittiin toki kiireh-  
timään akuutin pandemian levitessä mm.  
julkaisemalla tuloksia mediassa jo ennen  
tieteellisen julkaisun valmistumista.



Nykytiedon mukaan on todennäköistä, että Covid-19 -viruksen pääasiallinen leviäminen, altistus ja tartunnat tapahtuvat nimenomaan aerosolimuodossa ja niinpä torjuntakeinoissa ja -suosituksissa on keskitytty tähän lähtökohtaan. Sittemmin myös WHO ja muut tahot ovat tunnistanee aerosolien merkityksen taudin leviämisessä ja muuttaneet suosituksiaan.

Aerosolien mukana tapahtuvan leviämisen ymmärtäminen on selittänyt myös monia laajoja sairastumisia, kuten tilanteet Musiikkitalossa keväällä 2020 tai Wuhanin sairaaloissa alkuvuodesta 2020.

### **KASVOMASKIT SUOJAUSKEINONA**

Kasvomaskin käyttösuositukset perustuvat ajatukseen estää viruksen kulkeutuminen hengityksen mukana maskia käyttävän henkilön elimistöön. Toisin päin ajateltuna maski estää myös tartunnan saaneen henkilön hengityksestä, aivastuksista tai yskimisestä aiheutuvaa viruksen leviämistä ympäristöön. Tehokkainta maskin suojaus onkin, kun sekä tartunnan lähde että kohde suojautuvat samanaikaisesti.

Maskin käyttö on luonnollisesti tärkeintä tilanteissa, joissa viruspitoisuudet ovat korkeita. Tämä tapahtuu ensisijaisesti sisätiloissa, joissa tilan koko on pieni ja ihmismäärät suuria. Ulkotiloissa viruspitoisuudet laimenevat nopeasti ilmavirtausten johdosta ja kasvomaskia ei tarvitse tyypillisesti käyttää. Keskeisiä tiloja, joissa maskin käyttö on suositeltavaa ovat esimerkiksi

joukkoliikennevälineet, asemat ja odotustilat, joissa ihmisiä on paljon ja lisäksi he tulevat monista eri ihmisjoukoista levittäen siten tartuntoja laajalle.

### **KASVOMASKIN TOIMINTA**

Kasvomaskit toimivat kuten mitkä tahansa suodattimet ja niiden fysikaaliset toimintaperiaatteet ovat hyvin tiedossa. Maskien suodatusta ajatellen, on tärkeä ymmärtää, että suodatettavat aerosoli-hiukkaset ovat halkaisijaltaan hyvin paljon pienempiä kuin suodattimien raot. Suodatus ei siis tapahdu sen johdosta, etteivätkö hiukkaset mahtuisi läpi. Suodatus perustuukin ensisijaisesti kahteen fysikaaliseen ilmiöön: massan hitaudesta seuraavaan impaktioon ja pienimpien hiukkasten diffuusioon. Ilmavirtauksen kulkiessa suodatusmateriaalin läpi, ilma joutuu mutkaiseen liikkeeseen. Mutkissa eivät suuremmat hiukkaset eivät pysty seuraamaan virtausta, vaan törmäävät suodatusmateriaaliin ja tarttuvat kiinni. Impaktio on merkittäväintä halkaisijaltaan noin yhden  $\mu\text{m}$ :n kokoisille ja suuremmille hiukkasille. Aivan pienimmille hiukkasille keskeinen ilmiö on Brownin liikkeeseen perustuva diffuusio, joka liikuttaa hiukkasia pois virtauksesta ja aika ajoin aiheuttaa törmäyksiä suodatusmateriaaliin. Tämä ilmiö on tärkein halkaisijaltaan noin  $0,1 \mu\text{m}$ :n ja sitä pienemmille hiukkasille. Hiukkaset voivat tarttua suodatusmateriaaliin myös kun ilmavirtaus kulkee hyvin läheltä materiaalia. Kaikkien fysikaalisten mekanismien yhteisvaikutuksena suodatin, tässä tapauksessa kasvomaski, suodattaa eri mekanismein kaiken

kokoisia hiukkasia. Paremmat suodattimet suuremmalla keräystehokkuudella ja huonommat pienemmällä.

Euroopan unionissa kasvomaskeja luokitellaan FFP-luokilla. Muilla alueilla on muita järjestelmiä ja vastaavuuksista löytyy tietoa helposti. Tyypilliset myynissä olevat maskit ovat luokissa FFP1, FFP2 ja FFP3, suuremman numeron viitatessa parempaan. Maskien luokittelussa kiinnitetään huomio ensisijaisesti kokonaissuodatustehokkuuteen (rajoina 80 %, 94 % ja 99 % maskiluokan mukaan) sekä vuodon osuuteen (25 %, 11 % ja 5 % vastaavasti). Hyvin merkittävää on siis maskin istuvuus kasvoille ja reunojen tiiviys. Ilma tulee sieltä mistä sen on helpointa tulla ja altistus suurenee oleellisesti, jos maski ei istu kunnolla. Tyypillinen suositeltu maski on luokkaa FFP2 ja tätä vastaa esim. Yhdysvalloissa luokka N95. Joissain maskeissa on uloshengitystä helpottava venttiili. Tällöin uloshengittyvää ilmaa ei suodateta eikä kyseisiä maskityyppejä suositella tarttuvilta taudeilta suojautumistarkoituksiin.

Varsinaisten hengityssuojainten lisäksi torjunnassa käytetään paljon kirurgisia suu- ja nenäsuojuksia. Näiden osalta suodatustehokkuus on selvästi suojaimia heikompi

johtuen jo niiden huomattavasti huonommasta istuvuudesta kasvoilla (suodatustehokkuuksia on raportoitu laajalla välillä 30-70 %). Suojusten ensisijainen käyttötarkoitus onkin estää yskimisessä ja aivastuksissa syntyvien pisaroiden leviäminen ympäristöön. Jos sekä tartunnanlähde että -kohde käyttävät suojainta, altistus vähenee kuitenkin jonkin verran ja väestön mittakaavassa suojaimet auttavat vähentämään tartuntoja.

Kaikkein heikoimmin suojaavat kangasmaskit, joita ei ole tehty hiukkasten suodattamiseen tarkoitettua materiaalista. Niiden käytöllä voi jopa olla negatiivisia vaikutuksia, jos ne antavat aiheetta turvallisuuden tunteen ja vähentävät muiden suojausmenetelmien käyttöä.

#### Viitteitä:

<https://cen.acs.org/biological-chemistry/infectious-disease/Aerosol-expert-Jose-Luis-Jimenez/99/i1>

<https://science.sciencemag.org/content/368/6498/1422>

<https://science.sciencemag.org/content/372/6549/1439/tab-pdf>

<https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.abc6197>

---

# FYSIIKAN OPETUKSEN KEHITYSTYÖ AUTTOI VASTAAMAAN KORONA-AJAN HAASTEISIIN

Lasse Heikkinen, *Itä-Suomen yliopisto*

Inkeri Kontro, *Helsingin yliopisto*

Pekka Koskinen, *Jyväskylän yliopisto*

Jussi Maunuksela, *Jyväskylän yliopisto*

Markku Saarelainen, *Itä-Suomen yliopisto*

Kimmo Tuominen, *Helsingin yliopisto*

**S**uomessa fysiikan yliopisto-opetuksen kehittämisellä on pitkät perinteet ja opetus on kansainvälisesti tarkasteltuna varsin edistyksellistä. Kehittämiskokemus ja yliopistojen panostus digiloikkaan tulivatkin akuuttiin tarpeeseen, kun koronapandemia vaati nopeita muutoksia opetuksen ja arvioinnin käytänteisiin. Keskustelemme tässä artikkelissa jo ennen poikkeusaikaa kehitetyistä opetusmenetelmistä ja niiden soveltuvuudesta korona-ajan opetukseen. Lisäksi käsittelemme muutoksia, joita korona-aika on tuonut opetuksen käytänteisiin ja pohdimme, onko osa näistä tullut jäädäkseen.

## KORONA JA PERINTEINEN OPETUS

Perinteisin menetelmä opettaa fysiikkaa perustuu kolmeen kulmakiveen: luennointiin, laskuharjoitusten pitämiseen ja osaamisen arviointiin tenteillä. Kuitenkin tutkimusten mukaan menetelmä sopii heikosti oppimisen edistämiseen ja osaamistulosten saavuttamiseen [1]. Korona-aikana menetelmä kaatui käytännön mahdottomuuksiin: kaikki kolme kulmakiveä edellyttävät läsnäoloa. Luennoinnin ja harjoitustilaisuuksien pedagoginen idea pohjautuu läsnäolon

lisäksi vahvaan vuorovaikutukseen. Korona poisti maan kulmakivien alta.

Useimmilla kursseilla luennot siirrettiin suoraan etäluennoiksi Zoomiin tai Teamsiin. Osa opiskelijoista piti järjestelystä ja hyötyi luentotallenteista, joita on yleensäkin alettu vaatia enemmän. Etäluennointi kuitenkin vähensi opiskelijoiden sitoutumista opetukseen. Osalla tallenteisiin turvautuminen myös horjutti arjen opiskelurytmiä. Vaikka etäluennotkin toteuttivat luennon funktiota, monet opettajat kokivat ne puuttaviksi; vuorovaikutus oli nihkeää, kun

kameroita pidettiin pois päältä (Kuva 1). Kynnys kysymysten esittämiseen ja niihin vastaamiseen osoittautui korkeaksi verkosakin. Poikkeuksiakin löytyi. Osalla kursseista etäluennointi toimi hyvin ja chat mahdollisti kynnystä kysyä. Jotkut luennoitsijat kokivat etäluennoinnin jopa lisännen vuorovaikutusta.

Laskuharjoitustilaisuudet kärsivät etäopetuksesta merkittävästi, sillä tyypillisesti ne perustuvat opiskelijoiden esityksille ja selityksille laskutehtävistä. Vuorovaikutus on keskeissä roolissa. Laskuharjoitusta toteutettiin korona-aikana erilaisilla, vaihtelevasti onnistuneilla malleilla, joista keskustelemme tuonnempana.

Periaatteellisesti hankalinta oli kuitenkin tenttien järjestäminen. Tenttitilaisuuden tulisi olla valvottu, kontrolloitu ja kaikille tasavertainen tilaisuus. Nämä periaatteet olivat vaikeita toteuttaa etänä ja toteutuksia oli moneen lähtöön. Oli kymmenen tunnin

massiivisia etätenttejä. Oli perinteisempiä viikon mittaisia kotitenttejä, periaatteessa erikoisasemassa olevia harjoitustehtäviä. Oli perinteisempiä muutaman tunnin aika-aulutettuja etätenttejä, osa niistä nettikameralla valvottuja. Tosin myöhemmin nettikameravalvonnan tulkittiin loukkaavan opiskelijan kotirauhaa ja perusoikeuksia.

Yhteistä näille toteutuksille on valvonnan vaikeus. Vaikka terve luottamus on hyvä lähtökohta, haasteet lisääntyvät tenttien painoarvon kasvaessa. Useissa toteutuksissa vilppi voi olla niin helppoa, että opiskelijan saattoi olla vaikeaa jopa tunnistaa sitä. Epävarmuutta saattoi olla sallitun tiedonhaun rajoista. Tämä osaltaan lisäsi tenttitilanteen stressaavuutta. Pitkät kotitentit kuormittivat, mikäli samalle viikolle osui muitakin tenttejä, projekteja tai raporttien aikarajoja — ja yleensä näitä osui. Lisäksi soveltavien kotitenttien laadinta oli monelle opettajalle uutta, joten tenttien tasoissa saattoi tapahtua ali- tai ylilyöntejä. Tosin sovelta-

The image shows a Zoom meeting interface. On the left, a PowerPoint slide titled "Ympyräliikkeen kinematiikkaa" (Circular Motion Kinematics) is displayed. The slide contains the following text and equations:

- Koska  $\varphi = \frac{s}{r}$  ja  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ ,
- $$\omega = \frac{d}{dt} \left( \frac{s}{r} \right) = \frac{1}{r} \frac{ds}{dt} = \frac{v}{r}$$
- eli  $\omega = \frac{v}{r}$  (highlighted in a red box)

On the right side of the Zoom window, a list of participants is visible: Sandra (with a video thumbnail), johanna, Pekka, Aatami, and Tuisku.

Kuva 1: Korona-ajan etäluennointia kasvottomalle opiskelijajoukolle.

vat, verkkoa ja lähdemateriaaleja avoimesti hyödyntävät tentit saivat myös kiitosta, sillä opiskelijat kokivat ne opettavaisempina ja paremmin työelämätaitoja vastaavina.

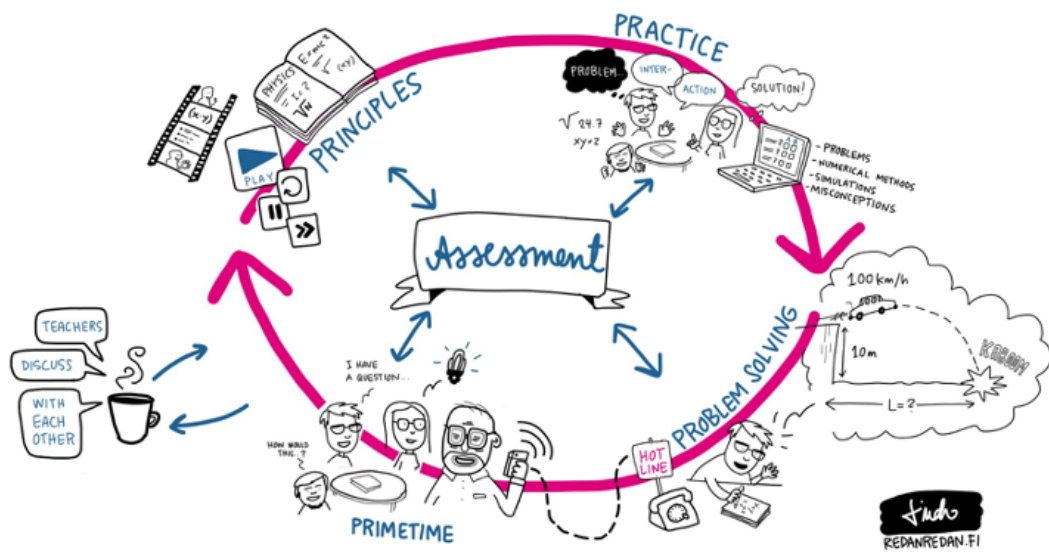
Yhteenvedona, luennot+harjoitukset+tentti -menetelmä nojaa vahvasti läsnäoloon ja kasvokkaiseen vuorovaikutukseen. Menetelmän siirtäminen verkkoon sellaisenaan on kuitenkin huono kompromissi, mikäli menetelmän kulmakivien pedagogisia funktioita ei tarkastella kriittisesti uudelleen.

Alla keskustelemme pedagogisesta näkökulmasta muutamista etäopetukseen paremmin soveltuvista menetelmistä ja käytännöistä, joita osin oli kehitetty jo ennen pandemiaa.

## KÄÄNTEINEN OPETUS SOPEUTUI HYVIN RAJOITUKSIIN

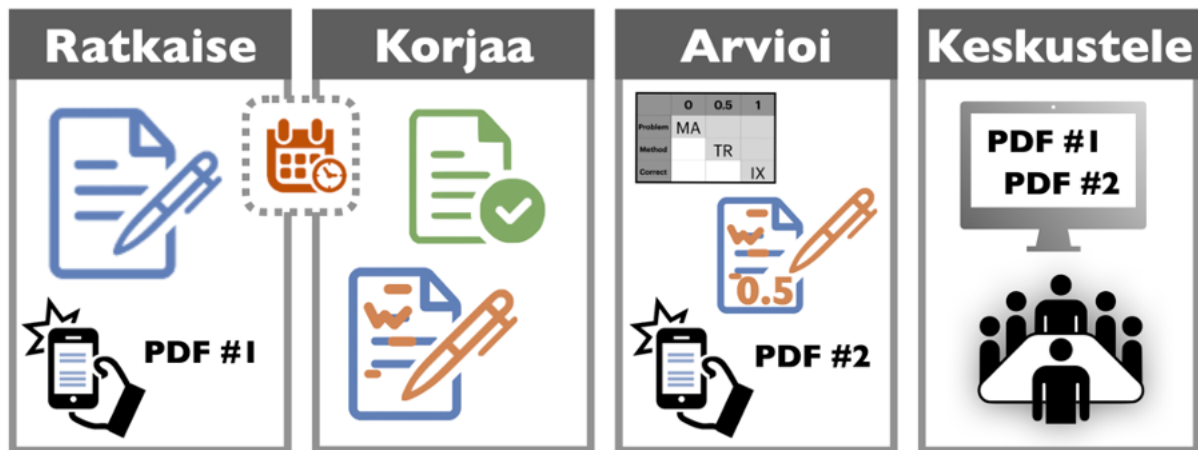
Otollisemmat lähtökohdat linjakkaaseen opettamiseen korona-aikana tarjosivat käänteisen opettamisen menetelmät. Usein pu-

hutaan flippauksesta (flipped learning). Flippausta voi kuvailla esimerkiksi vertailemalla sitä edellä kuvattuun perinteiseen opetukseen aavistuksen mustavalkoisesti. Perinteisessä opetuksessa opettaja käy opittavan materiaalin läpi opiskelijoiden kanssa yhdessä, opiskelijoiden tehdessä yksin vaativimman osuuden harjoitustöiden ja tehtävien parissa. Flippauksessa opettaja laatii opiskelumateriaalin verkkoon oppimisolustalle (lyhyet opetusvideot, itsekorjaavat testit ja muu sähköinen ennakoaineisto). Opiskelijoiden vastuulle jää materiaalin läpikäyminen ja käsitteellisten tehtävien tekeminen ennen kontaktiopetusta. Kontaktissa aikaa käytetään tiedon syventämiseen ja tehtävien tekemiseen yhdessä. Tällöin opettajan ja opiskelijoiden yhteinen aika tulee käytettyä tehokkaasti. Flipatun kurssin käsikirjoitusta ja arviointia voidaan perustella paitsi Bloomin taksonomialla myös vuorovaikutuksen voimistamisella: opiskelijat kohtaavat opettajat aina merkityksellä tavalla.



Kuva 2. Laatu aikaoppimisen opiskeluprosessi ei edellytä suurten opiskelijamäärien oloa samassa paikassa.





Kuva 4. Ruotimisessa opiskelija korjaa ja pisteyttää itse omat ratkaisunsa, opettajan tehtävä on valvoa prosessia.

Eräs käytännöllinen tapa toteuttaa käänteistä opetusta on laatuaikaoppimisen toimintamalli (primetime learning, Kuva 2) [2,3]. Toimintamalli rakentuu pienryhmien varaan ja opiskeluprosessi koostuu 1) itseopiskelusta (principles, opiskelija käy läpi uuden asian kirjasta ja videoista itsenäisesti), 2) ryhmätunnista (practice, pienryhmä harjoittelee verkkotehtävillä keskenään yhteistoiminnallisesti), 3) ongelmanratkaisusta (problems, tavanomaisia harjoitustehtäviä ratkotaan yksin tai ryhmissä) ja 4) opetunnista (primetime, opettaja ja pienryhmä viettää opiskelijalähtöistä laatuaikaa). Joskus mukana voi olla yhteinen oppimistilaisuus, jossa ei kuitenkaan opeteta uutta asiaa.

Toimintamallia käytettiin muun muassa Jyväskylässä, Kuopiossa, Helsingissä ja Tampereella ja se sopeutui hyvin koronarajoituksiin. Itseopiskeluun rajoitukset eivät vaikuttaneet lainkaan. Ryhmätunnit opiskelijat

pitivät osin läsnä, osin etänä. Ne onnistuivat myös etänä kohtuullisesti, sillä ruudunjaon ansiosta koko pienryhmän ei tarvinnut ahautua yhteisen näytön ääreen. Ongelmanratkaisu ei muuttunut kuin tarjotun ohjauksen osalta. Opetuntien toiminta säilyi ennallaan myös etänä. Toisin sanoen, opetustilanteiden pedagogiset funktiot säilyivät ja toteutuivat myös etäopetuksessa. Ryhmätuntien ja opetuntien pitäminen etänä ei toki ollut optimaalista, mutta silti opiskelijat ja opettajat pääsivät ryhmien pienen koon ja toiminnan intiimiyden ansiosta muodostamaan toisiinsa paremman yhteyden. Menetelmä tuki yhteisöllisyyden syntymistä.

#### FLIPPAUKSEN YHTEYS LOPPUARVOSANOIHIN JA OSAAMISEEN

Tampereen yliopiston insinöörimatematiikan pakollisilla kursseilla tutkittiin flippausta ennen pandemiaa ja sen aikana [4]. Kursseja oli neljä ja niistä jokaisella oli noin 250 opiskelijaa.

Tutkimuksen mukaan flipattujen kurssien opiskelijat saivat ennen pandemiaa korkeampia kurssiarvosanoja kuin perinteiseen opetukseen osallistuneet opiskelijat. Flippatuilla kursseilla koronarajoitusten alkaminen ja etäopetukseen siirtyminen eivät vaikuttaneet opiskelijoiden loppuarvosanoihin. Samaan aikaan perinteisillä kursseilla etäopiskelleiden arvosanat putosivat.

Flippaus muutti myös opiskelijoiden suuntautumista opiskeluun. Flipattujen kurssien opiskelijat halusivat opiskella syvällisemmin kuin perinteisten kurssien opiskelijat. Lisäksi he keskittyivät uusien asiasisältöjen opiskeluun systemaattisemmin ja varasivat opiskeluun enemmän aikaa.

Sekä flipattujen että perinteisesti toteutettujen kurssien opiskelijoiden syväsuuntautuneisuus ja järjestelmällisyys laski etäopetuksessa, mutta flippareilla ne säilyivät selkeästi korkeammalla tasolla. Pintasuuntautuneisuus nousi molemmilla ryhmillä etäopetuksen aikana, mutta nousu oli jyrkempää perinteisten kurssien opiskelijoilla.

Flippauksen yhteys psykologisten perustarpeiden tyydyttämiseen

Koronan aiheuttaman eristäytymisen yhteydessä on puhuttu paljon perustarpeista kuten omaehtoisuudesta, kyvykkyydestä ja yhteisöllisyydestä [5]. Opiskelijoiden on siis tärkeää kyetä vaikuttamaan tekemisiinsä, kokea onnistumisia ja saada merkityksellisiä vuorovaikutuskokemuksia.

Flipattujen kurssien opiskelijat ovat selkeästi itseohjautuvampia ja haluavat opiskella enemmän kuin perinteisten kurssien opiskelijat [6]. Lisäksi heidän kokemansa sisältöosaaminen kasvaa ajan mukana voimakkaammin. Etäopiskelun aikana nämä opiskelijaryhmien väliset erot voimistuivat edelleen. Flipparit säilyttivät korkean suorittamisen tason, perinteisten kurssien opiskelijoilla taso putosi. Molemmilla ryhmillä etäopiskelu pienensi yhteenkuuluvuuden tunnetta, mutta flippareilla yhteenkuuluvuus säilyi selkeästi voimakkaampana kuin perinteisten kurssien opiskelijoilla.

### **ARVIOINNISSA KORONA-AIKAAN SOPI PARHAITEN FORMATIIVISUUS**

Formatiivisuuden ideana on integroida arviointi itse opiskeluprosessiin, tukemaan, motivoimaan ja antamaan palautetta jo kurssin aikana. Esimerkiksi laatuaikaoppiminen sisältää sekä formatiivisuutta että summatiivisuutta (Kuva 3). Kurssin aikana pisteitä tulee itseopiskelusta (itsenäiset verkkotehtävät, automaattisesti arvioituna), ryhmätuntien työskentelystä (ryhmien verkkotehtävät) ja laskuharjoitustehtävistä (sähköisesti palautetut ratkaisut). Lisäksi kurssin päätteeksi tulee summatiivinen itsearviointi (opiskelija arvioi omaa osaamista), ryhmäarviointi (opiskelijat arvioivat ryhmän toimintaa) ja opettajan arviointi (opettaja arvioi opiskelijaa opetuntien perusteella). Etäopetukseen siirtyminen ei edellyttänyt arviointiin lainkaan muutoksia.

Etäopetus toi haasteita myös harjoitustehtävien pisteytykseen. Eräs jo aiemmin kehi-

tetty, mutta korona-aikaan erinomaisesti sopiva tapa on ruotiminen (Kuva 4) [7]. Ruotimisessa opiskelija ratkaisee tehtävät ja lähettää skannatun pdf-tiedoston opettajalle. Tämä tapahtuu ennen määräaikaa, minkä jälkeen julkaistaan hyvän vastauksen piirteet, joiden tukemana opiskelija voi tunnistaa ja korjaa tekemänsä virheet. Opiskelija myös pisteyttää omat ratkaisunsa kriteeriperustaisesti ja lähettää pdf-skannauksen korjatuista ja pisteytetyistä tehtäväpapereista opettajalle. Tämän jälkeen opettaja silmäilee pdf-tiedostoja, kontrolloi opiskelijan pisteytyksen oikeellisuuden ja kirjaa pisteet opintorekisteriin. Lopuksi tehtävistä ja arvioinnista keskustellaan, mikä voi tapahtua vapaamuotoisesti ja opiskelijälähtöisesti koska oikeat ratkaisut ovat jo tiedossa.

Koska ruotiminen rakentuu itsenäiselle toiminnalle, se sopi etäopetukseen hyvin. Lisäksi arviointi on läpinäkyvää ja yllätyksetöntä — ja siten omiaan vähentämään kuormittavuuden tunnetta opiskelussa, vaikka se työtä teettääkin. Ainoastaan ruotimisen päättävät keskustelut olivat etänä.

## HARJOITUSTEHTÄVIEN OHJAAMINEN HAASTAVAA

Laskuharjoitustilaisuudet ovat olleet muutoxksessa jo jonkin aikaa. Aiemmin tyypillistä oli käydä pienryhmätilaisuuksissa kuulemassa ja esittämässä oikeita vastauksia, jotka opiskelijat olivat ratkoneet yksinään tai keskenään. Sittemmin on yleistynyt tapa tarjota ohjausta jo harjoitustehtäviä tehdesä, sillä tämän työlään vaiheen aikana tapahtuu myös suurin osa oppimisesta. Tällaista ohjaustoimintaa kutsutaan Jyväsky-



Kuva 3. Esimerkki painotuksista laatu-aikaoppimisen arvioinnissa.

lässä kiihdytintöiminnaksi ja Helsingissä pajaksi. Oikeiden vastausten läpikäyntiin on erilaisia tapoja, kuten yllä mainittu ruotiminen. Malliratkaisujen julkaiseminen ja itse tai vertaisarviointit ovat yleisesti kasvattaneet suosiotaan.

Koronan myötä yhteiset ratkomistilaisuudet osoittautuivat mahdottomiksi. Fyysisessä tilassa on luonnollista tulla tilaisuuteen vapaasti ja pyytää apua sopivassa välissä, mutta etäopetuksessa se on vaikeaa. Luokkatilanteessa hiljaisuus ja kynien rapina usein tarkoittaa tekemisen meinikiä; etätilanteessa hiljaisuus vaivaannuttaa ja ruokkii epävarmuutta. Etäopetus vaatii selkeyttä ja struktuuria.

Helsingissä kurssien laskuharjoitustilaisuuksiin kehitettiin malli, jossa ensin annettiin yhteisiä vinkkejä viikon tehtäviin, minkä jälkeen opettaja vastaili kysymyksiin. Isommat ryhmät jaettiin break-out -huoneisiin helpottamaan opiskelijoiden vuorovaiikutusta. Etäohjauksessa hyvää oli mahdollisuus esittää anonyymejä kysymyksiä opet-

tajalle yksityisviestillä. Toisaalta yksityisviestittelyyn liittyi yleinen epätietoisuus opettajan kysymysjonon pituudesta ja mahdollisesta vastausviiveestä.

Jyväskylän kiihdytintoiminta oli ennen pandemiaa käynnissä kahtena iltapäivänä viikossa laitoksen opiskelija- ja aulatilissa. Pandemian aikana kiihdytintoiminta siirrettiin etäohjaamiseksi Teamsiin. Teamsissa kurssilla oli omat kanavat, joilla sai pyytää apua harjoitustehtävien tekoon. Kanavilla päivystivät sekä kiihdyttimen opettajat että kurssien omat luennoijat ja kurssiassistentit. Alussa opiskelijat eivät osanneet tai halunneet hyödyntää tarjottua ohjausta, myöhemmin tilanne on kohentunut. Vaikka kanavat ovat julkisia, ohjaaminen on usein tapahtunut yksityisviestittelyn avulla.

## HAASTEITA KOKEELLISEN FYSIIKAN OPETUKSESSA

Laboratoriotöissä on jo pitkään siirrytty pois reseptimäisistä kokeista kohti kokeellisten taitojen ja mittauksen suunnittelun oppimista. Korona sulki laitteet ja laboratoriot lukkojen taakse ja laitto opettajat kehittämään pikavauhtia korvaavia etätöitä.

Etätöiden haasteena oli varmistaa työskentelyn mielekkyys, tasapuolisuus ja saavutettavuus. Millaisia välineitä mittaajilta voidaan odottaa? Millaisia mittauksia he voivat tehdä itsenäisesti ja turvallisesti? Osa nykyisistä töistä osoittautui soveltuvan etätöiksi hyvin, osa ei lainkaan. Monille uusille etätöille luontevan pohjan tarjosivat älypuhelimet ja niiden sensoreita hyödyntävät sovellukset.

Jyväskylässä suunniteltiin korvaavia laboratoriotöitä monin tavoin. Eräs tapa hyödynsi olemassa olevia töitä. Töiden kokeellista työskentelyä videoitiin ja opiskelijat perehtyivät videon avulla mittauksiin (mittaussimulaatio), jotka he analysoivat itsenäisesti. Esimerkki tällaisesta työstä on germaniumin energia-aukon määrittäminen. Kehitimme myös uusia itsenäisesti tehtäviä etätöitä, kuten ketjukäyrän tutkiminen ja mallintaminen, oman polkupyörän vierimisvasituksen mittaaminen älypuhelimien GPS:n avulla sekä harmonisten värähtelijöiden tutkiminen simuloinneilla. Pyrimme myös vähentämään opiskelijoiden kuormitusta sallimalla kirjallisten tehtävien myöhästyneet palautukset ilman sanktioita.

Parhaiten onnistuivat työt, joissa opiskelijoilla säilyi mahdollisuus kokeilemiseen ja itse tekemiseen. Esimerkiksi Helsingissä fysiikan peruskurssien laboratoriotöissä on jo pitkään suosittu avoimia tehtävänantoja. Mekaniikan aihealue osoittautuikin etäopetukseen sopeutuvaksi: heittoliike-, ilmanvastus- ja hitausmomentti -aiheisten töiden tehtävänantoja ei tarvinnut muuttaa juuri lainkaan. Älypuhelinien ja videokameroiden yleistymisen mahdollisti datan keräämisen kotioloissa. Esimerkiksi heittoliikeaiheisessa työssä laboratorioissa on pitänyt selvittää, missä kulmassa kuulan tulee ampua lingolla, jotta se lentäisi pisimmälle. Työ voitiin muuttaa sellaiseksi, jonka voi suorittaa heittoliikettä kuvaamalla. Heiton kulman ja lähtönopeuden pystyi määrittämään videosta Tracker-analyysohjelmalla. Koska työn oppimistavoitteet käsittelivät toistokokeen merkitystä ja virheenkäsitte-

lyä, muutokset toteutuksen yksityiskohdissa eivät vaikuttaneet oppimistavoitteiden saavuttamiseen.

Mekaniikkaa haastavampia olivat sähkömagnetismin työt, joihin liittyviä mittalaitteita ja sopivia mittausingelmia on vaikeampi keksiä. Tässäkin älypuhelimien sensorit ja sovellukset tarjosivat erään ratkaisun työhön, jossa määritettiin maan magneettikentän suuruus. Lisäksi Helsingissä ongelmaa ratkottiin yrittämällä saada edes osa sähkömagnetismin töistä tehtyä laboratoriotiloissa, mikä onnistuikin keväällä 2021. Töistä oli kuitenkin tarjottava myös etäversiot, joissa kokeellista osuutta ei ollut. Niissä mittaus suunniteltiin, mutta opiskelijat analysoivat valmista dataa.

Aineopintojen laboratoriotöissä Helsingissä koettiin jopa pienimuotoinen menestys. Jo ennen koronaa kurssille oli suunniteltu lopputyötä, jossa opiskelijat saivat päättää ongelman, johtaa tai etsiä sopivan teorian, suunnitella mittauksen ja esitellä tulokset. Suunnitteluun kuului kaksi tutkimussuunnitelman palautusta, joista annettiin palaute. Korona rajasi käytössä olevat välineet saatavilla oleviin tekniikoihin: videokamerat, valokuvat, Tracker ja phyphox-sovellusten kautta älypuhelimien sensorit, joista tärkeimmät olivat kiihtyvyyssanturit ja barometri [8].

Koronan aiheuttamat rajoitukset rajasivat tutkimusongelmia tehokkaasti. Tämä oli hyvä asia. Kurssilla selvitettiin muun muassa mäkien korkeutta ilmanpaineen vaihtelun avulla, erilaisten nesteiden viskositeettia,

keinuun vaikuttavia vastusvoimia, äänen nopeuden vaihtelua lämpötilan funktiona saunassa ja muuta “takapihafysiikkaa”. Vaikeisiin teorioihin ei sotkeuduttu. Työskentelyssä korostuivat kokeellisen fysiikan ydinosat, kuten mittauksen suunnittelu ja virhelähteiden minimoiminen ja analysoiminen. Raportointi etäposterisessiona oli onnistunut ja keskustelua syntyi, koska kaikki eivät tehneet samaa koetta — tai jos tekivät, analyysi oli erilainen.

Opiskelijapalautteen perusteella kurssin lopputyö koettiin mieluisaksi. Opiskelijat panostivat datankäsittelyyn ja pystyivät toteuttamaan mittauksia koronaturvallisesti myös yhdessä. Ryhmätyö ensimmäisenä, yksinäisenä koronakeväänä koettiin mieluisaksi.

Viime aikoina fysiikan laboratoriotöiden tutkimuksessa on kiinnitetty huomiota myös asiantuntijanomaisten asenteiden kehittämiseen. Niitä voi mitata esimerkiksi Colorado Learning Attitudes about Science Survey for Experimental Physics -kyselyllä [9]. Tyypillinen laboratorio-opetus muuttaa asiantuntijanomaisia asenteita huonommiksi. Helsingin aineopintojen kurssin aikana asenteet ovat aiemmin pysyneet vakaina [10]. Uuden lopputyön myötä asiantuntijanomaiset asenteet kokeellista fysiikkaa kohtaan muuttuivat suotuisammiksi.

## HUOLI OPISKELIJOIDEN HYVINVOINNISTA

Korona-aika heikensi opiskelijoiden hyvinvointia. Opiskelijoiden psykologiset perustarpeet eivät tyydyttyneet, kun opiskeluym-



päristöä ei voinut valita ja yhteydet opiskelutovereihin ja opettajiin heikentyivät. Korona-aikaan liittyvä itseopiskelu on vaikeuttanut erityisesti ajanhallintaa ja keskittymistä, kun opiskeluympäristö on monilla ollut sama huone, jossa myös laitetaan ruoka, syödään ja rentoudutaan. Helsingin yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa huomattiin, että valtaosa opiskelijoista kärsii uupumuksesta tai on vaarassa uupua [11]. Samalla opintoihin kiinnittyminen on vähentynyt. Fysiikan opiskelijat eivät tässä ole poikkeus.

Esimerkiksi Helsingin, Jyväskylän ja Itä-Suomen yliopistoissa opiskelijoiden hyvinvointia kysyttäessä valtaosa vastauksista oli huolestuttavia. Vaikka jotkut opiskelijat hyötyivät etäopiskelun joustavuudesta ja edistivät opintojaan jopa tehokkaammin kuin normaaliaikana, valtaosa opiskelijoista koki etäopiskelun lisänneen yksinäisyyttä ja kuormittuneisuutta. Opiskelu koettiin yksinäiseksi puurtamiseksi ja kurssitovereihin tutustumista pidettiin vaikeana ja epäluontevana. Vaikka kurseille perustettiin esimerkiksi Telegram-kanavia, osa opiskelijoista ei löytänyt lainkaan omaa porukkaa, johon pystyi tuntea kuuluvansa. Siten korona-aika heikensi yhteyksiä sekä opetukseen että opiskelutovereihin. Opiskelijoiden omat, epämuodolliset Discord-kanavat paikkasivat kahviloissa ja opiskelijahuoneissa tapahtuneiden kohtaamisten puutetta, mutteivät pystyneet korvaamaan niitä.

Ongelmat eivät ole täysin uusia, sillä opintojen ohjauksessa on aiemminkin korostunut vaikeus päästä opiskeluporukoihin.

Haasteita syntyy esimerkiksi kun armeija katkaisee opiskelun tai opiskelija ajautuu eri opintopoluille kuin fuksivuoden opiskelukaverit. Nyt nämä vaikeudet vaikuttavat koskettavan lähes koko ikäluokkaa.

Korona-ajan opetuksen vahinkoja korjataan vielä pitkään. Opiskelijoiden osaaminen on heikentynyt kaikilla luokka-asteilla ja osa opiskelijoista on pitkän etäopetusjakson jälkeen pahasti hukassa.

## **FIKSULLA PEDAGOGIIKALLA OSAKSI ELÄVÄÄ YHTEISÖÄ**

Tekninen valmius etäopetukseen olisi ollut jo ennen pandemiaa, mutta harva oli sitä oikeasti hyödyntänyt. Vasta etäopetuspakko pakotti ottamaan massiivisen digiloikan käytännössä. Onneksi olimme harjoitelleet loikkimista jo ennakkoon — ehkä vähemmän teknisillä ratkaisuilla mutta sitäkin enemmän kehittämällä etäopetukseen soveltuvia pedagogisia menetelmiä ja toimintamalleja. Korona-aikana opetuskokeiluita on tehty paljon ja tentteihin perustuvaa arviointiakin on tarkasteltu kriittisesti. Olemme kehittyneet paremmiksi etäopetuksen teknisessä toteuttamisessa, mutta olemme myös oppineet tunnistamaan tilanteet, joihin etäopetus sopii huonosti. Kun hyödynnämme näitä kokemuksia, voimme luottaa siihen, että fysiikan opetus Suomessa kehittyy entistäkin laadukkaammaksi.

Jatkossa, kun opetusta voidaan suunnitella taas rauhassa pedagogiikka edellä, voimme valita kullekin kurssille parhaiten sopivan lähi- tai etäopetusvaihtoehdon. Toisaalta etäopetuksen osittainkin onnistuminen

saattaa aiheuttaa painetta lisätä etäopetus-tarjontaa kaikilla kursseilla. Jonkin verran haaveillaan myös sulavasta hybridiopetuksesta, jossa yksi opettaja voisi opettaa samaan aikaan etä- ja lähiopetuksessa ja opiskelijat voivat valita itselle sopivan opiskelumoodin. Tämä tietenkin tarjoaisi opiskelijoille joustavuutta, mutta opettajan keskittyminen eri tiloissa oleviin opiskelijoihin on pedagogisesti kyseenalainen lähtökohta. Hybridin sijaan olisi syytä pyrkiä soveltamaan sulautuvaa opetusta, jossa lähi- ja etäopetuksen menetelmät vuorottelevat oppimisen tavoitteisiin parhaiten sopivalla tavalla.

Lähiopetuksen puolesta on hyvä muistaa, että kampuksella oleminen ja eläminen tukee erityisesti nuorempien opiskelijoiden hyvinvointia ja kasvamista osaksi elävää fyysikkoyhteisöä.

*Kirjoittajat kiittävät Kirsi Svedströmiä tekstin kommentoinnista.*

## Lähteet

- [1]. Freeman, S. et al. *Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics*. Proc National Acad Sci 111, 8410–5 (2014).
- [2]. Koskinen, P., Lämsä, J., Maunuksela, J., Hämäläinen, R. & Viiri, J. *Primetime Learning : Collaborative and Technology-Enhanced Studying with Genuine Teacher Presence*. International Journal of STEM Education (2018).
- [3]. Koskinen, P., Maunuksela, J., Lehtivuori, H., Lämsä, J. & Löytäinen, T. *Laatuai-kaoppiminen – vuorovaikutteista ja yhteis-toiminnallista fysiikan opiskelua*. Yliopisto-pedagogiikka (2017).
- [4]. Rämö, J., Nokelainen, P., Viro, E., Kaarakka, T., Kangaslampi, R., Nieminen, M., Hirvonen, J., & Ali-Löytty, S. *Engineering higher education students' approaches to learning in traditional and flipped mathematics courses before and during the COVID-19 pandemic*. (Submitted)
- [5]. Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2008). *Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health*. Canadian psychology/ Psychologie canadienne, 49(3), 182.
- [6]. Nokelainen, P., Puhakka, I., Vuorenpää, V., Rämö, J., Viro, E., Kaarakka, T., Kangaslampi, R., Hirvonen, J., & Ali-Löytty, S. *Longitudinal study of the development of higher education students' basic psychological needs satisfaction during traditional and flipped learning engineering mathematics courses*. (Submitted)
- [7]. Koskinen, P. & Lämsä, J. *Ruotiminen: toimintamalli harjoitustehtävien läpikäyntiin*. Yliopistopedagogiikka (2019).
- [8]. Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. *Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox*. Physics education, 53(4), 045009 (2018).
- [9]. Wilcox, B. R., & Lewandowski, H. J.. *Students' epistemologies about experimental physics: Validating the Colorado Learning Attitudes about Science Survey for experimental physics*. Physical Review Physics Education Research, 12(1), 010123 (2016).
- [10]. Kontro, I, Heino, O, Hendolin, I & Galambosi, S, *Modernisation of the intermediate physics laboratory*, European Jour-

nal of Physics, vol. 39, no. 2, 025702  
(2018).

[11]. Salmela-Aro, K. 2021, *University students' wellbeing continues to decline*,  
<https://www.helsinki.fi/en/news/teaching/university-students-wellbeing-continues-decline> viitattu 4.10.2021

Tracker <https://physlets.org/tracker/> viitattu 9.10.

---

## LUONNONTIETEET NYT JA TULEVAISUUS -OHJELMA:

### UUSIA VERKKOKURSSEJA (MOOC) SUOMALAISESTA OSAAMISESTA JA TUTKIMUKSESTA KAIKILLE

**Maija Aksela,**

*Tiedekasvatuksen professori, Helsingin yliopisto*

**U**usia mielekkäitä ratkaisuja ja toimintamalleja kehitetään yhteisöllisesti ja tutkimusperustaisesti luonnontieteiden tiedekasvatuksen, nk. LUMA-tiedekasvatuksen edistämiseen eri kohderyhmille. Suomalaisen osaamisen ja tutkimuksen sekä mahdollisuuksien esilletuonti on painopistealueena erityisesti Luonnontieteet nyt ja tulevaisuudessa -ohjelmassa. Uusi monitieteinen Tähdet ja avaruus -verkkokurssi alkoi kesällä 2021.

Kansallisessa LUMA-tiedekasvatuksessa innostetaan tulevaisuuden tekijöitä uusien ratkaisujen ja toimintamallein hyvään, kestävään tulevaisuuteen. LUMA-keskus Suomi-verkostossa (11 yliopistoa, 13 keskusta) ratkaisut pohjautuvat uusimpaan tutkimustietoon sekä matematiikan, luonnontieteiden ja teknologian tutkimukseen ja innovaatioihin että niiden oppimiseen ja opetukseen.

Tiedekasvatuksella tarkoitetaan tiedeosaimisen vahvistamista ja erityisesti tieteellisen lukutaidon ja ajattelun edistämistä (esim. Aksela, 2012). Uusia avauksia toteutetaan yhdessä suunnitellen sekä kohderyhmän että lukuisten asiantuntijoiden

kanssa nk. co-design -periaatteella (esim. Aksela, 2019).

Uusimpaan LUMA-verkkokirjaan on koottu erilaisia ratkaisuja ja malleja 11 yliopistosta (ks. [www.luma.fi](http://www.luma.fi)). Viime vuosina virtuaaliset uudet ratkaisut ovat olleet kehittämis-kohteina. Pyrimme yhdessä edistämään tasa-arvoisia ja yhdenvertaisia mahdollisuuksia tieteiden äärelle ja oivaltamisen iloon.

Verkkokursseja (MOOC) on tuotettu tähän mennessä tutkimusperustaisesti yli 30. Ne ovat myös tutkimuskohteena (esim. Aksela, Wu & Halonen, 2016; Kaul, Aksela & Wu, 2018). Tulossa on uusia kursseja lisää myös

matematiikasta ja ohjelmoinnista lähivuosi-  
na sekä geotieteistä ja maantieteestä.

## SUOMALAINEN TIEDEOSAAMINEN TUTUKSI

Tieteellisen lukutaidon (engl. *scientific literacy*) edistäminen on tiedekasvatuksen tärkeimpiä tavoitteita. Siihen kuuluvat tieteellisten käsitteiden ja ilmiöiden, tieteellisten menetelmien ja prosessien, tieteellisen ajattelun sekä tieteen, teknologian ja yhteiskunnan yhteyden avaaminen eri tavoin eri kohderyhmille.

Pyrimme tiedekasvatuksessa tuomaan esille esimerkiksi vastauksia kysymyksiin: Miten uusi tieto syntyy? Mitä kysymyksiä tutkitaan nyt ja tulevaisuudessa? Miten niitä tutkitaan? Miten luonnontieteet ovat mukana kestävien ratkaisujen kehittämisessä? Tutkimuksemme mukaan tiedon dynaaminen luonne, ratkaisut sekä eettiset ja moraaliset kysymykset kiinnostavat nuoria.

Innostavalla tiedekasvatuksella pyrimme lisäämään taitavien opiskelijoiden ja asiantuntijoiden saamista alalle erilaisiin tehtäviin. Tieteen luonteen ymmärtäminen kuuluu jokaiselle tärkeän yleissivistyksen pohjaksi ja sen merkitys vain lisääntyy globaalien haasteiden kasvaessa. Tarjoamme verkkokursseja laajasti kaikille. Yhdessä opiskelua myös yli sukupolvien!

Luonnontieteet nyt ja tulevaisuus -ohjelmassa keskitymme suomalaisen osaamisen ja osaajien sekä mahdollisuuksien esille tuontiin mielekkäästi kaikille avoimilla ja maksuttomilla verkkokursseilla (MOOC).

Niiden tekemisessä pääperiaatteena on yhteistyö suomalaisten asiantuntijoiden ja yhteistyökumppanien kanssa kohderyhmän kysymykset ja toiveet huomioiden. Yhdessä olemme enemmän! (LUMA motto)

Jokaisesta kurssista tuotetaan ensin nk. pilottiversio, ja sitä kehitetään tutkimusperusteisesti sykleissä. Käyttämämme MOOC-kurssialusta luo mahdollisuuksia rakentaa vuorovaikutteisia ja jatkuvasti helposti päivitettäviä dynaamisia oppimisympäristöjä. Ensimmäinen ohjelman verkkokurssi toteutettiin noin 100 asiantuntijan kanssa yhteistyössä aiheesta ”Kemia tieteenä ja yhteiskunnassa” ([linkki 1](#)). Se avautui vuonna 2021 kaikille Helsingin yliopiston Avoimen yliopiston kautta. Toisena kurssina on tehty ”Matematiikka ja luonnontieteet yhteiskunnassa” -kurssi yhteistyössä työelämän asiantuntijoiden ja pedagogisten opettajaorganisaatioiden kanssa ([linkki 2](#)). Kesällä 2021 avautui Tähdet ja Avaruus -verkko-kurssi kaikille kiinnostuneille.

Näitä kursseja toivotaan käytettävän kokonaan tai osittain myös nuorten opetuksessa ja opiskelun tukena sekä ainakin opettajakoulutuksessa. Niitä käytetään tulevien opettajien koulutuksessa Helsingin yliopiston matematiikan, fysiikan ja kemian uudessa aineenopettajakoulutuksen ohjelmassa matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa.

## UUSI TÄHDET JA AVARUUS -VERKKOKURSSI

Kesällä 2021 avattiin kaikille kiinnostuneille mahdollisuus osallistua maksuttomalle



(Kuva: Unsplash/ NASA)

Tähdet ja avaruus -verkkokurssille ja vaikuttaa sen kehittymiseen. Erityisesti toivomme kurssille paljon tulevaisuuden tekijöitä.

Kurssi on monitieteinen ja keskittyy aiheen suomalaiseen osaamiseen ja mahdollisuuksiin. Esimerkiksi tutkimusta kurssilla käsitellään esimerkein ja haastatteluin: Mitä tähdistä ja avaruudessa tutkitaan Suomessa? Miten tutkitaan? Mitä sovelluksia ja ratkaisuja kehitetään? Miten kansainvälisyys näkyy tutkimuksessa? Kurssilla on monipuolisia tehtäviä ja myös päivittyvä lisämateriaaliansio artikkeleineen ja vinkkeineen. Opettajille on hyödyllistä materiaalia nuorten opetukseen ja innostamiseen.

Kurssin suunnittelussa ja toteutuksessa lähtökohtana ovat nuorten kysymykset ja toiveet sekä suomalaisten asiantuntijoiden osaaminen laajasti. Aiheesta on toteutettu kyselytutkimuksia ja haastatteluja sekä hyödynnetty uusinta tutkimuskirjallisuutta.

Kurssin tekemistä on ohjannut monitieteinen ohjausryhmä, jossa jäseniä on alan huippututkijoista ja asiantuntijoista yliopistoista ja muista yhteistyötahoista. Kurssin vastuutiimissä on allekirjoittaneen lisäksi tiedekasvatuksen kehittäjä Anu Penttilä ja ohjaaja Joonatan Kölhi Helsingin yliopiston LUMA Science Helsinki -tutkimusryhmästä.

Yhteisöllinen suunnittelu ja toiminta ovat tiedekasvatuksen toiminnan a ja o. Tässä verkkokurssissa on tiedeyhteisön lisäksi mukana yhteistyötahoina mm. URSA, Heureka, Helsingin Observatorio, Fyysikkoseura ja Suomalaisten Kemistien Seura. Uusia yhteistyötahoja otetaan myös mukaan. Yhtenä rahoittajana on Magnus Ehrnroothin säätiö.

Kurssin uusi versio avautui 15.6.21. Sitä voi tehdä omaan tahtiin. Tarkemmat tiedot ja ilmoittautuminen löytyvät Helsingin yliopiston Tiedekasvatuksen (osa LUMA-keskus Suomea) verkkosivuilta osoitteesta ([linkki 3](#)):

Yhdessä hyvään, kestävään tulevaisuuteen!

**Lähteet ja linkit:**

Aksela (2012): <https://journal.fi/tt/article/view/6496>

Aksela (2019): <https://journals.helsinki.fi/lumat/article/view/1246>

Aksela et al (2016, 2018):

<https://www.luma.fi/en/news/2018/04/05/new-research-on-luma-massive-open-online-course-mooc-for-in-service-teachers/>

linkki 1: <https://www2.helsinki.fi/fi/uutiset/koulutus-kasvatus-ja-oppiminen/uusi-verkkokurssi-luma-tiedekasvatuksesta-luonnontieteet-nyt-ja-tulevaisuudessa-kemia-tieteena-ja-yhteiskunnassa>

linkki 2: <https://www2.helsinki.fi/fi/uutiset/opetus-ja-opiskelu-yliopistossa/uusi-verkkokurssi-luma-tiedekasvatuksesta-matematiikka-ja-luonnontieteet-yhteiskunnassa>

linkki 3: <https://www2.helsinki.fi/fi/uutiset/luonnontieteet/opi-tahtien-ja-avaruuden-tutkimuksesta-tiedekasvatuksen-uudella-verkkokurssilla>

**Kirjoittaja** *Maija Aksela on luonnontieteellisen tiedekasvatuksen professori Helsingin yliopistossa. Professuuri on alallaan ensimmäinen Suomessa, ja sen edustaman tutkimusalan keskeinen tavoite on edistää tulevaisuuden tekijöiden luonnontieteellistä yleissivistystä henkilökohtaisella, ammatillisella ja yhteiskunnallisella tasolla. Maija Akselan mielestä tiedekasvatus kuuluu kaikille sukupolville joka puolella maailmaa, ja sen menestyksekkäs toteuttaminen vaatii yhteistyötä ja osallistamista. Tiedekasvatuksen tutkimus tuottaaakin mm. uusia ratkaisuja ja toimintamalleja opettajien käyttöön.*



(Kuva: Maarit Kytöharju)



## AKATEMIAN JALKAVÄKI: LAPSI, POSTDOC, PANDEMIA - RAKKAUTTA JA RAJOITUKSIA

**Juha Tiihonen**

*Isä, laskennallinen fyysikko, ja Tennesseeen kenties top3-jäynähenkisin Tampereen teekkari.*

**Kalle Nordling**

*Alunperin Otaniemestä valmistunut tekkarihenkinen ilmakehätutkija Oslost.*

**K**un Juhan esikoinen kohtasi isovanhempansa ensi kertaa, niin järkytyshän siitä syntyi. Päälle vuoden ikäisenä hän oppi juuri vierastamaan vartuttuaan koko pienen ikänsä eristyksillä toisella mantereella. Pandemia iski yllättäen kesken isän postdoc-kauden, ja pakotti rajoitteita meidän jokaisen elämään. Myös Kallen esikoinen syntyi maskipakon ollessa huipussaan. Hän oppii kuitenkin nopeasti erottamaan hymyt maskien takaa - lapsi sopeutuu häikäisevän nopeasti.

Vielä aikuisiälläkin me nuoret tutkijat yritämme sopeutua elämää järjestyttävien muutosten ikeessä. Pysyvä työpaikka on etäinen unelma ja muutaman vuoden rahoituskin kuin lottovoitto. Väitöskirjan jälkeen pitäisi kai muuttaa ulkomaille, vieraaseen maahan ja tutkimusryhmään. Tällainen elämä on vaikeasti ennustettavaa - siis kaoottista, sanoisi nobelisti. Onko rakkaus tutkimusta kohtaan rajoituksia vahvempaa?

Meillä allekirjoittaneella, ja ehkä muillakin, on ollut ainutlaatuinen tilaisuus räpiköidä tutkijanuran harvinaisessa kolmoispuoleisessa: korona, ensi vanhemmuus ja muutto ulkomaille. Siinä onkin mittailtu sopeutumiskykyä ja rakkautta yli rajojen.

Muistamme sen järkytyksen, kun makuuhuoneesta tuli uusi työpiste eikä kanssaihmissiä nähnyt kuukausiin paitsi videopuheluissa. Viikot valuiivat eteenpäin loputtoman epävarmuuden merkeissä: eikö tämän pitänyt jo helpottaa? Rajoituksista tuli täyttä totta, ja niiden varjossa näimme entisen elämän uudessa valossa. Tavaltaan ihastuimme, vaikka se veikin meiltä yönunet ja terveelliset elintavat.

Pieni lapsi tuo omat rajoituksensa tutkimusarkeen, varsinkin etätöissä. Se tuntuu välillä katkeralta, kun tietää perheettömien kollegoiden kilpailevan samoista meriiteistä ja rajallisista resursseista. Perheellisen työpäivä ei voi venyä määräänsä pidemmäksi, tai se luultavasti keskeytyy, kun pieni olento kömpii syliin ja osallistuu kanssasi huippututkimukseen tai kolum-

nin kirjoittamiseen. Keskittyminen pirstaloituu, kun kuuntelee jatkuvasti mitä lapsi mahtaa tehdä juuri nyt. Nieleekö se legopalikoita vai rakentaako se salaa Kuolontähteä olohuoneeseen? Huudetaanko nälkää vai jotain muuta elämän suurinta katastrofia?

Tämäkin kolumni valmistui myöhässä, kun lapselle iski yllättäen nuha. Mitä jos sama tapahuisi tärkeälle rahoitushakemukselle tai konferenssiesitelmälle? Mitä jos... Edes lyhyen tähtäimen ennustettavuus tässä kaoottisessa systeemissä on melko heikkoa.

Onneksi fysiikan prosesseista tunnemme, että äkillistä muutosta seuraa vääjäämätön, joskin pitkälinen paluu tasapainoon. Totuimmehan jo etätyöskentelyyn, jopa niin hyvin, ettei saavutusta edusta haluttaisi päästää irti. Tuoreina isinä meille tarjoutui ainutlaatuinen sauma tehdä samanaikaisesti töitä ja seurata lähietäisyydeltä lastemme varttumista.

Ehkä myös itse hieman kasvoimme ja viisasuimme. Korona toi tutkimusyhteisöihin Slackin ja Teamsin ja huuhtoi mennessään monta turhaa kokousta ja kaukolentoa. Lapsi pakotti työajan hallintaan enemmän ryhtiä ja rutiinia kuin yksikään HR:n kalvosulkeinen. Kun ulkomailla vieras kielikin alkoi sujua - tutkimus-

jargonista puhumattakaan - saattoi kotimaahan soitella uutta itsevarmuutta puhkuen. Se otti oman aikansa, mutta pelko meni pois.

Ajan myötä myös taapero pääsee yli peloistaan, ja hänestä tulee rakas ystävä isovanhemmille, joita aluksi kammoksui. Lapsi vapautuu ja alkaa tutkia kaikkea ympärillään iloisen tietämättömänä elämän tulevista epävarmuuksista ja rajoituksista.

Yhteiskunta on palaamassa pandemian jälkeen takaisin normaaliin. Samoin me perheelliset tutkijat palaamme kaoottisten elämiemme pariin. Rajat ovat taas auki ulkomaille, jossa uranäkymiä riittää kotimaata runsaammin. Myös takaisin pääsee, kenties monta kokemusta ja kontaktia rikkaampana. Mikä parasta, virtuaalitapaamisten aikakaudella jalka pysyy oven välissä entistä vahvemmin vapaassa maailmassa, jossa verkkoyhteydet eivät noudata maantieteellisiä rajoja.

Lapsi vain on rajoitus, jota ei voi purkaa. Eikä tarvitse. Ajan myötä myös vanhempi pääsee yli siitä, että rajat ovatkin rakkautta. Lapsi luo kaaoksesta järjestystä ja pysyvyyttä. Se ei vahingoita nuoren tutkijan kasvua, vain suuntaa sen uudelleen.

## SILMÄYKSIÄ SUOMALAISEN MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLISEN TUTKIMUKSEN HISTORIAAN

**Hannu Koskinen**, *Avaruusfysiikan emeritusprofessori, Helsingin yliopisto.*

**Peter Holmberg & Johan Stén**, *Att observera, mäta och räkna. Blickar på den matematisk-naturvetenskapliga forskningen historia I Finland. Bidrag till kännedom av Finlands natur och folk* 211, 541 pp, Finska Vetenskaps-Societeten, 2020.

Havaitseminen, mittaaminen ja laskeminen muodostavat luonnontieteellisen tutkimuksen ytimen. Tätä teemaa seuraten Peter Holmberg ja Johan Stén esittävät perusteellisen ja kiehtovan katsauksen suomalaisen fysiikan ja matematiikan kehitykseen keskiajalta 1900-luvulle. Teoksen primus motor, lääketieteellisen fysiikan emeritusprofessori Peter Holmberg (1938 – 2018), menehtyi kesken teoksen viimeistelyn ja työn loppuun saattaminen jäi Johan Sténin tehtäväksi. Peter Holmberg oli yksi tärkeimmistä suomalaista fysiikan historiaa dokumentoineista tutkijoista. Suomen fyysikkoseurassa hän toimi mm. puheenjohtajana 1980 – 1982 ja oli myös Arkhimedeksen aktiivinen avustaja. Johan Stén on puolestaan eksakteihin tieteisiin keskittyvä oppihistorioitsija, joka on väitellyt sekä tekniikan että filosofian tohtoriksi.

Fysiikan ja matematiikan perinteet ulottuvat antiikin aikaan, mutta edistys näillä aloilla oli läpi keskiajan jokseenkin vaatimatonta. Keskiajalla perustettujen yliopistojen pää-

asiallinen tehtävä oli kouluttaa papistoa ja virkamiehiä. Toki näilläkin aloilla tarvittiin laskutaitoa ja lisäksi papiston tuli tietää riittävästi taivaankappaleiden liikkeestä voidakseen määrittää kirkollisten juhlapyhien ajankohdat. Siinä yhteydessä kehitettiin almanakkoja, jotka tulivat sisältämään kalenterin lisäksi astronomiaa, astrologiaa ja tietoja sääolosuhteista maatalouden tarpeisiin.

Keskiajalla lahjakkaimpien suomalaisnuorkaisten oli lähdettävä opintielle Keski-Euroopan yliopistoihin. Siitä, kuinka moni näin teki, ei ole tarkkaa tietoa. Kyse oli kuitenkin kaiken kaikkiaan muutamasta sadasta henkilöstä. Paikallisten yliopistojen perustaminen oli luonnollinen kehityskulku Ruotsin suurvaltakaudesta. Tällä oli kuitenkin kääntöpuolensa yhteyksien heikennettyä keskieurooppalaisiin yliopistoihin, mikä hidasti uusien aatevirtausten saapumista Pohjolan perukoille. Kirjoittajat toteavatkin: ”Under hela 1600-talet förblev Åbo en avkrok dit ny kunskap sipprade in mycket långsamt.”

1600-luvun alussa Suomessa oli seitsemän koulua, joista viisi oli alkeiskouluja ja kaksi katedraalikouluja hieman varttuneemmille. Turun katedraalikoulu oli perustettu jo 1276. Vuonna 1630 se korotettiin lukioksi (gymnasium) ja muutettiin 1640 yliopistoksi (Kungliga Akademien i Åbo). Akatemiassa oli 11 professuuria, joista kolme oli teologian, yksi luonnontieteen ja yksi matematiikan oppituoli. Lisäksi professuureja oli juridiikassa, lääketieteessä, pyhissä kielissä, politiikassa ja historiassa, logiikassa ja metafysiikassa sekä kaunopuheisuudessa.

Turun Akatemian perustamisaikoihin luonnontieteen professorin vastuulla oli fysiikan lisäksi myös kasvi- ja eläintiedettä ja anatomiaa. Sitä vastoin mekaniikka, linnoitusoppi ja optiikka kuuluivat matematiikan professorille. Koska ainoastaan professorit saivat opettaa, heidän työmääränsä oli huomattava. Kesti lähes sata vuotta ennen kuin ensimmäiset dosentit nimitettiin 1738 keventämään opetuskormaa. Jostain syystä uudistusta vastustettiin niin kuin on ilmeisesti vastustettu kaikkia yliopistouudistuksia sen jälkeenkin.

Teologia oli kaikkein arvostetun tieteenala ja useimpien fyysikoiden ja matemaatikoiden tavoitteena oli promovoitua teologian professoreiksi ja päätyä parhaassa tapauksessa piispan virkaan. Monilta tämä onnistuikin, mikä tarjosi tervetullutta urakiertoa. Voi pohdiskella, missä määrin tämä ohjasi luonnontieteellistä tutkimusta. Turun Akatemian ensimmäinen luonnontieteen professori Georg Alanus kirjoitti 1645 tutkielman aurinkokeskisestä maailmankuvasta. Hän totesi, että vaikka hypoteesi onkin hyödyllinen astronomisten laskujen kannalta, se on

fysikaalisesti virheellinen. Tämä siis 100 vuotta Kopernikuksen jälkeen. Toisaalta Isaac Newton oli tuolloin vasta kaksivuotias, joten fysikaalista selitystä planeettojen liikkeelle ei ollut vielä olemassa. Alanuksesta tuli teologian professori vuonna 1648 ja tuomiorovasti vuonna 1653.

Suomalaisen matematiikan ensi askeleet otettiin keskiajalla Turun katedraalikoulussa. Opetus keskittyi lähinnä laskutekniikkaan, erilaisiin kertolasku-, jakolasku- ja juurenottomenetelmiin. Roomalaisten numeroiden käyttö hidasti laskutaidon kehitystä. Arabialaiset numerot saapuivat Turkuun aikaisintaan 1300-luvun lopulla. Vielä 1600-luvun Turun Akatemiassa matemaatiikka oli lähinnä alkeisaritmetiikkaa ja geometriaa ilman omaa tutkimuspanosta.

Ruotsin suurvalta-aika päättyi suureen Pohjan sotaan. Sen loppuvaiheessa isonvihan vuosina 1713 – 1721 venäläisjoukot miehittivät Suomea ja Turun Akatemian henkilöstö kirjastoineen oli maanpaossa Ruotsissa. Tämän jälkeen yhteydet ulkomaille vähin erin lisääntyivät, aurinkokeskinen maailmankuva hyväksyttiin ja newtonilainen matemaattinen fysiikka saapui ensin Uppsalaan ja sittemmin myös Turkuun.

Antiikin ajoista lähtien tähtitiede oli liittynyt paikanmääritykseen ja geodesiaan. Varhainen kansainvälinen yhteistyöhanke oli leveyspiiriasteen pituuden ja samalla maapallon tarkan muodon määrittäminen, missä tärkeässä osassa olivat Pierre Louis de Mairan ja Jean Baptiste de La Hire'n johdolla tehdyt mittaukset Tornionjoen laaksossa 1736 – 1737. Toinen kansainvälisesti merkittävä hanke olivat havainnot Venuksen Auringon ylikuluista

1761 ja 1769 Auringon parallaksin ja siten aurinkokunnan koon määrittämiseksi.

Asteen pituuden mittaamisen yhteydessä opittiin käyttämään kolmiomittaustelmää, mistä oli suurta käytännön hyötyä maanmittaukselle. 1700-lukua onkin kutsuttu ”hyödyn aikakaudeksi”. Fysiikan ja kasvitieteen professori Johan Browallius oli ensimmäisiä, joka painotti fysiikan empiiristä ja kokeellista luonnetta. Browalliuksen seuraajan Carl Fredrik Mennanderin yhteiskunnallisesti tärkeitä tutkimuskohteita olivat mm. hallat ja yöpakkaset. Hallaongelma säilyi tärkeänä tutkimuskohteena läpi 1800-luvun. Merkittäviä läpimurtoja tällä rintamalla ei saavutettu, mutta sen ohessa kehittyivät meteorologiset havainnot. Myös Mennander eteni urallaan teologian professoriksi, Turun piispaksi ja lopulta Uppsalan arkkipiispaksi 1775, mikä lienee korkein suomalaisen koskaan saavuttama virka-asema Ruotsissa.

Hyödyn aikakaudella alettiin myös ymmärtää kemian tärkeys ja Turun Akatemian ensimmäiseksi kemian professoriksi nimitettiin Pehr Gadd 1761. 1700-luvun puolivälissä järjesteltiin oppiaineita muutenkin uudelleen ja luonnontieteen professorin tehtäviksi tuli opettaa matematiikkaa, fysiikkaa ja tähtitiedettä. Kasvitiede, eläintiede ja mineralogia siirrettiin puolestaan uuden ekonomiprofessorin alaisuuteen.

Vuonna 1801 fysiikan professoriksi nimitettiin Gustaf Gabriel Hällström. Hällström oli paitsi monipuolinen fyysikko myös taitava hallintomies. Hän sai aikaan ensimmäisen astronomisen observatorion Turkuun. Oman oppituolin tähtitiede sai 1828, jolloin aiem-

pi observaattorin tehtävä muutettiin professoriksi. Hällström toimi myös yliopiston rehtorina sen siirtyessä Turun palon jälkeen Helsinkiin 1828, tuolloin Suomen Keisarikunnan Aleksanterin-Yliopistona. Hällström jatkoi myös hallatutkimuksia ja oli avainasemassa suomalaisen meteorologian synnyssä. Vuonna 1838 perustettiin Helsinkiin magneettis-meteorologinen observatorio, josta 1900-luvulla kehittyi nykyinen Ilmatieteen laitos. Observatorion ensimmäisenä johtajana toimi Johan Jacob Nervander, joka nimitettiin myös yliopiston ylimääräiseksi professoriksi.

Ensimmäinen kansainvälisesti tunnettu suomalainen matemaatikko oli Anders Johan Lexell. Lyhyeksi jääneen elämänsä aikana (1740 – 1784) hän ennätti tehdä vakuuttavan uran. Valmistuttuaan maisteriksi Turusta hän muutti Uppsalaan, jossa hänen sallittiin paikallisen professorin poissa ollessa puolustaa itse(!) kirjoittamaansa käyrien kaarevuutta käsitellyttä väitöskirjaa vuonna 1763. Leonhard Eulerin siirrettyä Pietariin Lexell otti häneen yhteyttä. Euler oli vakuuttunut Lexellin kyvyistä ja Lexell muutti Pietariin. Hänen ensimmäisiä tehtäviään oli suorittaa laskelmia Auringon parallaksista perustuen edellä mainittuihin Venuksen ylikulusta vuonna 1769 tehtyihin havaintoihin. Tämän jälkeen Lexell nimitettiin professoriksi Pietarin Tiedeakatemiaan 1772 ja kolme vuotta myöhemmin myös Turkuun. Lexell ei lopulta koskaan palannut Suomeen. Vuosina 1780 – 1781 hän teki pitkän kiertomatkan Berliiniin, Göttingeniin, Pariisiin ja Lontooseen ja tutustui aikansa johtaviin eurooppalaisiin matemaatikoihin.

Autonomian ajalla latina menetti asemansa tieteellisten julkaisujen kielenä saksalle ja ranskalle. Ensin ruotsista ja sittemmin myös suomesta tuli tutkintokieli. Yhteydet Pietariin tiivistyivät eritoten matematiikassa ja tähtitieteessä. 1800-luvun jälkipuolen merkittävin suomalainen matemaatikko oli Lorenz Lindelöf (1827 – 1908). Hän jätti pysyvän tieteellisen jäljen erityisesti variaatiolaskentaan. Uransa loppuvaiheessa Lindelöf toimi mm. yliopiston rehtorina ja vuodesta 1874 alkaen kouluhallituksen ylijohtaja. Hänen pojastaan Ernst Lindelöfistä tuli 1900-luvulla merkittävä suomalaisten matemaatikoiden ”tohtori-isä”.

Lindelöfin oppilas Ernst Bonsdorff kirjoitti 1870 ensimmäisen suomalaisen kompleksianalyysiä käsitelleen väitöskirjan. 1900-luvulla maailmanmaineeseen kohonnut suomalaisen funktioteoreettisen koulukunnan perustaja oli kuitenkin ruotsalaissyntyinen Gösta Mittag-Leffler, joka toimi professorina Helsingissä vain neljä vuotta (1877 – 1881).

Sähkömagnetismi muodostui 1800-luvulla keskeiseksi fysiikan alaksi Euroopassa kulminoituen James Clerk Maxwellin elektrodynamiikassa 1864. Elektrodynamiikka pohjusti tietä 1900-luvun läpimurroille niin suhteellisuusteoriassa kuin kvanttifysiikassakin. Tärkeä linkki elektrodynamiikan tulossa Suomeen oli Ruotsin Kuninkaallisen Tiedekatemian professori Erik Edlund Tukholmassa. Useat suomalaisfyysikot, mm. Selim Lemström, August Fredrik Sundell ja Theodor Homén työskentelivät jossain vaiheessa hänen johdolla.

Suhteellisuusteoria on klassisen elektrodynamiikan suora jälkeläinen. Merkittävin suomalainen suhteellisuusteoreetikko oli vuonna 1908 perustetun Teknillisen korkeakoulun fysiikan professori Gunnar Nordström. Hän kehitti omaa versiotaan yleisestä suhteellisuusteoriasta samaan aikaan Albert Einsteinin kanssa. Vaikka toimivan teorian lopulta loikin Einstein, Nordströmin työt saivat suurta arvostusta. Nordström oli ensimmäisiä, jotka todella ymmärsivät Einsteinin suhteellisuusteorian merkityksen, ja hän ehdottikin tälle Nobelin palkintoa vuonna 1920. Tukholmassa vaikeasti ymmärrettävälle teorialle ei kuitenkaan lämmenty. Einstein sai myöhemmin nobelinsa valosähköisestä ilmiöstä eli fotonin keksimistä, mikä oli toki palkinnon arvoinen löytö sekin.

Vuonna 1898 Helsingin yliopisto sai professori J. A. J. Pippingsköldin lahjoitusvarojen turvin ensimmäisen sovelletun fysiikan professuurinsa. Tehtävään nimitettiin Theodor Homén. Tuolloin Lemström oli ainoa fysiikan varsinainen professori ja Sundell toimi ylimääräisenä professorina. 1900-luvun alkuvuosikymmeninä röntgenfysiikka ja ydinfysiikka saapuivat nopeasti myös Suomeen ja fysiikan laitos sai vihdoin ajanmukaiset tilat Siltavuoreen. Fysiikan tutkimus palasi myös Turkuun, kun 1918 perustettiin Åbo Akademi ja 1920 Turun yliopisto.

Kattavien henkilöhistorioiden ohessa Holmberg ja Stén käsittelevät perusteellisemmin joitakin erityisiä tutkimuskohteita kuten edellä mainittuja hallatutkimuksia, maapallon muodon määrittämistä ja kolmiomittauksia. Erityisen mielenkiintoinen

on tarina veden katoamisesta Itämerestä, nk. ”vattuminskning”. Rantaviivan vetäytyminen Itämeren alueella, varsinkin Pohjanlahdella, on ollut tunnettua niin kauan kuin rannoilla on ollut ihmisasutusta. Vielä 1600-luvulla sitä pidettiin merkinä lopun aikojen tulosta. 1700-luvulla ilmiötä alettiin pohtia myös tieteellisesti. Selitykseksi tarjottiin veden haihtumista, vuotoja merenpohjassa tai jopa maapallon kasvamista, jolloin veden pitää jakautua suuremmalle alueelle. Vuosidadan lopulla ehdotettiin, että maapallo on kimmoisa kappale ja syytä veden vähenemiseen olisikin maannousu. Debatti maannousun ja vedenkatoamisen välillä jatkui aina 1800-luvun lopulle, jolloin selvisi, että Pohjois-Eurooppa oli ollut yli 10 000 vuotta aiemmin valtavan jäämassan alla ja maankuori jatkaa edelleenkin toipumista sen aikaisesta kokoonpuristumisesta.

Revontulet on toinen ihmismieltä muinaisista ajoista lähtien askarruttanut ilmiö. Niiden yhteys Maan magneettikentän häiriöihin on tunnettu 1700-luvulta lähtien. Kun tarkkoja magneettisia havaintoja alettiin tehdä magneettis-meteorologisessa observatoriossa saati revontulitutkimukselle vahvempi empiirinen perusta. Selim Lemströmillä oli oma revontuliteoria, jonka mukaan ilmasähkön purkaukset eli salamet ja revontulet liittyvät toisiinsa. Hän pyrki todistamaan teoriansa Lappiin rakentamallaan ukkosenjohtimia muistuttavilla koejärjestelyillä. Valokuvaamisen kehittymisen myötä kävi kuitenkin ilmi, että revontulet esiintyvät 100 kilometristä ylöspäin olevilla korkeuksilla ja Lemströmin teoria jäi historialliseksi kuriositeetiksi.

Lemström johti myös uterasti Suomen osallistumista ensimmäiseen Kansainväliseen polaarivuoteen 1882 – 1883, jolloin Sodankylässä tehtiin monipuolisia luonnontieteellisiä havaintoja. Tarina tutkimusase-  
man pystyttämistä ja toiminnasta Lapissa on erittäin antoisaa luettavaa.

Holmbergin ja Sténin teos on kattava ja opettavainen katsaus, kuinka matemaattisluonnontieteellinen tutkimus saapui Suomeen ja kuinka nykyinen laaja ja monipuolinen tiedeyhteisömme alkoi monien vaikeuksien myötä kehittyä hyvinkin vaatimattomista lähtökohdista. Kirja tarjoaa mainion välineen ruotsin kielen taidon kohentamiseen ja monet suorat lainaukset menneiltä vuosisadoilta ovat hauskaa luettavaa. Esimerkkinä vaikkapa Sigfrid Forsiuksen teksti noin vuodelta 1611: ”Iorden sigh hafua emoot hela werlden, såsom itt litet korn eller minut emoot en stor cirkel. Och mädan Iordennes omkretz är, efter förfarenheten, till 5400 milor, thet iagh räknar moot en minut i himmelen, så måste en grad sigh belöpa till 32 400 miler, och hela werldennes wijdd 11 664 000 miler”. Tarkkaavainen lukija huomaa, että tekstiin on jossain vaiheessa päässyt livahtamaan harmillinen kertolaskuvirhe. Sattuuhan noita tekijän 10 virheitä nykyfyysikoillekin. Sitä paitsi, kuinka pitkä mahtoi olla tuolloinen ”mil”?

Koviin kansiin sidottu 541-sivuinen teos ei todellakaan ole mikään taskukirja. Siitä tosin saa sellaisen lataamalla kirjan pdf-version matkapuhelimeensa Suomen Tiedeseuran verkkosivuilta. Tiedeseura julkaisee kaikki kustantamansa uudet kirjat Open Access -periaatteella. Erinomaista, tiede kuuluu kaikille!



