

# horisont



PAGULASTEEMA  
TEADLASTE  
PILGU ALL

MIKROPRÜGIST  
HIIGELSAARED  
OOKEANIS

6 / 2015 ■ NOVEMBER–DETSEMBER

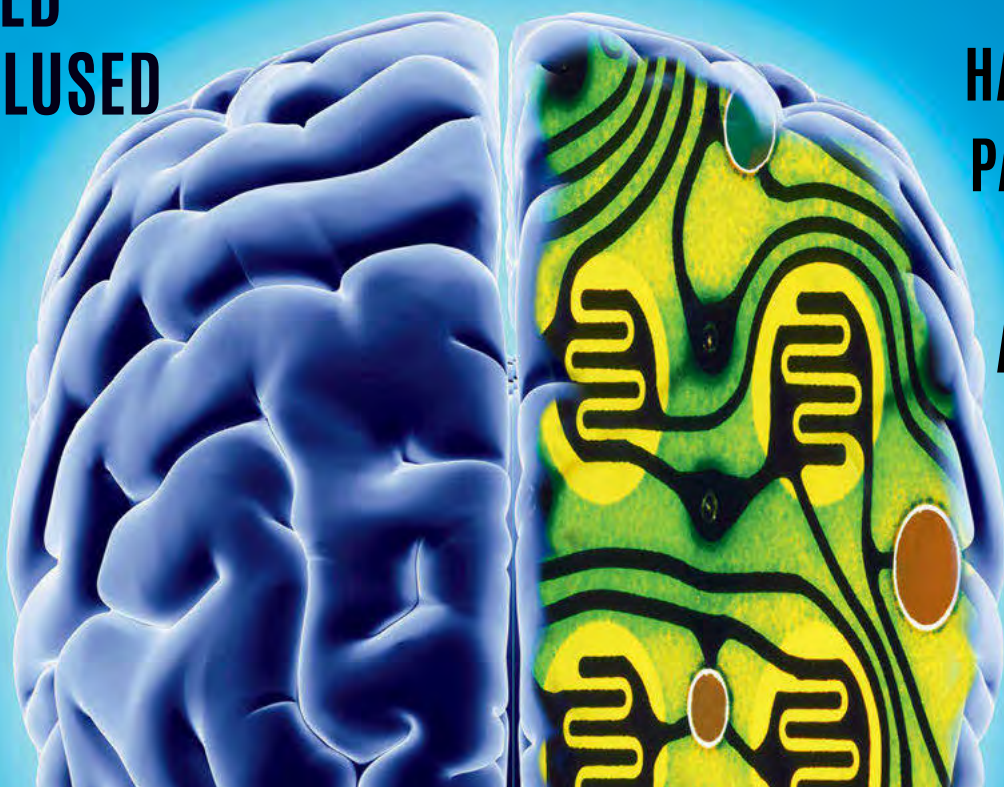
HIND 3.90

## MÕTLEMISE RETSEPT

TUUMAENERGIA  
UUED  
VÕIMALUSED

AJULE JA ARVUTILE

HARULDANE  
PAUNKÕIDE  
LINNA-  
ARHIIVIS



Tõnu Viik – üle poole sajandi tõraverelane  
Luuletaja Eda Ahi teadusest



# Tutulus



TARTU ÜLIKOOL  
ajaloo- ja arheoloogia instituut



HARIDUS- JA  
TEADUSMINISTEERIUM

## EESTI ARHEOLOOGIA AASTAKIRI

Järjekordne aastaring hakkab täis saama ja 2016. aasta jaanuaris jõuab Horisondi lugejateni järjekorras juba neljas Eesti Arheoloogia Aastakiri TUTULUS. Põnevad lugemist noortele ja vanadele, uutel ja ka vanadel teemadel. Tulemas on täiesti uus rubriik – Meeleline arheoloogia. Ajakirja lõpus juba traditsiooniks saanud lastekas, filmiarvustus ja ristsõna.

### Tutuluse neljandas numbris:

- Aastakümneid oodatud leid Kadriorust. Vrakkide Viljo ja Peeter uue elutsükli algus 2015. aasta kevadel. Mida põnevad vanad laevavrakid endas veel peidavad peita võivad?
- Tänapäeva tehnoloogiad pakuvad uusi võimalusi laevavrakkide uurimiseks. Rahvusvahelise uurimisprojekti Arrows raames panid arheoloogid ja paljud erinevate tehniliste alade spetsialistid seljad kokku, et töötada välja spetsiaalselt allveearheoloogiliseks uurimistööks mõeldud robotid.
- Sinine, punane, valge – värvid maapöues. Arheoloogilised tekstiilijäänused on enamasti kaotanud oma esialgse värvuse ja muutunud ühtlaselt pruuniks. Eestis on erandiks Siksälä keskaegsetest matustest leitud surirõiva jäänused, sest riidekatkete algset värvust võib näha sageli juba palja silmaga.
- Aakre Kivivare tarandkalmel – 2000 aasta vanune matmispaik, mis hoiab kiivalt oma saladusi. Miks rajati Eesti kaguosas nii suuri ja võimsaid kalmeid, kes sinna matsid ning kuidas see täpsemalt toimus?
- Narva uue piiripunkti hoone ehitamise käigus avastati Triumfi bastioni alt hulgaliselt inimluid. Selgus, et tegemist on unustuse hõlma vajunud kalmistuga. Luustikel tuvastati rohkelt erinevaid paranenud traumasid. Huvitavaks omapäraks oli matusepaigast leitud suur noorte meeste hulk. Kas luustikke analüüsides on võimalik öelda, mis kalmistuga oli tegu?
- Hammasripatsid – kas üksnes muistsete sõdalaste ja kiviaja küttide mehelikkuse ja agressiivsuse sümbolid või maagilise väe kandjad? Arheoloogiliste leidude põhjal avanev pilt on paraku märksa kirevam.
- Keskaegsete helide jälil – kuidas kõlavad luust vilepillid? Lugu sellest, kuidas noor arheoloog tegi peamiselt keskajal levinud luust vilepillide koopiaid ja puhus neile elu sisse.
- Milline oli kiviaja kõige populaarsem soengustiil? Kellega võitlesid inimesed ellujäämise nimel? Mis juhtub siis kui kohuvad korilased ja maaharijad? Kas armastus nende vahel on võimalik? Seda kõike saame teada 1966. aasta eepilisest linateosest „Üks miljon aastat enne Kristust“.





## Kärdile mõeldes

1989. aasta lõpus kirjutati esimest korda meie ajakirja impressumisse, toimetuse koosseisu ritta Kärdi nimi. Kärt Jänes (hiljem Kärt Jänes-Kapp) asus siis tööle ühiskonnateaduste osakonna toimetaja kohale. Täna, 26 aastat hiljem, ei ole Kärdi nime enam impressumis. Kärt on lahkunud, Horisont võlgneb talle aga toimetamiskultuuri, mis hakkas arenema kunagi poole sajandi eest ja sai viimase lihvi Kärt Jänes-Kapi käe all. Ajaloolasest peatoimetajana oskas ta ühendada nii aegu kui ka inimesi. See haruldane anne aitab Horisondil uutel aegadel palju kindlamalt toime tulla, uutel noortel toimetajatel on, millele edaspidi tugineda.

*Indrek Rohtmets, Horisondi peatoimetaja*

\* \* \*

Kärt oli minu jaoks eeskätt kursusevanem. Ja siis toimetaja. Loomulikult mitte ainult minu jaoks. Ta ise puhkab nüüd teispoolsuses, kuid tema toimetatud tekstid ja raamatud elavad siinpoolsuses edasi. Mõnes neis on Kärti vaata et sama palju kui autorit. Vaevalt et keegi muu toimetaja oleks ette võtnud sedavõrd hullumeelse projekti, nagu Raul Vaiksoo koostatud ajalookogumik „Aja lugu“. Kärt aga võttis ja tegi selle ära. Ikka rõõmu ja helgusega. See helgus jääb Kärdist meile maha ega kao kuhugi. Helgus on igavene.

*Mart Laar, kursusevend ja sõber*

\* \* \*

Suurte mõtete mõtlemiseks on tarvis küllaldaselt jõudeaega, on öelnud Toomas Paul. Eeskujulikus kirjakeeles tehakse vahet, kas tsitaadi lausuja on elavate kirjas või ei ole, ja kasutatakse vastavalt kas täis- või lihtminevikku. Kärdile mõeldes lähevad need kaks ajavormi lootusetult sassi. Sama lugu on suurte ja väikeste mõtetega. Ta nägi alati laiemat konteksti, mõtles suurelt.

Koolibri rahvas ei saa kuidagi mõelda Kärdist lihtmineviku vorme kasutades. Kus tahes ja millal tahes ja mis tahes olukorras võetakse tema seisukohta kui õiget, seda on arvestatud, seda arvestatakse nüüd ja edaspidi. Olgu siis tegu suurte mõtete või vähematega.

*Margit Ross, kolleeg kirjastusest Koolibri*

\* \* \*

Kärdi avar vaimsus ja südameheadus, osavõtlikkus ja leebus, samas järelejätmatu nõudlikkus väarikas suhtlemises väga-väga paljude erineva elukäsitlusega inimestega – nii autorite kui sõpruskonna ringis – on meid kõiki innustanud püüdlemises parema poole.

Kärt kiirgas, enesele teadmata, sellist sihti seadmata. Ta oskas hinge avada ja sissepoole näha. Ka paekivi – meie loodusrikkuse – äratas ta sõnu viimistledes igavikuliste aegade helisevas vaikuses kõigile mõistetavaks.

*Rein Einasto, Paevana*



### SELLES NUMBRIS

# 21

Kati Lind

#### Mikroprügi ja prügisaared meres

Vaikse, Atlandi ja India ookeani hoovuste keeristes triivivad hiiglaslikud prügisaaed. Ekslikult arvatakse, et tegu on saartega, millel on võimalik kõndida. Tegelikult moodustuvad need mikroprügist. Valdavalt plastist koosnev prügisupp on suur oht merekeskkonnale.

# 28

#### Tõraverelane üle poole sajandi

Kohanimi Tõraverse seostub juba aastakümneid Eestimaal täheteadlaste ja astronoomidega. Toomas Tiiveli intervjuu elupõlise tõraverelase, astronoomi Tõnu Viigiga.

# 34

Janet Laidla

#### Struve kaar kümme aastat UNESCO maailmapärandi nimekirjas

Struve geodeetiline kaar on Friedrich Georg Wilhelm Struve eestvõtmisel aastatel 1816–1855 Maa kuju ja suuruse mõõtmiseks rajatud triangulatsiooniahel, mis ulatub Põhja-Jäämere äärest Musta mere äärde. 2820 km pikkuse kaare Eesti piiridesse jäävatest punktides on UNESCO kaitse alla võetud Simuna–Võivere baasjoone otspunktid ja Tartu tähetorn.

# 40

Henri Ormus

#### Tuumajaam – müüdid ja tegelikkus kaalukaasil

Tulevikuhorisonte vaadates on ilmselge, et Eesti energiasektor vajab ümberkorraldamist. Fossilsete kütuste kasutamine ja süsinikurikaste heitmete keskkonda paikamine tuleb energiaportfellis minimeerida ning tuuma- ja taastuvenergia osakaalu järsult kasvatada.

# 50

Andres Laan, Jaan Aru

#### Mõtlemise retsept ajudes ja arvutites

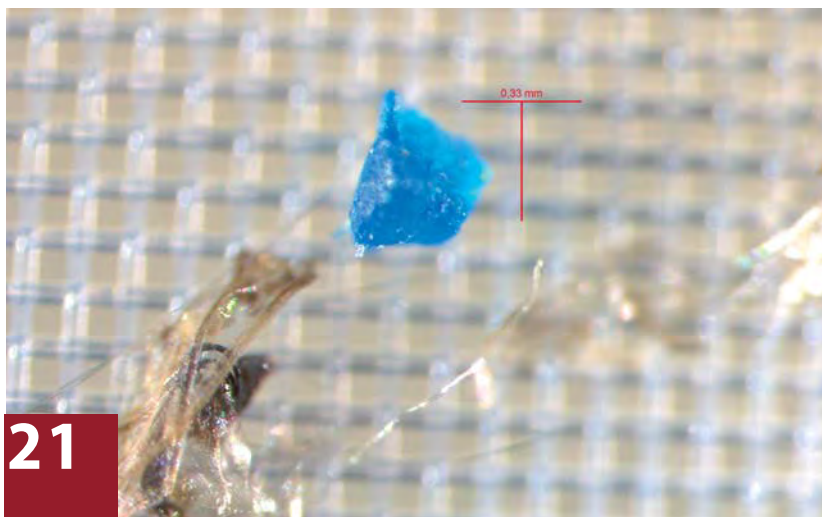
Kas meid üha enam ümbritsevatel tarkadel masinatel on mingisugune seos inimliku mõtlemisega või on need hoopis muud moodi elukad?

# 56

Jüri Engelbrecht

#### Hoolega hoitud teadusmõtte järjepidevus

Küberneetikainstituudi asutaja, akadeemik Nikolai Alumäe käivitatud teadusmõtte järjepidevust on hoolega hoitud ning tema otsest ja kaudset mõju on tänaseni tunda nii Eestis kui kaugemalgi.



# 21



# 34



# 40





8

## RUBRIIGID

### 4 Siit- ja sealtpoolt horisonti

Matemaatilise suurprobleemi tõestusest ei saa keegi aru  
Võrtsjärve madal veetase ohustab järve elustikku  
Robootikal on palju sõpru  
Teadusmalevlased meisterdasid magnetpuuri

### 6 Üksainus küsimus

Leen Rahn ja Liili Abuladze pagulaste rändest

### 8 Kosmosekroonika

Mehitatud lend rahvusvahelisse kosmose-  
jaama ISS  
Euroopa navigatsioonisatelliitide start õnnestus  
Algab andmete allalaadimine sondilt New Horizons

### 11 Sõna lugu

Udo Uibo. Päril ja pärlmutter

### 12 Eesti asi

Karoliine Korol. Poroloon või oranž ollus

### 14 Teine maailm

Tavo Romann. Veetilk räni pinnal

### 16 Arhiivi aare

Tiina Kala. Paunkõites linnaõiguse koodeks

### 18 Paepalad

Rein Einasto. Orgita paas

### 39 Mina ja teadus

Eda Ahi. Teadus kui käsipuu!

### 49 Igameheteadus

Jürgen Jänes. Liuelgem mööda kromosoomi!

### 58 Jõuproovid olümpiaadil

Oleg Košik. Matemaatikud elevantidel külas

### 60 Raamat

Errol E. Harrise „Universum ja inimene“ ja  
Erwin Schrödingeri „Mis on elu?“  
Tõnu Viik. Lugemiselamus ja e-maailm

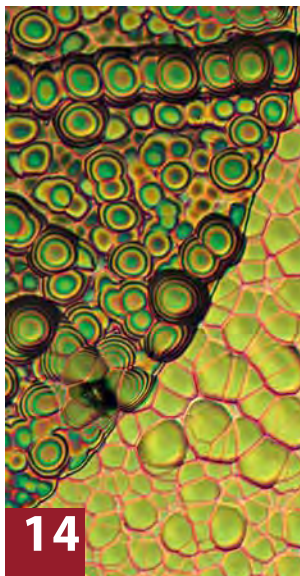
### 62 Enigma

Tõnu Tõnso. Sarnasteks kujunditeks  
jaotamisi

### 63 Ristsõna

### 64 Mälusäru

Indrek Salis ja Jevgeni Nurmla. Arva ära!



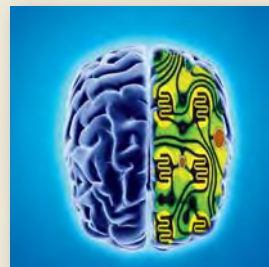
14



16



39



ESIKAANE FOTO: SCIENCEPHOTO / VIDA PRESS

Ilmub aastast 1967. 6 numbrit aastas.

• Toimetuse: Endla 3, Tallinn 10122  
tel 610 4107 / faks 610 4109  
e-post: horisont@horisont.ee

PEATOIMETAJA: Indrek Rohtmets,  
indrek@horisont.ee

TOIMETAJAD: Ulvar Käärt,  
ulvar@horisont.ee  
ja Toomas Tiivel,  
toomas@horisont.ee

KEELETOIMETAJA: Signe Siim,  
signe@loodusajakiri.ee

KUJUNDUS: Kersti Tormis,  
kersti@horisont.ee

• VÄLJAANDJA: MTÜ Loodusajakiri,  
Endla 3, Tallinn 10122  
e-post: loodusajakiri@loodusajakiri.ee

• VASTUTAV VÄLJAANDJA: Triinu Raigna,  
e-post: triinu@loodusajakiri.ee

• REKLAAMIJUH: Elo Algma, 610 4106,  
reklaam@loodusajakiri.ee

• TELLIMINE: 610 4105,  
loodusajakiri@loodusajakiri.ee

ISSN 2228-3471 (e-luger)

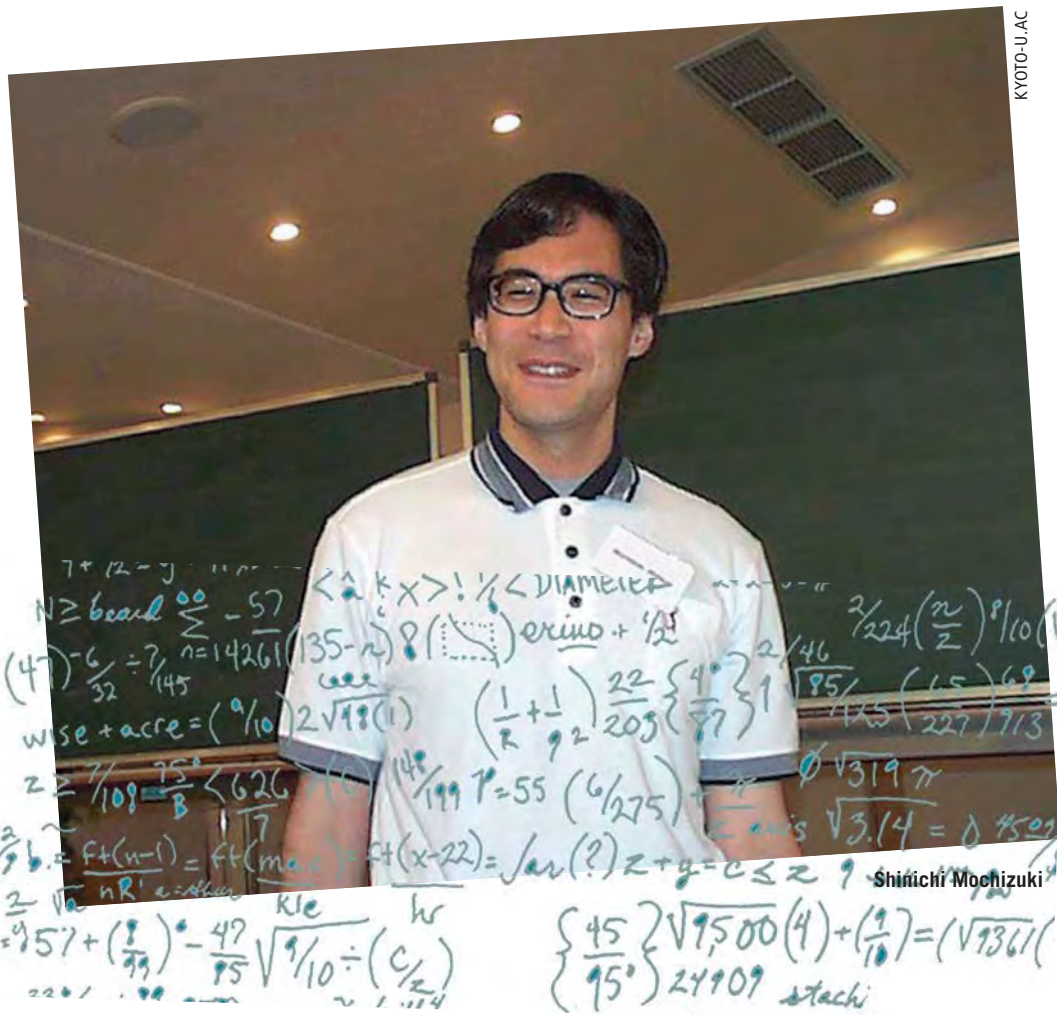
Autoriõigus: MTÜ Loodusajakiri,  
Horisont, 2015

Trükitud trükikojas Kroonpress



Ajakiri ilmub  
Keskkonnainvesteeringute Keskuse  
toetusel





KYOTO-U.AC

## Matemaatilise suurprobleemi tõestusest ei saa keegi aru

Jaapani matemaatik väidab, et on lahendanud ühe tähtsaima matemaatilise probleemi. Aga oh häda – mitte keegi ei oska öelda, kas tal on ka õigus!

30. augusti hommikul aastal 2012 riputas tunnustatud Jaapani matemaatikageenius, Kyoto ülikooli matemaatika-teaduste uurimisinstituudis töötav Shinichi Mochizuki oma koduleheküljele neli mahukat artiklit. Kümne-konna aasta pikkuse töö viljaks oli üle 500 tihedalt matemaatilisi sümboteid täis pikitud lehekülje. Tegu oli potentsiaalse akadeemilise uudispommiga, sest Mochizuki, keda peetakse ka salapäraseks virtuaalvaluuta Bitcoin'i autoriks, kinnitas, et on nendes üles tähendatud nn ABC-hüpoteesi lahenduse – arvuteooria valda kuuluva probleemi tõestuse, mille kallal olid tema kolleegid üle kogu ilma juba ligi 30 aastat tulutult pead murdnud.

Kui Mochizuki tõestus paika peab, oleks see sajandi sündmus matemaatikas – revolutsiooniline murdepunkt täisarvuliste võrrandite uurimisel.

### Nagu uuring tulevikust

Üks esimene, kes Mochizuki ABC-hüpoteesi tõestuse kodulehelt avastas, oli tema töökaaslane Akio Tamagawa. Tema ja veel üks kolleeg olid kursis, et Mochizuki oli juba aastaid hüpoteesi kallal aju ragistanud. Tamagawa teatas Mochizuki postitusest kohe Ühendkuningriikides Nottinghami ülikoolis töötavale arvuteoreetikule Ivan Fesenkole. Viimane tõmbas Mochizuki tööd kohe enda arvutisse ja hakkas neid õhinaga lähemalt uurima. Üsna pea sattus ta aga segadusse. „Neist oli võimatu aru saada,“ tunnistas Fesenko. Sama nõutu oli ka USA Wisconsin-Madisoni ülikooli arvuteoreetik Jordan Ellenberg: „Tundub, nagu loeksid uuringut, mis on pärit tulevikust või kuskilt kosmosest.“

Kolm aastat hiljem ehk siis täna on olukord sisuliselt sama: Mochizuki töö tulemusi pole suutnud ükski mate-

maatik ümber lükata ega ka kinnitada. Praeguseks on suutnud ABC-hüpoteesi võimaliku lahenduse läbi lugeda vaid neli matemaatikut, kuid paraku pole nad suutnud seda kuidagi teistele selgeks teha. Piltlikult meenutab asjade seis tuntud Briti komöödiasarja *Monty Python*'i episoodi kirjanikust, kes on paberile pannud maailma kõige naljakama anekdoodi. Igaüks, kes seda loeb, sureb naeru kätte ja ei saa seda enam teistele edasi rääkida ...

### Lõpmatu hulk võrrandeid üheks tervikuks

Mida ABC-hüpotees endast siis kujutab? Hüpoteesi esitasid 1980. aastate keskpaiku prantsuse matemaatikud Joseph Oesterlé ja David Masser. Hüpoteesi formuleering on suhteliselt lihtne ja nõuab ainult üht uut, ruutvaba arvu mõistet – see on arv, mis ei jagu ühegi arvu ruuduga. Nii on näiteks arv 15 ruutvaba, arv 18 aga mitte. Mingi täisarvu  $n$  ruutvaba osa on suurim ruutvaba arv, mille saab korrumtamise teel moodustada selle arvu teguritest. Arvuteoreetikud tähistavad seda  $sqp(n)$ . Näiteks  $sqp(15) = 15$ ,  $sqp(16) = 2$ ,  $sqp(17) = 17$ ,  $sqp(18) = 6$ . Ruutvaba arvu ruutvaba osa on see arv ise.

ABC-hüpotees käib arvu-paaride kohta, millel pole ühistegureid. Kui niisugune paar on  $A, B$ , siis arvutamisel  $C=A+B$  ja seejärel  $sqp(ABC)/C$ . Hüpoteesi üks autoritest, Masser, tõestas, et viimasena toodud suuruse saab  $A, B$  sobiva valikuga kui tahes väikeseks teha.

Hüpotees aga sõnastatakse järgmiselt: avaldis  $[sqp(ABC)]^n/C$  saavutab oma miinimumväärtuse mis tahes  $n > 1$  korral.

Sellel esialgu küllaltki kummalisel hüpoteesil on väga kaalukad järeldused. Nimelt kui see on tõepoolest õige, siis on võimalik lõpmatu hulk diofantilisi võrrandeid (s.o on mitme tundmatuga täisarvuliste kordajatega algebralised võrrandid, millele otsitakse täisarvulisi lahendeid), mis seni on käsitletavad igaüks omaette, ühendada üheks



matemaatiliseks tervikuks ja anda neile ka ühtne lahendusmeetod.

#### Erilisi selgitusi pole

Avalikkuse tähelepanu vältiva olemusega pole Mochizuki ise hüpoteesi lahendusest laiemas ringis arusaamise tekkimisele kuidagi kaasa aidanud. Kuigi juba 23-aastaselt Ameerika Ühendriikidest Princetoni ülikoolist doktori-kraadi saanud Mochizuki valdab hästi inglise keelt, on ta oma tööd seni esitlenud vaid Jaapanis ja jaapani keeles. Matemaatikute ringis on temalt pingsalt selgitusi oodatud ja teda on seetõttu mujale esinema kutsutud, ent mees on sellistest pakkumistest keeldunud. „Kas ainult mulle tundub nii või siis Mochizuki tõesti näitabki matemaatikute kogukonnale keskmist sõrme,” on Belgia Antwerpeni ülikooli matemaatik Lieven Le Bruyn oma ajaveebis Jaapani kolleegi kummalist käitumist kritiseerinud.

Nüüd aga on matemaatikud otsustanud tõestuse käsile võtta ja üritavad asjas viimaks selguse majja saada. Nii peaks detsembris Ühendkuningriikides Oxfordis toimu- ma ABC-hüpoteesi lahendusest sotti saamisele keskenduvad mõttetalgud. Mochizuki sellele seminarile ise kohale ei lähe, kuid on siiski lubanud vähemalt Skype'i vahendusel osalejate küsimustele vastata.

#### Mõistmiseks kulub aastaid

Soome Aalto ülikooli järel-doktorant Kaie Kubjas, kelle uurimisvaldkonnaks on algebraline ja diskreetne geomeetria, tõdeb teemat kommenteerides, et teda see omamoodi kurioosne uudis väga ei üllata. „Näiteks ka nelja värvi teoreemi tõestus on sadu lehekülgi pikk ning kasutab ka arvutite abi. See tõestati aastal 1976, aga isegi tänaseni pole kõigi matemaatikute seas tunnustatud. Või Andrew Wilesi Fermat' suure teoreemi tõestus, mis on üle 150 lehekülje pikk. Viimase kontrollimisel avastati viga, mille parandamiseks kulus ligi aasta,” viitab ta, kuivõrd kaua on matemaatikud erinevate probleemide tõestusi „seedinud”.

Tõestustest arusaamine on aeganõudev paljuski seetõttu,

et erinevad uurimisvaldkonnad on väga spetsiifilised ning enne tuleb aastaid õppida, kui mingil alal spetsialistiks saadakse. „On tavaline, et üks matemaatik ei saa aru teise matemaatiku uurimistööst. Ei ole ilmselt väga palju matemaatikuid, kellel on piisavad taustteadmised, et Mochizuki tõestusest aru saada,” tähendab Kubjas. „Teiseks kulub tõestuste lugemiseks palju aega, sest iga üksik lause on vaja läbi mõelda, miks on see eelneva põhjal loogiliste samade puhul siiski tuletatav.”

#### Seitse Millenniumi-probleemi

Kõige kuulsamad matemaatilised probleemid, mille kallal teadlased üle ilma pead murravad, on 2000. aastal USA-s Clay matemaatikainstituudis kirja pandud seitse nn Millenniumi-probleemi. Iga probleemi lahendamise eest on institut väljapaistavalt pakkunud miljonidollariise preemia. Nendeks pähkliteks on Yangi–Millsi kalibratsiooniteooria, Riemanni hüpoteesi, P versus NP probleem, Navier–Stokesi võrrandid, Hodge'i konjektuur, Poincaré' hüpoteesi ning Birch'i ja Swinnerton-Dyeri konjektuur.

Siiani on sellest nimekirjast ainukesena üldise tunnustuse pälvinud Poincaré' hüpoteesi tõestus. Aastal 2003 pähkli katki hammustanud tagasihoidlik vene matemaatik Grigori Perelman keeldus aga kopsakat auhinnaraha vastu võtmast.

2004. aastal väitis USA Purdue ülikooli professor Louis De Branges de Bourcia, et tõestas Millenniumi-probleemidest Riemanni hüpoteesi – ülikeerulise ainult ühe ning iseendaga jagatavate algarvude olemust puudutava teooria.

Mullu tekitas elevust uudis järjekordse suurprobleemi – vedelike liikumist puudutavate Navier–Stokesi võrrandite – lahendamisest. Samas oli probleemi tõestanud Kasahhi matemaatik Muhtarbai Otelbajev omakorda uue probleemi ees – tema tõestuskäik oli vaja laiemale asjatundjate ringile mõistetavaks muutmiseks inglise keelde tõlkida. Sobivate teadmistega tõlkijat polnud aga kuskilt võtta. 



Madal veetase soodustab Võrtsjärves tähkja vesikuuse vohamist.

## Võrtsjärve madal veetase ohustab järve elustikku

**Viimastel aastatel on Võrtsjärvel sisuliselt ära jäänud kevadine suurvesi, mistõttu on suvise, põhiliselt aurumisest tingitud languse tõttu ka sügisene veetase järves jäänud väga madalaks. See aga avaldab Eesti Maaülikooli teadlaste hinnangul olulist mõju järve elustikule.**

**E**esti Maaülikooli teadlased Ain Järvalt ja Lea Tuvikene märgivad, et lisaks eelmise aasta ekstreemsetele tingimustele on ka tänavune aasta Võrtsjärve jaoks eriline. „Kui pikaajaline oktoobri keskmine veeseis Rannu-Jõesuu mõõdupunktis on 29 cm üle graafiku nulli, siis tänavu oktoobri keskpaigas oli veetase üle poole meetri madalam: –28 cm,” viitavad nad. Samas oli ka eelmise aasta oktoobri keskmine veetase küllaltki madal.

Võrtsjärve elustiku seisund oleneb Järvalt ja Tuvikese kinnitusel kõige rohkem veetasemest, mille keskmine sesoonne amplituud on 1,4 m ja mis põhjustab kuni kolmekordset veemahu muutust järves. Viimase 40 aasta jooksul on silmnähtavad muutused toimunud järve suurtaimestikus. „Eutroofsele järvele iseloomulik kalda-vee- ja veesisene taimestik ümbritseb juba praktiliselt katkematu võõra kogu järve, kitsas tuulte eest varjatud lõunaosas on aga veesisene taimestik levinud kogu avavee-alal. Suurtaimestiku liigiline mitmekesisus on järves vähenenud ning pilliroo ja tähkja vesikuuse alad on laienenud – veetaimed hõivavad juba 23% järve pindalast,” osutavad Järvalt ja Tuvikene. „Madala veeseisu aastad ainult soodustavad suurtaimestiku levikut, kõige silmatorkavam pikaajaline muutus Võrtsjärve taimestikus on olnud just roostike juurdekasv.”

Katkematu ja tihe roostikuvöönd takistab näiteks kaladel juurdepääsu kaldalähedastele luhaaladele, mis on Võrtsjärve kalanduse jaoks oluliste kalaliikide haugi ja latika kudealad.

Tihe roostik on elualaks kõlbmatu ka lindudele nagu tuttpütile, hallhaigrule ja sukelpartidele. •

EMÜ/Horisont

# 1

kaltsiumiiooni suurune on Saksamaa Mainzi ülikooli teadlaste meisterdatud maailma väikseim riistapuu, millega on võimalik sooja toota.

Science



# Pagulastest

**V**iimastel kuudel on Euroopa Liidu maid tabanud suur põgenike rändelaine. Millised on pagulasrände tagajärjed Eesti ja Euroopa rahvastikule?

Tagajärjed sõltuvad olulisel määral sellest, kui suurest inimeste hulgast jutt käib. Euroopa Liitu on viimase viie aasta jooksul (2009–2014) elamislubade statistika järgi saabunud kokku veidi üle üheksa miljoni sisse- ja väljarändaja. Sama aja jooksul on pagulase staatuse või rahvusvahelise kaitse saanud ligi 600 tuhat inimest. Nende arvude taustal võib pagulasrände senist mõju rändevoogude kogumahuga võrreldes hinnata suhteliselt tagasihoidlikuks. Eestis on aasta jooksul sisse- ja väljarännanud inimeste arv viimasel kümnendil kõikunud kahe kuni nelja tuhande vahel, suurem osa sellest on naasevränne. Pagulase staatuse on Eestis alates 1990. aastatest kuni 2014. aastani saanud kokku alla kahesaja inimese. Seega Eesti rahvastiku koostist pole pagulased seni mõjutanud.

Samas on põgenike teemal minevikutrendidest edaspidiste suundumuste tuletamine keerukas. Põgenikega seotud rändevoogude eripära on nende suur ebaühtlus. Põgenikelainete tekkimine on seotud tõsiste kriisidega, mille aega ja kohta on raske täpselt ette näha. Kui selline laine kuskil tekib, siis üldjuhul suubub see paika, kuhu inimestel on vahemaa, looduslike tingimuste, poliitiliste piiride jms tõttu lihtsam siirduda. Kuna vahetud kriisikolled on Euroopast ja Eestist suhteliselt kaugel, on rahvusvahelise migratsiooniorganisatsiooni (IOM) andmeil meie maailmajakku jõudnud alla viiendiku globaalsest põgenikevoost.

Siiski on olemas hulk riskitegureid, mis võivad konfliktide puhkemise ohtu suurendada. Julgeolekut käsitlevad uuringud on osutanud rahvastikuga seotud stressitegurite olulisusele kriiside puhkemisel. Konkreetsemalt on välja toodud väga suur noorte osakaal, väga kiire linna- ja rahvastiku kasv ning kriitiliste ressursside nagu joogivesi või põllumaa vähesus. Nende riskitegurite kuhjumisel on suur tõenäosus kodusõjale sarnanevate tsiviilkonfliktide tekkimiseks, mis võivad vallandada arvukaid põgenikevooge. Konfliktiohu pingerea tipus asuvad nende tegurite tõttu valdavalt Aafrika, Lähis-Ida ja Aasia hilise moderniseerumisega riigid. Kui võrrelda tegelikke põgenikevoogusid riskitegurite geograafiaga, siis suurima põgenikevooga lähteriikide hulgas on alates 2000. aastast domineerinud Afganistan, sellele järgnevalt Iraak ning viimastel aastatel enim Süüria. Viimase nelja aasta jooksul on Euroopast asüüli palunud ligi pool miljonit Süüria päritolu inimest.

Milliseid järeldusi saame eelnevast Euroopa ja Eesti jaoks teha? Esiteks tuleks teha kõik võimalik pagulaskriiside ennetamiseks. See tähendab potentsiaalsete konfliktiriikide

**Täna rahvastikku noorendavad sisse- ja väljarändajad muutuvad 30–40 aasta pärast pensionärideks. Kusjuures sellisel juhul tuleb vananemisprobleemi kõrval tegeleda veelgi suuremas mastaabis ka lõimumisküsimustega.**

arengu ja stabiilsuse toetamist rahvusvahelise kogukonna koostöös. Samas on selge, et konflikte ja kriise täielikult vältida ei õnnestu. Nende puhkemisel tuleks hättasattunud inimesi aidata võimalikult tõhusalt lähiriikides, kust neil oleks lihtsam olude normaliseerudes kodumaale tagasi pöörduda. Igal juhul tuleb arvestada sellega, et üks osa põgenikest võib sarnaselt praegusele lainele leida tee ka Euroopasse ja Euroopa Liidu kriisihalduse võimekuse uuesti proovile panna.

Teiseks ja olulisemaks küsimuseks on see, kui palju sisse- ja väljarändajaid Euroopa võiks endale lubada. Rahvastiku prognooside kohaselt suureneb Aafrika rahvastik 21. sajandi lõpuks praeguselt 1,2 miljardilt ligi nelja miljardini. Isegi kui sellest juurdekasvust suhteliselt väike osa Euroopasse siirdub, muudab see Euroopa rahvastiku pilti küllalt märkimisväärselt. Suuremahulise sisse- ja väljarände pooltargumendina esitatakse sageli väide, et sisse- ja väljarändajad aitavad vastu seista rahvastiku vananemisele ja tagavad Euroopas väljakujunenud heaolusüsteemide kestlikkuse. See vastab tõele, kuid paraku on mahuka sisse- ja väljarände rahvastikku noorendav toime ajaliselt piiratud. Sarnaselt ülejäänud inimestele saavad ka sisse- ja väljarändajad iga aastaga vanemaks ning täna rahvastikku noorendavad sisse- ja väljarändajad muutuvad 30–40 aasta pärast pensionärideks. Kusjuures sellisel juhul tuleb vananemisprobleemi kõrval tegeleda veelgi suuremas mastaabis ka lõimumisküsimustega. Seega tuleb Euroopal ja sealhulgas Eestil vastata küsimusele, kui suurt rahvastiku mitmekesisust suudetakse hallata, arvestades, et samaaegselt tuleb lahendada nii vananemise kui ka lõimumise seonduvad väljakutsed. •



**LEEN RAHNU**  
TALLINNA ÜLIKOOLI EESTI  
DEMOGRAAFIA KESKUSE TEADUR



**LIILI ABULADZE**  
TALLINNA ÜLIKOOLI  
EESTI DEMOGRAAFIA KESKUSE  
PROJEKTIJUHT

FOTOD: ERAKOGU



ROBOTEX

Hetk 2014. aasta Robotexilt. Tänavu oodatakse Robotexile 1200 robotimeistrit ja 15 000 pealtvaatajat.

# 

**Eesti lastel on täna võimalus käia huviringides, millest veel kümme aastat tagasi suurelt unistada ei julgetud. Loodusring – see oli arusaadav, kunstiring samuti. Aga robotika – kas tehnikafrüididele? Täna ei imesta keegi, kui juba lasteaias robotika-komplektid välja võetakse ja ehitama-programmeerima asutakse.**

**R**obotikahuvi levimisele ja robotikaringide tekkele on kaasa aidanud mitmed tegurid. Kõige tähtsam on kooli huvi ja oskaja õpetaja või ringijuhendaja olemasolu, sama oluline on võimalus toetust taotleda ja koolitust saada.

**Kes arendavad robotikat?** Robotikat on aastate jooksul arendanud ja populariseerinud mitmed asutused, ettevõtte ja mittetulundusühingud koostöös.

MTÜ Robotika eestvedamisel on aastail 2010–2014 tehtud 146 robotiteatrieten-

dust ja 36 koolitust, kus osales 830 õpetajat. 2013–2015 on robotikavõistlustel Junior FIRST LEGO League ja FIRST LEGO League osalenud 71 haridusasutust ja huvikooli. MTÜ Robotika statistika järgi on koolirobootika projektiga ühel või teisel moel hõivatud 40% Eesti koolidest.

Sihtasutus Vaata Maailma populariseerib robotikat noorte seas nutilaborite kaudu. Vaata Maailma andmeil tegutses Eestis 2014/2015. õppeaastal 67 nutilaborit, robotikaalastes nutilaborites osales enam kui 1100 last.

Hariduse Infotehnoloogia Sihtasutus (HITSA) on loonud ProgeTiigri programmi, mille eesmärk on õppurite tehnoloogilise kirjaoskuse ja digipädevuse tõstmine. ProgeTiigri raames pakutakse õpetajatele ka tasuta robotika-koolitusi, töötatakse välja robotika õppematerjale, samuti toetatakse haridusasutuste robotikakomplektide, mikrokontrollerite arendusplaatide, elektroonikamehaanika ning 3D-printerite komplektide soetamist.

Pika ajalooga on Baltikumi suurim robotivõistlus Robotex, mis toimub Tallinna Tehnikaülikooli koordineerimisel koostöös Tartu Ülikooli ja HITSA-ga. Kolmepäevasest võistlusest, mis toimub tänavu 4.–6. detsembrini TTÜ spordihoones, oodatakse osa võtma 1200 robotiehitajat ning ligikaudu

15 000 pealtvaatajat. Mõõtu on võimalik võtta seitsmeteistkümnel erineval robotivõistlusel, lisaks on palju uudistamist tehnoloogianäitusel ning näeb ka parimaid loovate konkursside töid. Kõik robotikahuvilised saavad osaleda erinevatele vanusegruppidele mõeldud töötubades.

Robotexi eesmärk on äratada lastes ja noortes huvi tehnikaerialade ja teaduse vastu ning olla number üks teerajaja insenerialadele õppima minekul. Robotivõistluse sihtrühm on lasteaialapsed ja algkooliõpilased, põhikooli- ja gümnaasiumiõpilased, tudengid, ettevõtjad, teadlaskond, tehnikahuvilised. Robotex on vajalik robotika arenguks Eestis: robotiklubide arengu kiirendamiseks on vaja reaalselt väljundit, kus saab katsetada erinevaid inseneritehnilisi lahendusi.

## 

**Robotikast koolitaja ja koolijuhi pilgu läbi**  
HITSA koolitaja Janika Leoste ütleb, et koolis robotikaõppe käivitamine sõltub koolidirektori meelsusest ja oskustega õpetajate olemasolust. „Kui õpetajate jaoks on olemas koolitused ja ka sisekoolitused, siis koolidirektorite julgustamiseks oskan öelda vaid ühte: ka teie kooli õpilased hakkavad kümne aasta pärast elama maailmas, kus enamik töökohti on vähem või rohkem robotiliste seadmete

tööga seotud, andke neile juba täna võimalus sellesse maailma piiluda,“ sõnab Leoste. „Õpetajad tulevad koolitusele tavaliselt siis, kui koolis on otsus vahendite soetamiseks juba tehtud ning on vaja esimesi õpetajaid, kes hakkaksid lapsi valikainetundides (tehnoloogiaõpe, robotika vms) õpetama. Samas on ka koole, kus vahendid on aasta seisnud ning õpetaja on saadetud koolitusele, et vahendid kasutusele võtta. Isegi aktiivseid lapsevanemaid on osa võtnud, kes on hiljem koolis robotikaringi eestvedajaks saanud.“

Tartumaa Konguta kooli direktor Liina Tamm tõdeb, et väike maakool peab pidevalt tõestama lastevanematele, et ka maal on elu ja võimalused laste mitmekülgsaks arenguks olemas. Robotika oli tema sõnul võimalus panna kooli proovile tulevikku suunatud innovatsioonis. „Robotika eeldab legaalselt tarkvara arvutites ja robotikaseadmeid. Loomulikult on vaja ka raha, kuid elementaarsed võimalused selleks on olemas nii riigi (taotlusfond HITSA kaudu) kui ka eraisikute toel. Eelkõige on aga vaja tahtmist ja pisut organiseerimist,“ kirjeldab Tamm. „Meil toimub robotika kord nädalas robotilabori põhimõttel, erinevates gruppides ja korraga 2–3 tundi rühmale. Vahendite on vaja ka jätkuvalt uuendada, sestap tuleb olla ise aktiivne ja otsida võimalusi. Meil õnnestus sellel aastal saada juurde Raspberry-Pi seadmeid, nii et nüüd ootan põnevusega, kuidas neid kasutama hakatakse. Laste huvi on suurem, kui võimalused lubavad!“

Õpetajana näeb ta, et lapsed on muutunud julgemaks, katsetajateks ning kindlasti ka meeskonna- ja koostöö tegijateks. „Mulle meeldib, et nad on aktiivsed „teistmoodi mõtlejad“, oskavad paremini mõista põhjus-tagajärg suhteid, samuti on nende planeerimisoskus tunduvalt paranenud. Robotika tõi meie kooli sisse programmeerimise kui õppeaine, millega alustame 1. klassist juba kolmandat aastat,“ märgib Tamm. •

Kristajn Lind





SCANPIX / VIDA PRESS

1. pardainsener, Taani astronaut Andreas Mogensen (vasakul) Euroopa Kosmoseagentuurist ESA; Sojuz TMA-18M komandör, kosmonaut Sergei Volkov (keskel) Venemaa föderaalset kosmoseagentuurist Roscosmos ja 2. pardainsener, Kasahhi kosmonaut Aidyn Aimbetov (Kazcosmos) vestlemas ajakirjanikega nende visiidi Gagarini nimelisse kosmonautide treeningkeskusesse Moskva lähedal 7. augustil 2015.

EUROPEAN ASTROTECH



Galileo süsteemi navigatsioonisatelliit.

## Mehitatud lend rahvusvahelisse kosmosejaama ISS

2. septembril 2015 kell 04:37 UT startis Baikonuri kosmodroomilt kosmoselaev Sojuz, pardal Venemaa kosmonaut Sergei Volkov, ESA astronaut, esimene taanlane kosmoses, Andreas Mogensen ja kasahhi Aidyn Aimbetov.

Tegu oli viiesajanda stardiga stardiplatvormilt, kust 1961. aastal lendas kosmosesse esimene inimene Juri Gagarin. Algselt pidi lennul osalema ka nn kosmoseturist, kuid nii Briti lauljanna Sarah Brightman kui ka Jaapani ärimees Satoshi Takamatsu loobusid ja nii läkski järjekord kasahhile. Kuna vahepeal on ISS viidud kõrgemale orbiidile, siis kasutati pikemat ja ohutumat teekonda, mis kestis 2 ööpäeva senise 6 tunni asemel. Reedel, 4. septembril kell 07:42, pökkus kosmoselaev edukalt orbitaaljaamaga

ISS. Nüüd viibis seal kokku 9 inimest – viimati oli niipalju novembris 2013. 12. septembril pöördusid Andreas Mogensen ja Aidyn Aimbetov Maale tagasi koos ISS-i pikaajalise komandöri Gennadi Padalkaga. Tema asemel täidab nüüd komandöri kohuseid NASA astronaut Scott Kelly. Maandumine toimus edukalt Kasahstani stepis kell 00:51 UT. Üks praeguste pikaajaliste orbiidil viibimiste eesmärkidest on uurida inimeha kohandumist kosmiliste tingimustega, et valmistada ette näiteks lende Marsile. •

## Euroopa navigatsiooni-satelliitide start õnnestus

11. septembril kell 02:28 UT startis ESA kosmodroomilt Kourou Prantsuse Guajaanas kanderakett üheksanda ja kümnenda Galileo süsteemi navigatsioonisatelliidiga, mis jõudsid ka edukalt ettenähtud orbiidile.

Sellela lõppes ebaõnnestumiste jada, mis sai alguse novembris 2014, mil Venemaa kanderaketi neljanda astme kütusevoolikute külmumise tõttu jõudsid satelliidid viis ja kuus ettenähtust erinevale orbiidile ning seetõttu lükati edasi ka satelliitide seitse ja kaheksa start. Tõsi – viienda ja kuuenda tehiskaaslase orbiite on õnnestunud asuda korrigeerima ning loodetakse, et järgmisel aastal võib neist juba ka mingit kasu olla. Esialgne plaan oli Galileo süsteem käiku lasta 2016. aasta lõpuks 16 satelliidiga, nende arv peaks edaspidi jõudma kolmekümneni, millest omakorda 6 on reservis. •



NASA-JHU/APL-SWRI

## Algab andmete allalaadimine sondilt New Horizons

5. septembril lülitati kääbusplaneeti Pluto külasthanud kosmosesond New Horizons intensiivsesse andmete Maale ülekandmise režiimi.

Et möödaland Pluto süsteemist võttis küllaltki vähe aega, oli süsteem üles ehitatud nii, et koguda võimalikult palju mõõtmisandmeid ja salvestada need esmalt andmekandjatele sondis. Seni on Maale saabunud hinnanguliselt 5% kogutud andmetest. Saabumata on aga kõige väärtuslikum osa – parimad andmekogumid, kõrglahutusega fotod ja spektrid, tähtsaimad atmosfääriandmed jne. Arvatakse, et kogu materjali saatmiseks läheb kuni aasta. Raadiosignaal kosmosesondilt New Horizons jõuab Maale umbes 4,5 tunniga. •

Kosmosesondi New Horizons foto Pluto ekvaatori lähistel olevatest 3,4 km kõrgustest mägedest.

Jüri Ivask  
Horisondi kosmosekroonik





kutsub:

BERIT KONTSERT

# JÕULUGALA

## Koit Toome & Maria Listra

Elegantsses stiilis kontserdid 13.-28. detsembrini üle Eesti.

Aegumatult klassikaliste jõululaulude kõrval kõlavad hingematvalt kaunid **Bocelli** ja **Brightmani** poolt tuntuks lauldud palad “**Nessun Dorma**”, “**Time to Say Goodbye**” jpt.

Laval ka Jorma Puusaag (klassikaline kitarr) ja Joel Rimmel (klaver).

|         |         |                      |
|---------|---------|----------------------|
| P 13.12 | kell 19 | Viimsi kirik         |
| E 14.12 | kell 19 | Keila kirik          |
| T 15.12 | kell 19 | Võru Kannel          |
| K 16.12 | kell 19 | Põltsamaa kirik      |
| N 17.12 | kell 19 | Tartu Peetri kirik   |
| R 18.12 | kell 19 | Tallinna Jaani kirik |
| L 19.12 | kell 16 | Pärnu Kontserdimaja  |
| P 20.12 | kell 19 | Rapla kirik          |

|         |         |                        |
|---------|---------|------------------------|
| E 21.12 | kell 19 | Jõhvi kirik            |
| T 22.12 | kell 19 | Rakvere kirik          |
| K 23.12 | kell 19 | Paide kirik            |
| R 25.12 | kell 16 | Haapsalu toomkirik     |
| L 26.12 | kell 16 | Viljandi Pauluse kirik |
| P 27.12 | kell 16 | Kuressaare kirik       |
| E 28.12 | kell 19 | Tallinna Kaarli kirik  |



Piletid müügil piiratud koguses Piletilevis ja kohapeal hinnaga 10-18 eurot.

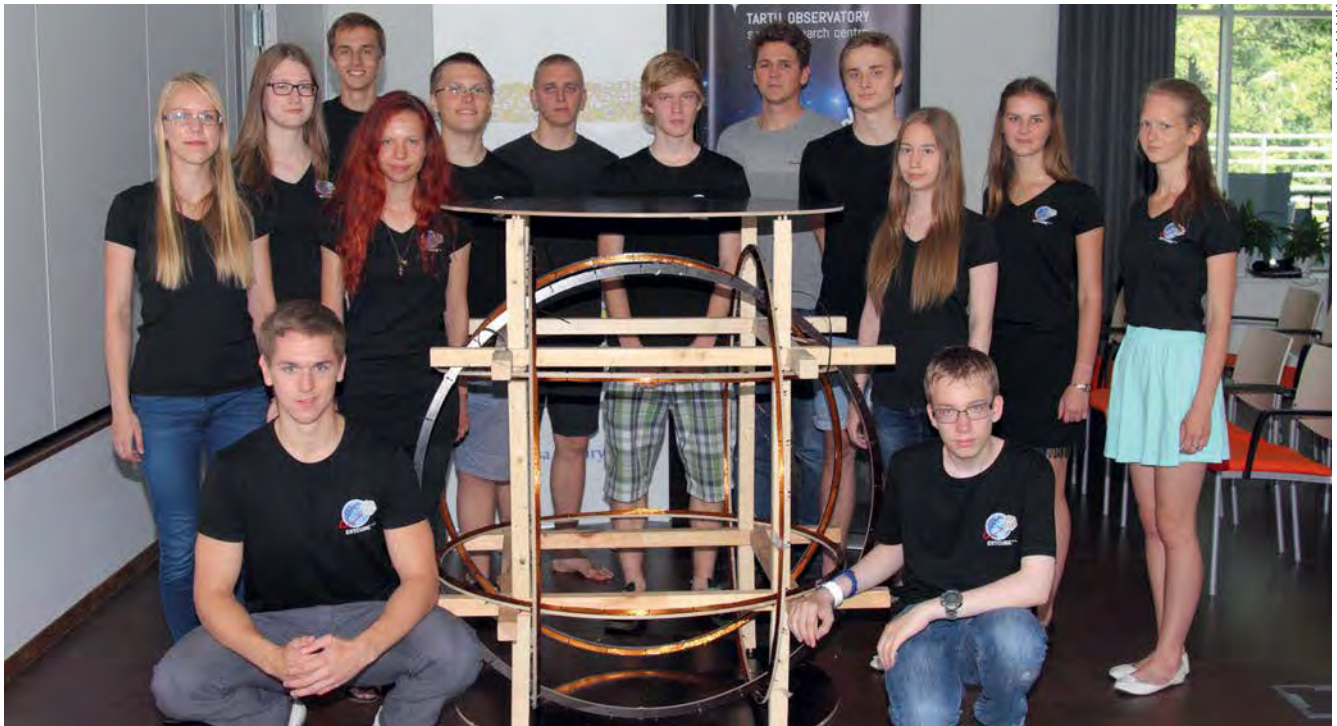
POHJAKESKUS



ilm.ee

EESTI LOODUS





VIILU ALLIK

Teadusmalev 2015 osalised enda kätetööga: ees kükitavad (vasakult) Eigo Varemäe ja Daniil Lepkin, tagareas seisavad (vasakult) Anni Kasikov, Laima Anna Dalbina, Markus Rene Pae, Viktorija Leimane, Gregor Eesmaa, Karl Reinkubjas (maleva vanem), Carel Kuusk, Andris Slavinskis (Eesti Tudengisatelliidi projekti juht), Reinis Irmejs, Karina Sein, Eva-Maria Tõnson ja Kelli Randmäe.

## Teadusmalevlased meisterdasid magnetpuuri

**Teadusmaleva kutsus ellu Mart Noorma, projekti eesmärk on pakkuda noortele võimalust sisustada oma suvi tegusalt ning töötada teadus- asutuses. Tänavune Teadusmalev toimus koostöös Tartu Ülikooliga Tõraveres Tartu Observatooriumis ning maleva ülesanne oli ehitada magnetvälja tekitav Helmholtzi puur, milles saaks katsetada kuupsatelliiti või selle osi.**

Eesti koolisüsteem on väga faktikeskne. Riigi ettevalmistatud õppekava järgivad õpetajad üsna jäigalt. Selline korraldus ei võimalda läheneda õppimisele loovalt ja seeläbi arendada õpilastes oskusi ning hoiakuid. Kogu õppimise eesmärgiks peab olema ühtse maailmapildi kokkupanek, kuid kah-

juks lõpeb tegevus enamasti tuima faktiõppega, tekitamata süsteemi.

Teadusmalevas toimuvad protsessid teistmoodi. Osalevad noored moodustavad meeskonna, kelle ühiseks ülesandeks on lahendada teaduslik probleem. Tõeline väljakutse seisneb selles, et neile ei öelda iga sammu ette. Õpilased peavad lahenduse ise välja mõtlema. Eriti keeruliseks muutus malevas asi siis, kui tuli valida mitme samasuguse ja võrdselt hästi töötava lahenduse vahel. Noored kritiseerisid alguses sellist töökorraldust, kuid üsna kiiresti nad mõistsid, et selline elu ongi. Töötades mõnes ettevõttes või tegeledes teadusega, ei ütle keegi, mida täpselt teha. Kogu ettevõtmise raskuspunkt selles seisneski.

### Osalejad

#### nii Eestist kui Lätist

Teadusmalevasse kandideeris tänavu 21 aktiivset noort üle kogu Eesti. Osalejate valimine osutus väga keeruliseks, kuna kõigil soovijatel oli välja panna korralik nimekiri erinevatest saavutustest. Poole suve pealt otsustasime kaasata ka kolm gümnasisti Lätist. Eestlased

osalesid malevas kaks kuud ja lätlased ühe kuu.

Kuna malevasse pääsemise vastu oli suur huvi nii eesti, kui ka läti kooliõpilaste seas, võib sellest järeldada, et meil on piisavalt teadushuvilisi noori, kes on rõõmuga valmis panustama oma vaba aega ja tunnevad huvi võimaluse vastu seni koolis õpitut rakendada.

Tänavune Teadusmalev oli eriline. Esimest korda toetati projekti erarahadest. Selle eest tuleb tänada Tartu Hansa Rotary klubi. Meeldiv on tõdeda, et Rotary klubi tegusad naised mõistsid, et panustades aega ja raha noorte haridusse, investeerivad nad tegelikult kogu Eesti tulevikku. Ettevõtjate panus noorte harimisse on hindamatu ja sellest saadav kasu lõpmatu. Jääb üle vaid loota, et järgnevatel aastatel on erarahastus sellistele projektidele kordades suurem!

### Pealtnäha võimatu ülesanne – ehitage Helmholtzi puur

Igal aastal on teadusmaleva algul antud noortele lahendada pealtnäha võimatu tunduv ülesanne. Lahenduse leidmine läbi iseenda vigade annab neile võimaluse tõestada, et väljapääsmatuid olu-

kordi pole olemas, tuleb üksnes piisavalt panustada. Järjepidev katsetamine ja laiemalt mõtlemine aitab samm-sammult püstitatud probleeme lahendada. See protsess on olnud alati palju tähtsam kui saavutatud üksikule tulemused või kogutud teadmised. Tunne, et olen kasulik, annab inimesele palju positiivset energiat ning tänu sellele tekib ka soov end veelgi enam arendada.

Teadusmalev 2015 peamiseks projektiks oli ehitada Helmholtzi puur. Tegemist on seadmega, mis tekitab lokaalselt tugeva magnetvälja ja võimaldab seeläbi katsetada satelliidi osi nii üksikuna kui ka kogu satelliiti korraga. Seadmega on võimalik testida järgmiste ESTCube'ide magnetilisi omadusi enne orbiidile saatmist.

Helmholtzi puuri vajalike parameetrite määramiseks on vaja üsna põhjalikult tunda magnetismi põhiluseid, mis on kaugelt üle tavapärase gümnaasiumiprogrammi taseme. Teadmiste puudujäägi kompenseerimiseks pidas Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi õppejõud Kalev Tarkpea kohe maleva alguses noortele

loengu magnetismi teemal. Lisaks vastas ta nende küsimustele ka kirjalikult.

Helmholtzi poolide tööpõhimõte on lihtne. Ringikujuliseks keeratud pooli elektrivooluga pingestades tekib selle ümber magnetväli. Paigutades kaks sellist pooli paralleelselt, võimendavad need teineteist ja võimaldavad samas tekitada suuremat magnetvälja. Kui selliseid poole panna kolmes teljes, saadaksegi seade, mida nimeatakse Helmholtzi puuriks.

#### Kontrollisüsteem on valmimas

Suve lõpuks malevlased oma eesmärgi täiel määral saavutada ei jõudnud. Füüsiliselt ehitati seade valmis, kuid selle juhtimiseks vajalik elektroonika ja tarkvaraarendus jäid poolikuks. Selle tegemist jätkasid malevlased iseseisvalt oma vabast ajast ja entusiasmist veel pärast ametlikku maleva lõppu. Tõsi, selle loo kirjutamise hetkeks ei olnud kontrollid veel valminud.

Kohe algusest peale oli teada, et Teadusmalev ei saa olla lihtsalt üks tuima töö tegemise koht. Noortel pidi olema suve jooksul põnev ja nalja pidi ka saama. Ühiselt käidi ujumas, kokati koos ning korraldati väljasõite.

Tõraveres ESTCube'i projektiga töötamisel on üheks suurimaks plussiks rahvusvaheline seltskond. Noored saavad kogemuse rahvusvaheliseks koostööks. Luges noorte enda tagasisidet malevasuvele, siis esimeseks ja peamiseks asjaks, mida kõik nimetavad, on omandatud kogemused ja loodud tutvused.

Aina kiiremini arenevas maailmas muutub üha tähtsamaks oskus kiiresti kohaneda. Andes noortele võimaluse juba varakult mõista oma potentsiaali ja seeläbi suunata nad reaalseks õppimiseks, loome paremat tulevikku nii Eestile kui ka maailmale tervikuna. Kui nende noorte eeskujul saavad innustust ka teised koolinoored, on kogu projekt oma eesmärgid täitnud. •

 **Karl Reinkubjas**

Tartu Ülikooli füüsika eriala tudeng,  
Teadusmalev 2015 vanem

# PÄRL ja PÄRLMUTTER

Sõna pärl esineb eesti kirjakeele tekstides alates 17. sajandist.

**H**einrich Stahli jutlustekogu „*Leyen Spiegel*“ („Ilmikute peegel“)

1641. aastal ilmunud esimesest köitest saame teada, et *Meije Ketck / meije auwus kallis Perl on sehl üllewel Taiwas / Jummalä parrembal Kehjel* (loe: Meie kät [‘aare’], meie aus kallis pärl on säääl üleval taevas Jumala paremal käel). Siin on sõna pärl kasutatud ülekantud tähenduses ja selle all on mõeldud Jeesus Kristust. Sellesama sõna toob kujul *perle* ära ka 1660. aastal üllitatud Heinrich Gösekeni keeleõpetuse sõnastikuosa, kuhu on lisatud ka sõnaühend *körwa Perl*, mis on saksa keelde tõlgitud *Ohren Perl* ja ladina keelde *inauris* – kõrvarõngas.

See sõna, mis on eesti keelde laenatud kas alam- või ülemsaksa keelest, on tuntud paljudes Euroopa keeltes: inglise *pearl*, saksa *Perle*, prantsuse *perle*, hollandi *parel*, rootsi *pärla*, hispaania *perla*, itaalia *perla*, rumeenia *perlă*, tšehhi *perla*, poola *perla*, leedu *perlas*, läti *pērle* jne. Enamasti peetakse nende kõigi aluseks keskaja ladina *perla* vahendatud oletatavat rahvaladina sõna *\*pernula*, deminutiivi ladina sõnast *perna*, mis tähistab esmajoones sinki, aga ülekantud tähenduses ka molluskit. Sõna *pärl* otsene ajalooline tähendus oleks seega ‘singike’.

Sõna *pärlmutter* ilmub



CORBIS / VIDA PRESS

eesti kirjakeelde peaaegu kaks sajandit hiljem, 19. sajandi algul, täpsemalt 1818. aastal, kui Otto Wilhelm Masing kaugeid maid ja neis elunevaid imeloomi maarahvale tutvustavas teoses *Pühhapäwa Wahhe-luggemissed* kirjutab: *Se mis Perlmutriks nimmetakse, ep olle muud kui seestpiddine konnakarbi woder*. 1869. aastal tunnistab selle saksa laensõna jäädvustamise vääriliseks Ferdinand Johann Wiedemanni eesti-saksa sõnaraamatu esitrükk. Saksa kirjakeelest on sõna *Perlmutter* registreeritud juba 14. sajandil. Tegemist on tõlkelaenuga keskaja ladina väljendist *mater perlarum*, mille otsene tähendus on ‘pärlite ema’. Tõenäoliselt tähendas see väljend esialgu pärlkarpi (kui pärlite sünnitajat) ja hiljem kandus tarvitamine üle pärlkarbi siseküljele.

On huvitav täheldada, et eesti keelde on see sõna

saksa keelest üle võetud laenuna, aga saksa keelde on see keskaja ladina keelest tulnud tõlkelaenuna. Tõlkelaenu on eelistanud saksa keele kõrval paljud teisedki keeled, nagu näiteks inglise *mother-of-pearl*, prantsuse *mère-perle*, hollandi *paarlemoer*, islandi *perlumódir*, taani *perlemor*, rootsi *pärlemor*, hispaania *madreperla*, itaalia *madreperla*, mis kõik tähendavad ‘pärlie ema’. Niisugust tõlkelaenu on püütud tuua ka eesti keelde: 19. sajandi üks huvitavamaid keelelisi iseärasusi, misjonär ja koolmeister Hans Tiismann (1829–1886) tarvitas sõna *pärlmutter* asemel omaloomingulist uudiskeelendit *kutrusmemm* (sõnadest *kudrus* ‘helmes’ ja *memm* ‘ema’). Paraku – ei oskagi öelda, kas õnneks või kahjuks – pole ta seni järgijaid leidnud. •

 **Udo Uibo**  
keelemees

# 31%

tõenäosusega langeb jaanuaris Tartus temperatuur allapoole –30 °C. Veebruaris on sama krõbeda külma esinemise tõenäosus 20%. Tallinnas on –30 °C esinemise tõenäosus jaanuaris ja veebruaris vastavalt 7% ja 4%. Sellega kummutas viimase 100 aasta ilmavaatlusandmeid analüüsinud TTÜ professor Sirje Keevallik müüdi veebruarist kui pakasekuust.

TTÜ



# Poroloon või oranž ollus



Kes ei tahaks pehme peal istuda või magada? Vati- ja vedrumadratsite ning toolipõhjade kõrval on juba aastakümneid kasutusel olnud poroloonist polstriga külje- ja istumisalused. Porolooniks kutsutava aine täpsem nimetus on pehme polüuretaanvaht, aga eestlase suu ei paindu mugavalt seda sõna kasutama ja räägib pigem makrofleksist, poroloonist, kunstnahast, švammist.



ERM. KOGU A914:32. FOTOD: ARP KARM

1972. aastal ostetud patareidega töötav transistorraadio „Etiüd-603”.

Eelmisel aastal oli ülemaailmne polüuretaani nõudlus 20,3 miljonit tonni, kusjuures vahtmaterjalide osakaal sellest oli ligikaudu 60%. Nõudlus on seejuures hoogsalt kasvav! Seesugusel suurel vajadusel on muidugi lihtne selgitus – polüuretaan on väga mitmekülgne polümeer, mida on suhteliselt lihtne valmistada ning millest saab toota keemilistele, füüsikalistele ja ka mehaanilistele kahjustustele hästi vastupidavaid materjale.

Vastupidiselt keskkonnakaitselisele väitele, et „plast on igavene”, polüuretaanvahud vananevad ja muutuvad välismõjude toimele küllalt kiiresti. Porolooni neli põhivaenlast on temperatuur, niiskus, valgus ja hapnik. Igaüks, kes ukse- või aknaavasid tihendanud, teab, kui kiiresti valge montaaživaht kollaseks muutub. See on eeskätt valguse ja hapniku toime. Niiskus ja kuumus toodavad muid hädasid.

Materjali vananemise viisid sõltuvad sellest, kas



Kunagi pehmendas raadio patareid selle pesas õhuline poroloon. Hapnik ja niiskus on teinud oma töö.

polüuretaani valmistamisel on polüoolina kasutatud polüestrit või polüeetrit. Kui kasutatakse polüeetrit, on saadud materjal hapnikule ja valgusele tundlik. Oksüdeerumisel muutub see rabedaks ja „kuivaks”. Nõnda vananenud polüuretaan-eetrit on lihtne rebida, see kukub raskuse all kokku ega taasta elastsele vahule omaselt oma algset vormi raskuse eemaldamisel. Oksüdatsiooni lõppstaadiumis on materjalist järel üksnes pudi.

Kes on vahetanud näiteks nõukogude ajast pärit tooli või diivani katteriiet, on küllap leidnud kanga alt polstri asemel sellist oranži kleepuvat ainet, mis kunagi on olnud poroloon. Polüuretaan-estrit ei oleks õieti kunagi tohtinudki polstriks kasutada, sest loomulik on eeldada, et mõõblis puutub see kokku hävitava niiskusega olgu higi, õhuniiskuse, ümber läinud morsi või õlle kujul. Tehti seda kõike teadmatusest, sest välimuselt on polüuretaan-ester ja -eeter väga sarnased.

Eesti Rahva Muuseumi kogud täienevad pidevalt porolooni sisaldavate esemetega. Kui kaua ja kui kvaliteetselt õnnestub neid tulevastele põlvedele säilitada, pole võimalik kindlalt öelda. •

**Loe veel:** Põhjalikku ülevaadet polüuretaanist, selle kasutamisest ja säilitamisest loe detsembris Eesti Rahva Muuseumi blogist <http://blog.erm.ee/>

**Karoliine Korol**  
Eesti Rahva Muuseumi konservaator

## HORISONT KIRJUTAS

**40**  
aastat  
tagasi

HORISONT 12/1975, LK 27–28.

3. detsembril möödub 140 aastat Eesti ühe kõigi aegade nimekaima arstiteadlase professor Ludvig Puusepa sündist. Tema silmatorkavatest saavutustest Eesti esimese närvi-kliiniku rajamisel teame peamist, aga alati rõhutatakse kirjatükkides ka professori erilist inimlikkust ja suhtlemisoskust, aga ka mõnd nõrkust – nimelt on kõik tema õpilased märkinud erilist tunnustusevajadust, pälvides suisa diagnoosi – diplomomaania. Prof Puusepp ise on näinud teravas kriitikas sootuks edu alust, mõjudes väga päevakohaselt praegusajalgi:  
„...võib-olla oleks inimkond ilma jäänud paljudest avastustest, kui suurmeestel poleks olnud vaenlasi! ... Kui meid ümbritseb ainult meelitamine ja orjalikkus, siis jääme oma arengus maha, muutume vaimselt tühisteks. Tühistel pole vaenlasi!”

**30**  
aastat  
tagasi

HORISONT 12/1985, MAHT 38 LK.

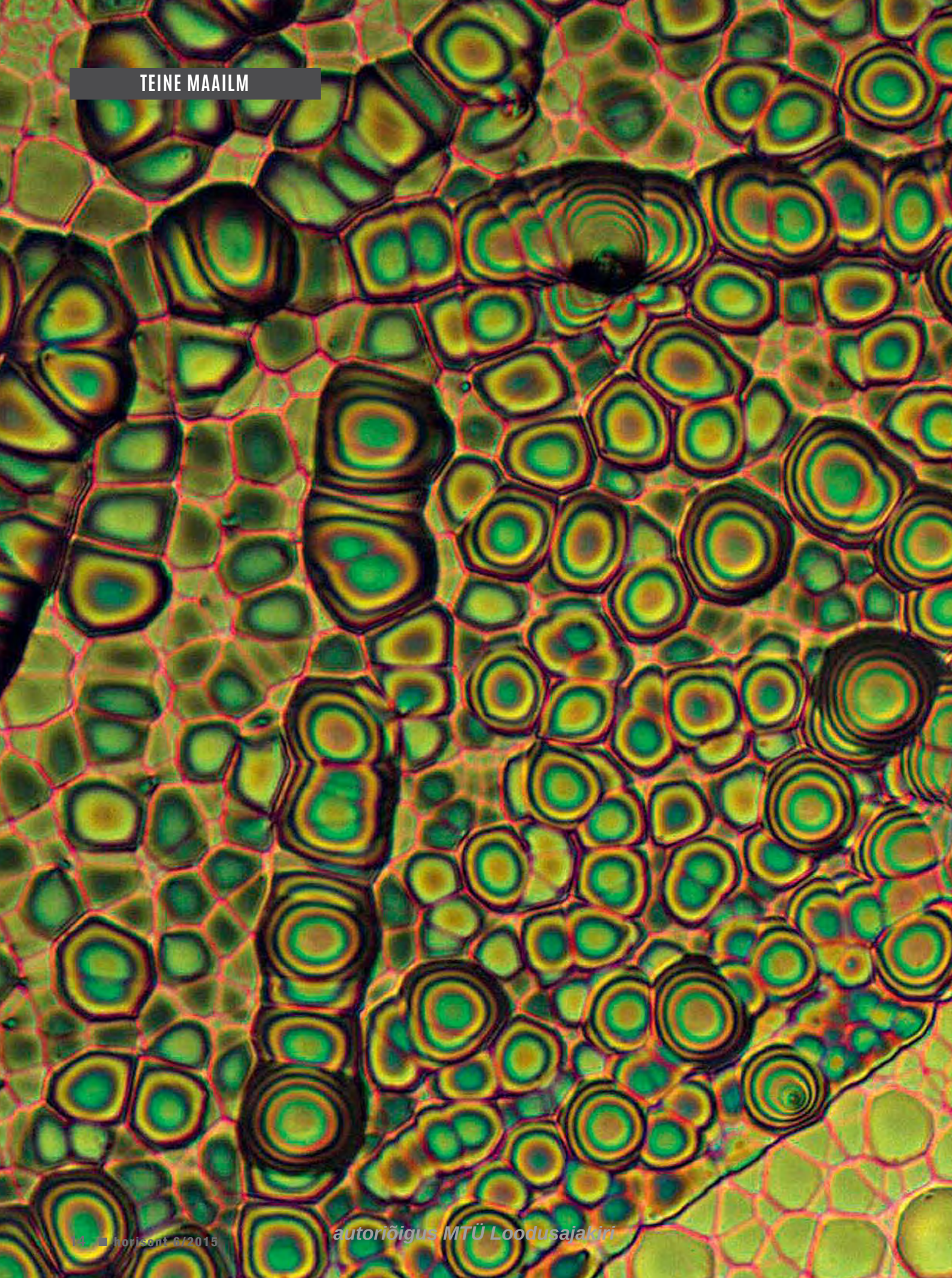
30 aastat tagasi ilmunud Horisondi impressumist võib lugeda järgmist.  
Toimetuse kolleegium: Ustus Agur, Feodor Feodorov, Harri Jänes, Priit Järve, Enne Keenberg, Juhan Kivi, Endel Lippmaa, Viktor Maamägi, Uno Mereste, Uno Siimann, Charles Villmann. Ladumisele antud 22.10.1985. Trükkimisele antud 22.11.1985. Tiraaž 41 500. Hind 50 kopikat.  
Toona oli keskmine palk 200 rubla ligi.  
Novembris 2015 ilmub Horisont hinnaga 3,9 eurot. Keskmine palk 1082 eurot (II kv 2015; stat.ee).  
1985. a septembrinumbris kirjeldas Tõnu Tuvikene, kuidas aasta lõpul Eestis Halley komeeti vaadelda, tänastel Horisondi lugejatel jääb oodata veel 45 aastat, et kuulsa sabatähe järgmist külastust dokumenteerida.

**20**  
aastat  
tagasi

HORISONT 7/1995, LK 72–73.

Astronoom Jaan Einasto intervjuust loeme muu hulgas täiesti päevakohast teavet.  
„Tõrvere teadlased on 1967. aastast Horisondis rahvaalgustuslikku tööd teinud ja käesoleva numbrina anname 29 aasta jooksul üheskoos välja võib-olla viimase „koguteose”. Riik loeb raha ja leiab, et toetust väärivad vaid veel kõige väärtuslikum osa Eesti kultuurist. Teadus, veel vähem teaduse populariseerimine, enamiku kultuurijuhtide arvates sinna ei kuulu. Tõenäoselt kaob üldsuse jaoks unustusse ka sõna astronoomia. Astroloogia on juba praegu valmis kohta üle võtma. Mida sellest arvate?  
„Arenenud demokraatiaga maade üldsus tunneb tõsiselt huvi teaduse vastu, selle kinnituseks on soliidsete ajalehtede teadusveerud, vastavad saated raadios ja televisioonis. Nende maade kogemused näitavad, et üldsust huvitavate probleemide hulka kuuluvad ka teadmised maailma loomisest, arenemisest ja tulevikust. Näitena võiksin tuua ajalehe The Independent, mis kosmilise foonkiirguse avastamisele pühendas terve esikülje (näitas ju see avastus, et maailm tõepoolest tekkis Suure Paugu tulemusena). Ka muinasaja inimene lõi omale pildi maailma loomisest, mis on tähtsal kohal mütoloogias. Olen kindel, et koos Eesti ühiskonna stabiliseerumisega taastub ka huvi teaduse, seejuures astronoomia vastu.”









## Tavo Romann VEETILK RÄNI PINNAL

Tartu Ülikooli Keemia Instituudis optilise mikroskoobiga Meiji MX8500 tehtud pilt räni pinnast, mida on lihvimiseks veega niisutatud. Pildi suurem mõõde on 413  $\mu\text{m}$ .

Teemantkettaga lõigatud monokristalne räniplaat on kõigepealt töödeldud lämmastikhappe ja vesinikfluoriidhappe seguga, et pinda siledamaks muuta. Hiljem tuleb plaati mehhaaniliselt lihvida, et saavutada atomaarselt sile pind. Räni töötlemisel hüdroksiidiga tekivad kolmnurksed struktuurid, aga hapetega mummulised kujundid. Tänu õhukesele veekihile tekivad valguslainete interferentsitriibud ja -rõngad.

Lihvitud monokristalsed räniplaadid on kasutusel näiteks päikesepatareides ja elektroonikas – kindlasti on neid näiteks mobiiltelefonis. Erinevalt klaasist laseb räni läbi infrapunakiirgust. Meie kasutasime lihvitud räniplaate superkondensaatorites toimuvate protsesside uurimiseks *in situ* infrapuna spektroskoopia meetodiga.





Nagu sadamalinna Õiguste iseloomulik, käsitleb ka Magnus Erikssoni linnaõigus peamiselt kaubandust ja kinnisvara valdamist, kohtumõistmist, võõraste kaupmeeste õigusi, sadama toimimist ja laevandust.

Nii võib Tallinna koodekstist muu hulgas lugeda (fol. 28r):

„Neid kaupu tohib piiranguteta osta ja müüa: vilja, rukist, lubjakive, heeringat, hülgeleha, vaske ja rauda, ja ei mingit muud kaupa, ilma et selle eest saaks karistatud, nagu eespool on öeldud.“

Paunkõide võöl.  
Hieronymus Bosch.  
Triptühhon „Viimne kohtupäev“, vasakpoolne väljastiib (Püha Jaakobus palverännakul), 16. saj algus. Akademie der bildenden Künste, Wien.





# Paunköites linnaõiguse koodeks

**DOKUMENT:** Rootsi kuninga Magnus Erikssoni linnaõiguse koodeks

**VALMISTAMISE AEG:** 15. sajand

**ARHIIV:** Tallinna Linnaarhiiv, fond 230, nimistu 1, säilik Cm 9

**MÕÖTMED:** kõrgus 220 mm, laius 155 mm

**MATERJAL:** pärgament

13.–19. sajandini kehtis Tallinnas Lübecki linnaõigus. Tallinna Linnaarhiivi varade seas on säilinud viis keskaegset käsikirjalist Lübecki õiguse koodeksit, ent omaaegse raearhiivi dokumentide hulgas leidub ka üksikuid ärakirju õigustekstidest, mis Tallinnas ei kehtinud. Üks selliseid on Rootsi kuninga Magnus Erikssoni (1319–1364) linnaõiguse koodeks.



FOTOD: VALLO KRUUSER



Koodeks on nn paunköites, selline köitmisviis levis Euroopas peamiselt 13.–16. sajandil. Puitkaasi kattev lambanahast ümbris moodustab köite allservas kolmnurkse pauna, millest sai raamatut hoida või vööle kinnitada. Vöö kantav paunköide oli omamoodi kostüümi osa, näidates ühtlasi kandja jõukust ning viidates tema kirjaoskusele. Tänapäeval on säilinud vaid veidi üle paarikümne keskaegse paunköite. Eestis kogudes on Magnus Erikssoni linnaõiguse ainuke selliselt köidetud raamat.

13.–14. sajandi Rootsis kasutati mitmeid maakondlikke, osaliselt kattuvate sätetega seadusekogusid. 1347. aastal moodustas kuningas Magnus komisjoni, mis pidi välja töötama üldise maaõiguse. Linnaõigus kujunes Rootsis välja suhteliselt hilja. 1290. aastatest tuntakse linnaelu reguleerivaid sätteid, mis algselt olid mõeldud ainult Stockholmi jaoks, võeti aga edaspidi üle teisteski linnades. Maaõigusele toetudes lasi kuningas Magnus välja töötada üldise linnaõiguse (rootsi k *Konung Magnus Erikssons Stadslag*). Kuningat ja tingi puudutavad maaõiguse osad asendati linnavalitsemist ja kaubandust käsitlevate paragrahvidega. Samuti lülitati koodeksisse mereõigust puudutavad punktid.

Linnaõigus viidi sisse 1350. aastate lõpul, kuigi üht tunnustatud kuninga kinnitusega tekstiversiooni sellest ei ole. Valdavalt piirkondlike iseärasuste alusel eristatakse käsikirjade seas vähemalt nelja suuremat rühma. Trükkis ilmus Magnus Erikssoni linnaõigus esmakordselt 1618. aastal, tollal juba oma aja nõudeid arvestavate redaktsiooniliste muudatustega. Õigus kehtis Rootsi linnades 1730. aastateni, mil see asendati riikliku õigusega.

Magnus Erikssoni linnaõiguse kehtestamine tähendas muu hulgas rootsi keele seadustamist asjaajamiskeelena. 14. sajandi keskpaigani valitses Rootsi asjaajamises nagu mujalgi Põhja-Euroopas peamiselt ladina keel. 14. sajandil kasutati Skandinaavias, eriti Taanis, vahel ka alamsaksa keelt. Magnus Erikssoni linnaõiguse kohaselt pidid kõik kuninga ja kohtute dokumendid, samuti kinnisvaratehingud olema vormistatud rootsi keeles. Linnakirjutajad pidid olema rootslased, mitte välismaalased. Siiski andsid dokumentide ülesehituses ja kohati ka ortograafias veel 15. sajandilgi tunda alamsaksa ja taani mõjud. Osa keskaegseid Rootsi dokumente ongi kirja pandud omapärases segakeeles.

Tallinna Linnaarhiivis säilinud Magnus Erikssoni linnaõiguse koodeks pandi tõenäoliselt kirja mõne tollal Rootsi kuningriigi koosseisu kuulunud Soome linna, võimalik, et Turu jaoks. Tallinnal oli Turuga, aga ka teiste Soome asustatud punktidega keskajal kaubanduslikke sidemeid, samuti olid mõned Tallinna kodanikud Soomest või Rootsist pärit, osal neist oli seal sugulasi. Nii võis Rootsi kuningriigi linnaõiguse tundmine olla vajalik ka Tallinna raele. Kuningas Magnuse linnaõigus on jagatud temaatilisteks alajaotusteks, need omakorda paragrahvideks. Tallinna koodeks on juba köitmisel olnud ebatäielik, nii selle eest kui ka tagant puudub vähemalt üks poogen. •

**Tiina Kala** (1967) on Tallinna Linnaarhiivi teadur ja TLÜ vanemteadur.



# Orgita paas

Orgita paas on tasemeti ussikäigu-mustriline savikas dolokivi, mis on niiskelt pehme, õhu käes kõvenev ja ilmastikukindel ehituskivi. See kodu-sooja halli mati värvitooniga paeerim on Eesti hinnatuim raidkivitoore.

Vahetult pärast Kärsuma korallpae (vt Horisont 3/2015) kujunemist tekkis ookeanipinna jätkuva alanemise faasis (s.o 437 mln aastat tagasi) Eesti paelasundi vanim sette-line dolomuda, millest kivistumisel sai Orgita paas. Selle pae avamus kulgeb võõndina üle Laukna–Vinguta–Sipa–Märjamaa–Kabala ja Raikküla kuni Mündini Paide lähistel. Orgita kihistiku täispaksus ulatub Märjamaa ümbruses 2,5–4,6 meetrini.

Orgita paele on iseloomulik heledamate savivaesemate peenekihiliste ja tumedamate savikamate mikrokihiliste kihtide rütmiline vaheldumine sesoonsete muutuste – võimalik, et aastaegade vaheldumise – tagajärjel. Kihistiku keskel on jälgitav kuivuslõhedega katkestuspind. Nähtav on see ka lähimas Liivi puursüdamikus 20,5 m sügavusel, tähistades settimises minitsüklite piiri (vt joonist).

Orgita dolopaas tekkis Vara-Siluri ajastiku Raikküla ea lahe-kujulise Balti madal mere kaldalähedases ulatuslikus laguunivööndis kaaneliivast koosneva kitsa madalikubarjääri taga ajal, kui Baltika mandripank triivis troopikas kusagil praeguse kõrbelise kliimaga Lääne-Austraalia kohal. Selle mere madaliku moodustas valdavalt mereliiliate varrelülidest koosnev murdlainetuse vööndis kujunenud kaaneliiv, millest on kivistumisel kujunenud Kalana „marmor“ laadne paekivi. Orgita mikrokihiline savikas dolomuda settis laia laguuni väga madalas, vaid mõne meetri sügavuses vaikes vees mõningase magevee sissevoolu mõju all.

Madalalt maismaalt merre kantud savi-aine seos esines anomaalselt palju (kuni kolmandik) möllina (teaduskeeles silt ehk aleuriit) tuntud väga peent kvartsi-liiva, mille terasuurus jääb vahemikku 0,01–0,1 mm. Tegemist oli niisiis möllika savika lubjaka dolomudaga.

Orgita pae märkimisväärne monoliitsus ja tihedus tuleneb esialgselt lubjakaks paeks kivistunud kivimi hilisemast dolomiidistumisest.

Märjamaalt ida pool paikneval Orgita loopealsel on seda hinnalist ilmastikukindlat

## ORGITA DOLOPAAS

- porsumisvöös kollakashall, sügavamal helehall
- hõre horisontaalne ussikäigumuster
- vähekontrastne mahe rõhtne mikrokihilisus
- paksupangalisus
- dolomiitne nõrgalt savikas (12–15%) koostis
- ühtlane pisikristallilisus
- silmnähtav tihedus
- peenpoorsus, hügroskoopsus
- harvad õhukesed (1–2 cm) dolomiitse savikivi vahekihid, mida mööda kihidid murdmisel lahknevad

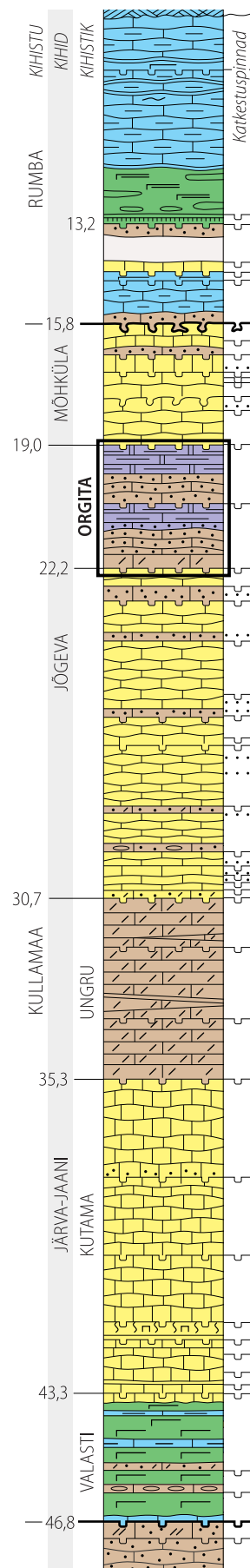
ja hästitöödeldavat dolopaekivi murtud üle viiesaja aasta. Keskaja kivimeistrite kogemuste põhjal on skulptoritele just Orgita dolopaas Eesti kõige hinnatum raidkivitoore. Orgita pae häid omadusi tunnistavad Vestfaalist pärit, 1615. aastast Tallinnas elanud maailmakuula kiviraiduri Gert Koningi loomingu tippteosed: 1529. aastal valminud Oleviste kiriku Maarja kabeli ja Rannavärava vapi peenfiguraalsed dolokivi-skulptuurid, mis viiesaja aasta vältel ilmastiku käes seisnuna pole kaotanud oma värskest.

Keskajal oli Orgita dolokivi Tallinna püstakmuustrilise pae kõrval üks otsitumaid eksportpae tüüpe. Paekivi taasväärtustamise ajal vabariigi taasiseseisvumise järel oli Orgita leiukoht esimene Raplamaal, mis andis ja annab praeguseni kvaliteetset toorainet mitmele kivitööstusele. Orgita pae suuremahulisest kasutusest nüüdisaja välisarhitektuuris võiks nimetada välisministeeriumi ja Tallinna Ülikooli peahoone uuen-datud fassaadi, samuti Kunstimuseumi seinakattematerjali. Sisekujunduses väärrib esiletõstmist Pirita uue kloostrihoone esindusruumide seina ja põranda viimistluskivi •



FOTOD: REIN EINASTO

Tüüpiline kollakashall rõhtmikrokihiline Orgita dolopaas porsumisvööndist karjääri ülaosast.





## ORGITA DOLOPAAS

Raikküla lademe Jõgeva kihistide Orgita kihistik. Tekkeaeg: 437 milioni aastat tagasi

Dolopaas Orgita karjääri alumisest osast.  
Rõhtne, kihilisusega paralleelne lõige.

Sulu puursüdamik, sügavus 26,86–21,06 meetrit



Karbi kaas

Ussikäigud

Kavernid  
(tühikud)

### PAEMÄÄRAJA

Huviline võib Orgita dolopaasi leida vanades astangmurdudes Laukna, Kuusikul, Raikküla Pakamäel, Mündil, vanas murrus Mõisamaal ja töötavates karjäärides Orgital ning Lipametsal. Põllult korjatud kivihunnikutes Orgita paas oma pehmuse tõttu ei säilu.



Musta püriitse peene kaaneliivaga täidetud laiem kaevumiskäik.

Dolomiitse merkivi vahekiht

Rõhtkihiline savikas dolomiitne lubjakivi läätsjate dolomiitse merkivi vahekihtidega. Hajusa, valdavalt peene kaaneliiva on tormilainetus laguuni savikasse dolomudasse madalikult sisse kandnud. Muda settimisel on mikrokihilisus tekkinud sesoonsete tingimuste vaheldumisel. Kihilisus on osaliselt rikutud mudasööjate elutegevuse tagajärjel. Tekkekeskkond: varjatud šelf üleminekul laguunst lausmuda vööndist madaliku lausteralisse kaaneliiva vööndisse.



HELLE PERENS

Orgita dolopaest Tallinna vapp Suurel Rannavänaval.  
Teostus Gert Koningk, 1529.

Rein Einasto  
Tallinna Tehnikakõrgkooli emeriitprofessor, Paevana





Just selline jõgedest ning rannikualadelt pärinev prügi moodustabki ookeanides triivivad hiiglaslikud prügisaared.





KATI LIND

# MIKROPRÜGI JA PRÜGISAARED MERES

Kui kapten Charles J. Moore 1997. aastal Vaiksel ookeanil toimunud purjetamisvõistluselt naasis, märkas ta jahti ümbritsevat tohutut hulka prügiosakesi. Seda kaks aastat hiljem uurima minnes selgus, et tegemist on hiigelsuure prügisaarega. Kus selline saar üldse asub ja kuidas see tekib?



**V**aikses ookeanis moodustavad soe Põhjapassaathoovus, Kuroshio hoovus, Vaikse ookeani põhjahoovus ja California hoovus keerise, mis ulatub Põhja-Ameerika läänerannikust Jaapanini. Need neli päripäeva liikuvat hoovust hõlmavad ligikaudu 20 mln km<sup>2</sup> suuruse ookeaniala. Vaikse ookeani keerise ringliikumine haarab endaga kaasa triivivad prügiosakesed nii avaookeanist kui ka Põhja-Ameerika ja Jaapani rannikuvetest. Hoovustesse sattumisel liigub prügi tuulehoovuste abil keerise keskosa suunas, jäädes sinna lõksu ning hakates aja jooksul kuhjuma, moodustades nn prügisaare. Tegelikult ei ole prügisaar ühtlaselt üle ookeani jaotunud, vaid jaguneb kaheks osaks – idapoolne, mis paikneb Hawaii ja California vahel, ning lääne-

poolne, Hawaii ja Jaapani vahel. Need kaks ala on omavahel seotud subtroopilise konvergenstiga, mis liigutab prügiosakesi ühest prügisaarest teise.

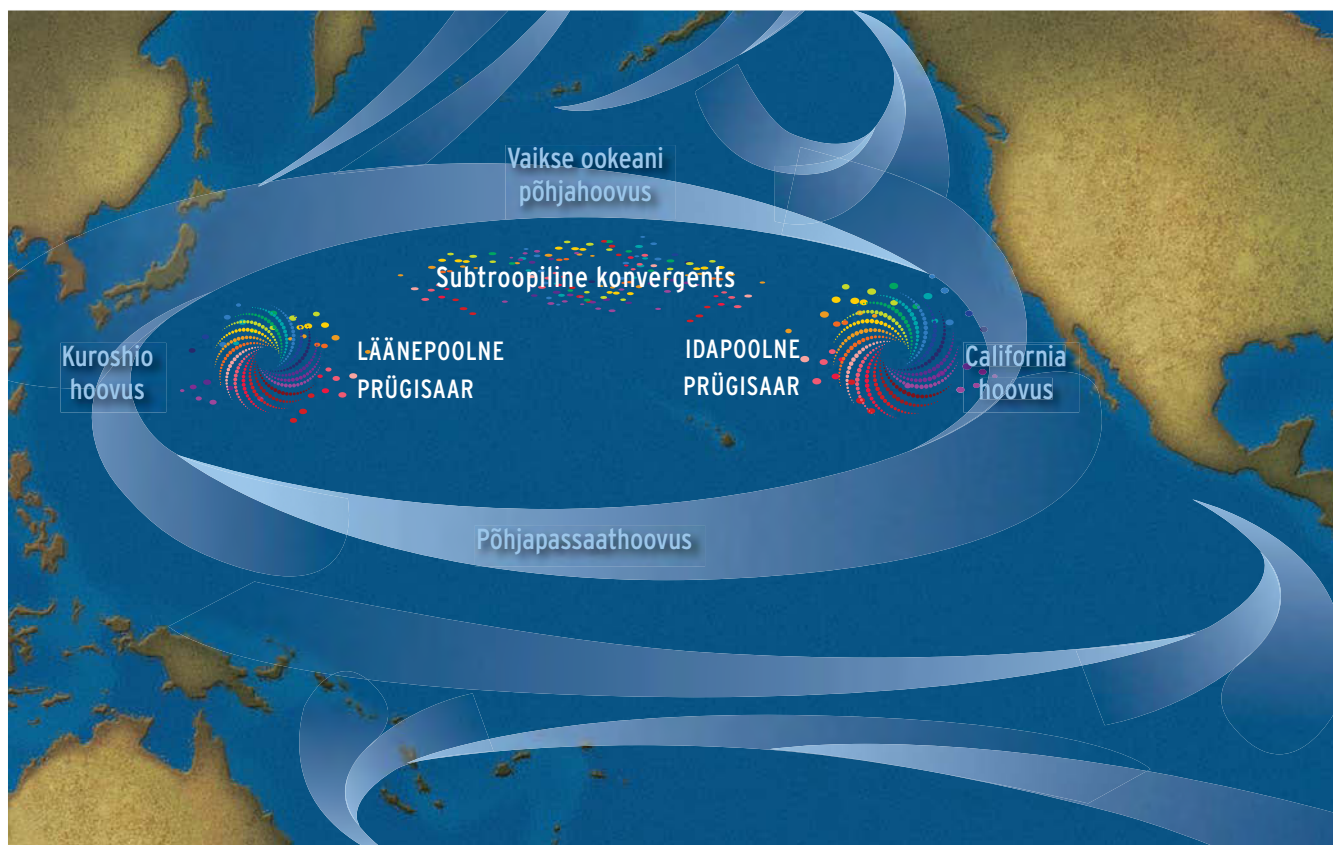
### Kas prügisaar on ikkagi päris saar?

Ekslikult arvatakse, et tegu on saarega, mis koosneb suurtest prügitükkidest ning millel on võimalik ka kõndida. Tegelikult koosneb see enamjaolt väikestest silmaga peaaegu nähtamatutest osakestest – mikroprügist. See moodustab suure supitaolise ala, mida satelliidilt ei ole võimalik näha. Saare prügikogus ei ole täpselt teada, kuna enamik tihkemast prügist vajub ookeani pinnakihi sügavamatesse osadesse, mistõttu on saare suurust peaaegu võimatu mõõta. Kuigi ookeani satub palju erinevat tüüpi prahti, koosneb saar ligikaudu 80% plastist,

mis tuleb maismaalt Põhja-Ameerikast ja Aasiast. Plast on ülekaalus põhiliselt seetõttu, et see on odav, selle vastupidavus vormimisele ja muljumisele on suur ning seega on seda võimalik erinevaks otstarbeks korduvalt töödelda.

Plast ei ole biolagunev ning et lainetus ja UV-kiirgus lõhuvad seda järjest väiksemateks ja väiksemateks tükkideks, püsib see keskkonnas väga pikka aega. Teadaolevalt on Vaikse ookeani prügisaares maailma suurim plastprügi kogus, mis on kuhjunud veesamba ülemistesse kihtidesse.

Ülejäänud 20% saare prügist moodustab kaubalaevadelt ja puurimisalustelt pärinev praht, mis lastakse lihtsalt otse merre. Suurima osa mere- ja kalavõrgud, aga ka transpordilaevade prügi- ja konteineritest pärinev praht. Põhja-Ameerikast ookeani sattunud prügi



HELE EELMA

Vaikse ookeani põhjaosa keerise moodustavad neli hoovust – Põhjahoovus, California hoovus, Põhjapassaathoovus ja Kuroshio hoovus. Hoovustesse sattumisel triivib prügi keerise keskosa suunas, moodustades idapoolse ja läänepoolse prügisaare. Prügisaared on omavahel seotud subtroopilise konvergenstiga, mis liigutab prügiosakesi ühest saarest teise.



kannavad hoovused saareni ligikaudu 6 aastat, Aasiast jõuab see kohale kõigest ühe aastaga. Just sellised väikesed prügiosakesed koos suurema prahiga, nagu kalavõrgud või jalanõud, moodustavadki Vaikses ookeanis triiviva „prügisupi”.

### Prügi lagunemine vees

Erinevatest allikatest võib leida mitmesugust teavet prügi lagunemisaja kohta. Looduses sõltub prügi lagunemisaeg paljugi keskkonnatingimustest – temperatuur, valgus, hapnik, vesi, mikroorganismid. Ookeanis lagu-

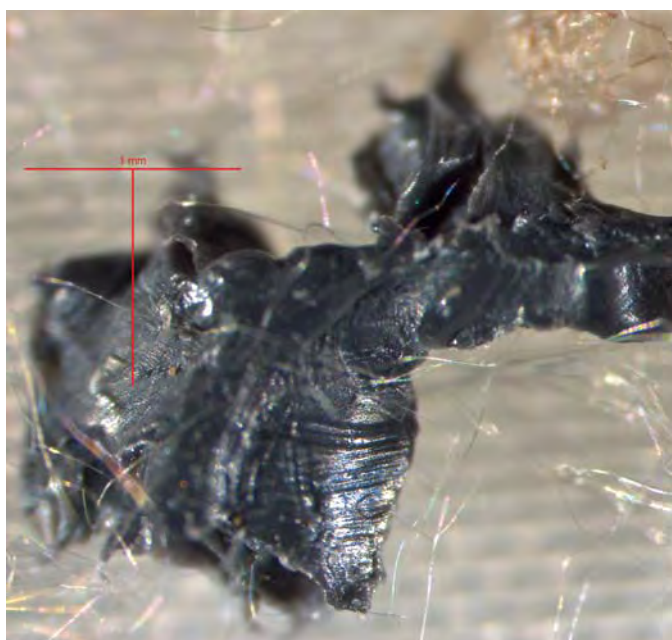
neb prügi tunduvalt kauem kui pinnases või prügilas.

Selleks, et vältida prügisarte teket ookeani, tuleb esmalt vähendada merekeskkonna reostust ning vähem tarbida tooteid, mis tekitavad pikemaegselt lagunevat prügi. Lisaks peaks panustama rohkem taaskasutusse. Igapäevaselt igas minutis taaskasutatakse alumiiniumpurke, samal ajal visatakse neid ka lihtsalt minema. Alumiiniumpurkide ligikaudne lagunemisaeg võib ulatuda 500 aastani.

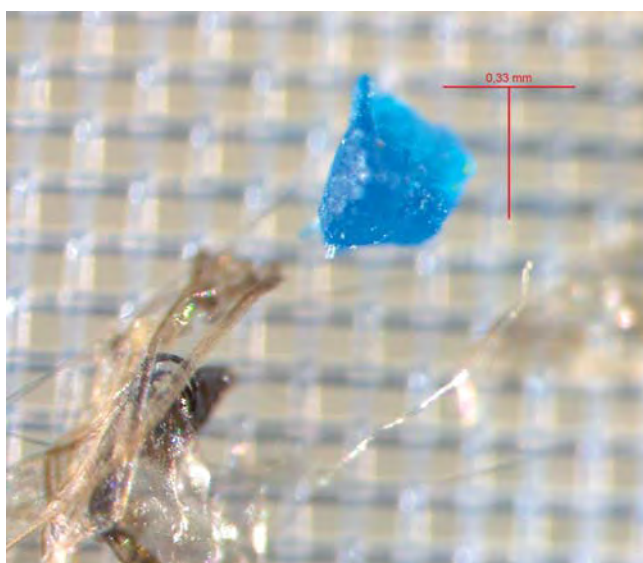
Tundub, et klaasi on väga lihtne taaskasutada – sulatame üles ja teeme

uue. Seevastu ära visatud klaasil võib lagunemiseks kuluda ligikaudu miljon aastat. Tegelikult ei saa päris kindlalt väita, et klaas keskkonnas üldse täielikult lagunebki. Toidujäätmete

**Alumiiniumpurkide ligikaudne lagunemisaeg võib ulatuda 500 aastani, klaasil võib lagunemiseks kuluda ligikaudu miljon aastat.**



KATI LIND



TTÜ Meresüsteemide Instituudis Manta võrguga merevee pinnakihi traalimisel leitud mikroprügi osakesed. Paljassaare poolsaare lähistelt merevee pinnakihist leitud plastitükk (ülal vasakul) ja sinine graanuliosake (all paremal). Soome lahest Keri saare lähistelt merevee pinnakihist leitud erineva värvusega kiud (ülal paremal, all vasakul).



## Suurimaks probleemiks on plastid, mille lagunemisaeg võib ulatuda tuhandetesse aastatesse.

lagunemine sõltub üldiselt toidust: näiteks apelsini- või banaanikoor laguneb ligikaudu kuu aega, õunakoored kaks kuud.

Paber võib märjaks saanuna hõlpsalt lagunev tunduda, kuid tegelikult kulub näiteks ajalehe täielikuks lagunemiseks 2–3 kuud. Tualettpaber võib sobivates keskkonnatingimustes laguneda suhteliselt kiiresti, kuid mis saab järelejäänud rullist, kui paber otsa saab? Tänapäeval võib poest leida ka biolaguneva rulliga paberit, kuid mil moel see tavalisest rullist erineb?

Katse käigus lagundasime vees kahe erineva tootja tualettpaberi rulle, ühe biolaguneva rulli ning võrdluseks teise, tavalise papist tualettpaberirulli. Biolagunev rull lagunes kähku peenikeste niitidega vatitaoliseks olluseks, mis seismisel vajus põhja üheks suureks klombiks. Tavaline rull püsis alguses tervena ja alles pikema raputamise tagajärjel tuli liimist lahti, vett hõgustades.

24 tunni möödudes ja suurema raputamise tagajärjel lagunesid tavalisest rullist lahti mõned niidikesed, kuid üldjoontes jäi rull siiski üheks suureks papitükiks. Et katsevees polnud mikroorganisme, võib eeldada, et rull laguneks looduslikus keskkonnas siiski mõnevõrra kiiremini.

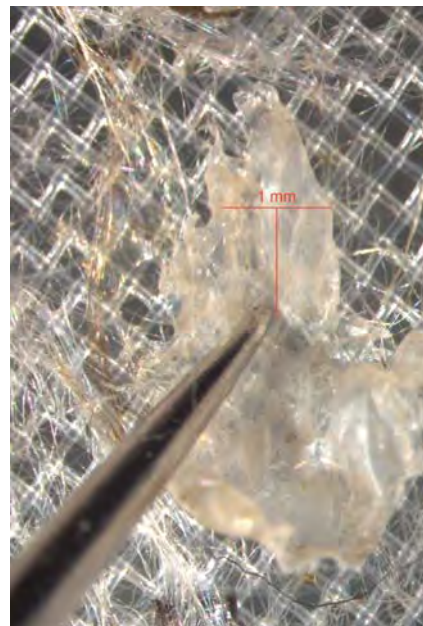
Massilise tarbimise tõttu on suurimaks probleemiks plastid, mille lagu-

nemisaeg võib ulatuda tuhandetesse aastatesse, näiteks plastpudelid ja kilekotid. Plastide kasutamine mitmesugustes muudes toodetes pikendab oluliselt esemete lagunemisaega. Näiteks suitsukonide lagunemisaeg vees ulatub kuni viie aastani, sest filtreid on töödeldud mitmesuguste ainetega, nende seas tselluloosatsetaadiga, mis on tehiskiuud ja mida leidub ligikaudu 95% sigarettide filtris. Plastikuga töödeldud piimapakkide lagunemisaeg ulatub samuti viie aastani. Taaskasutusel või ümbertöötusel plasti eluiga küll pikeneb, kuid lõpptulemus on sama – plast. Näiteks plastpudelitest toodetud eriline riidesort flüüs laguneb keskkonnas väga aeglaselt ning laine- tuse, UV-kiirguse ja mikroorganismide kaasabil eraldub sellest väiksemaid kiude – mikroprügi. Sargasso merest on leitud küll baktereid, kes plasti tarbivad, kuid ei ole teada, kas nad lõppkokkuvõttes tarvitavad ära ka plastis sisalduvad mürgained või kannavad need lihtsalt mikroobesse toidu- ahe- lasse edasi.

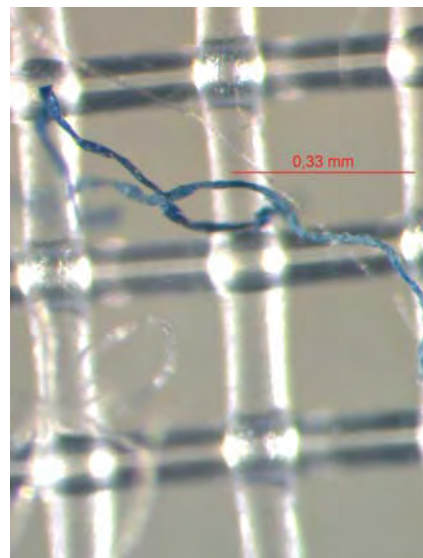
### Mis on mikroprügi?

Kuna Vaikse ookeani prügisaar koosneb peaaesjalikult mikroskoopilistest prügiosakestest, tuleks siinkohal kindlasti peatuda järgmistel küsimustel. Mis on mikroprügi? Kuidas see tekib? Miks see halb on?

Mikroprügiks loetakse alla 5 mm diameetriga tehisklikke mikroskoopilisi materjaliosakesi, mis on tihti peale palja silmaga nähtamatud. See tekib füüsiliste või keemiliste mõjutuste, bioloogilise fragmentatsiooni, aga ka otsese eraldumise teel suurema prahi lagunemisel. Praht võib olla klaas, metall, plast, kumm, erinevad kiud, aga ka töödeldud puitmaterjal. Kesk-



KATTI LIND



Paljasaare poolsaare lähedalt merevee pinnakihi Manta võrguga traalides leitud mikroprügi osakesed – üleval valge kilejas plastitükk, all sinine kiud.

## KILLERKOTT

Kilekott on meile kõigile suurepäraseks abimeheks kauba poest koju toomisel, prügikotina, pakendina millegi kaasa võtmiseks või hoiustamiseks. Enamik tihti peale aga ei mõtle sellele, et loodusesse sattudes muutub see keskkonnale vägagi ohtlikuks. Et vähendada õhukeste kilekottide tarbimist ning leida koos kaupmeestega mõistlik ja keskkonnasõbralik alternatiiv, on algatatud „Killerkoti” kampaania. Sotsiaalvõrgustikus

Facebook liitus oktoobris kilekotivaba kuu üleskutsega üle 2600 inimese. Aktsioonil osalejate eesmärgiks oli oktoobrikuu jooksul poes käies kilekotte mitte osta ega ka tasuta pakutavaid kaasa võtta. Ürituse sihiks oli julgustada inimesi keskkonnasäästlikumalt käituma ning lõpetada tasuta kilekottide jagamine.

Vastavalt Euroopa Liidu direktiivile tuleb kõikidel EL-i liikmesriikidel võtta kasutusele

meetmed kilekottide kasutamise vähendamiseks. Eesti Riigikogu keskkonnakomisjonis on arutatud kilekottide maksustamise ja keelustamise küsimusi, kuid otsusteni pole veel jõutud.

Näiteks Hollandis on kilekotid tasulised, Itaalias on alates 2012. aastast kilekotid keelustatud, Inglismaal jõustus rahvuslik kilekotimaks tänavu oktoobris. •

[www.killerkott.org](http://www.killerkott.org)



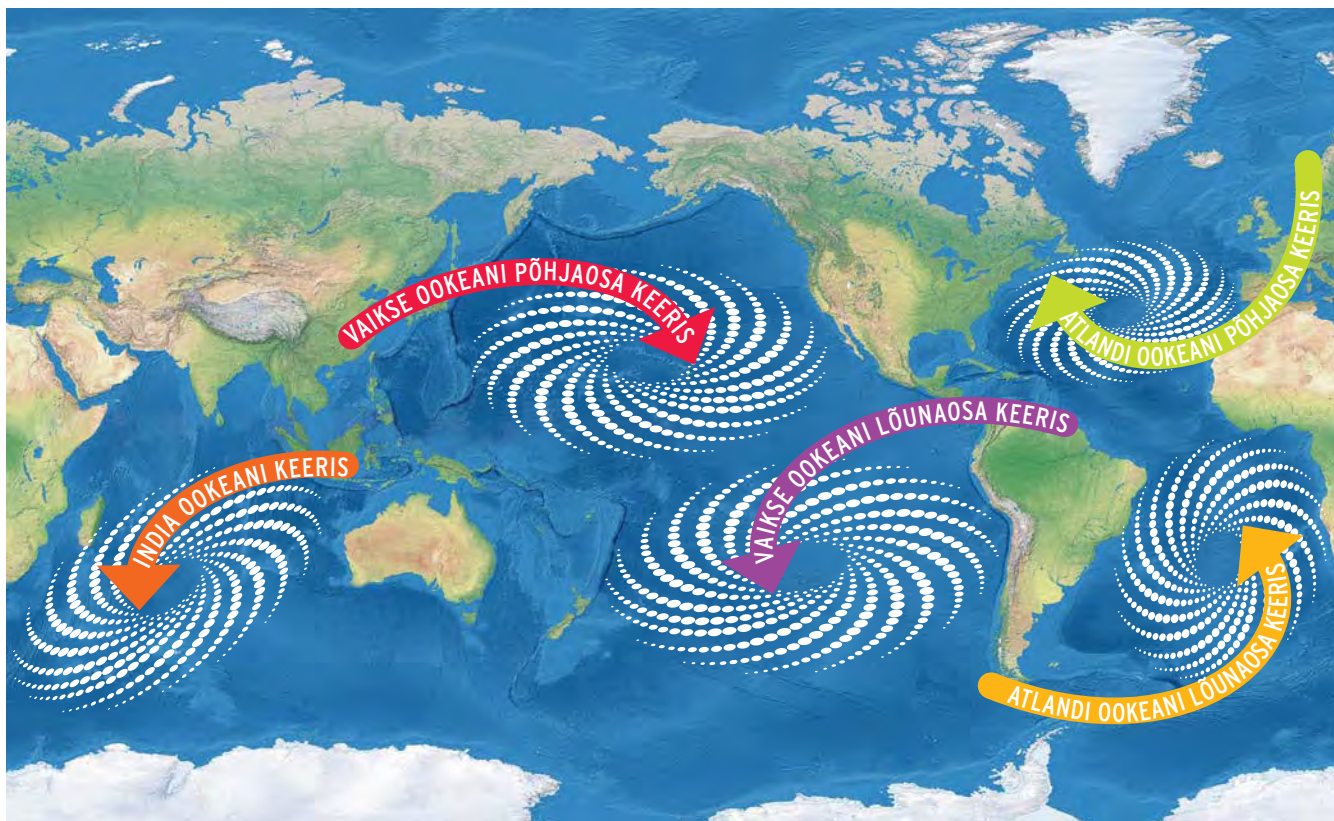
konda satub mikroprügi sanitaar- ja heitveest, turismist, kalandusest ning ka rõivatööstusest. UV-kiirguse ja lainete lihvimise toime moodustuvadki järjest väiksemad ja väiksemad osakesed. Mõni plast on isegi eelnevalt töödeldud väiksemateks osadeks lagunema, kuid lõpptulemus ei pruugi olla täielikult biolagunev, mistõttu see akumuleerub veesambasse, rannikualadele või setetesse.

Juba enne keskkonda sattumist võib mikroprügi sisaldada toksilisi aineid. Näiteks plastid on juba tootmisel töödeldud toksiliste kemikaalidega – monomeerid, oligomeerid, bifenool-A, ftalaadid, põlemist takistavad ja antimikroobsed ained, mis kõik võivad hiljem keskkonda eralduda. Need kemikaalid võivad sattuda inimestesse isegi plastist toidunõude või mänguasjade kaudu. Lisaks tarbivad selliseid aineid sisaldavaid mikroplastiku osakesi paljud mereorganismid, olles nende toiduobjektidega tihti peale samas suurusjärgus. Laboratoorsed uuringud on näidanud, et mikroprügist toituvad filtreerijad, detrivoorid (toituvad väi-

kesteks osakesteks lagunenu loomse ja taimse koe jäänustest) ja settest toituvad organismid, aga ka kaubanduslikult olulised vähilaadsed, kalad ja veelinnud. Prügist toitudes võivad organismid lämbuda, nälgida ja füüsiliselt viga saada ning olla ka toksiliste ainete transpordiallikaks kõrgematele troofilistele tasemetele. Ftalaate ja tuletõkkelisi aineid on leitud nii kaladest, molluskitest kui ka imetajatest, tõstatades päevakorda küsimuse nende hilisemate toksiliste mõjutuste kohta. Lisaks võib plast endasse absorbeerida merekeskkonda sattunud reo- ja toksilisi aineid – raskmetalle ja püsivaid orgaanilisi saasteaineid (POP). Selliseid aineid looduslikus merekeskkonnas ei leidu ning plast on suurima tõenäosusega nende levitaja. Näiteks polüstüreen laguneb ühe aasta jooksul ookeani 30-kraadises rannikuvees, vabastades mürgained vette. Jaapanis läbi viidud uurimuse tulemused näitasid, et ookeanivesi sisaldab stüreeni, polüstüreeni kõrvalprodukti, ja bifenool-A'd. Bifenool-A on plastpudelites ja alumiiniumpurkides kasutatav kemikaal,

**Prügist toitudes võivad organismid lämbuda, nälgida ja füüsiliselt viga saada ning olla ka toksiliste ainete transpordiallikaks kõrgematele troofilistele tasemetele.**

mis mõjutab loomade viljakust ja reproduktsiooni. Stüreen on aga kantserogeenne aine. Mõne nädalaga on sellised saasteained plastide pinnal ning ümbritsevas vees mitmekordselt kontsentreeritud. Kemikaalid kontsentreeruvad ka mereelustikus, kes toituvad teistest saastunud organismidest. Selline kemikaalide liikumine toiduahelas on murettekitav ning jõuab lõppkokkuvõttes ka meisse endisse.



Ookeani hoovuste ringliikumisel moodustunud keeristes triivivad prügisupid, mis koosnevad peamiselt suuremast prahist ja mikroprügist. Põhja-Atlandi ja India ookeani keeristes on moodustunud Vaikse ookeani prügisaaresarnane prügisäär.



Läänemerd reostava prügi allikad on peamiselt turism ja ranna puhkealad, samuti laevandus ja kalandustegevus. Hinnanguliselt pärineb 80% merre sattunud prügist maismaalt. Kodusest majapidamisest satub merre ligikaudu 48% prügist. Peamise osa Läänemere mereprügist moodustavad plastid (56%), seejärel klaas ja keraamika (11%), paber ja papp (9%), metall (7%), vahtplast (6%) ja muu prügi (11%). Eesti keskmiseks mereprügi koguseks on ligikaudu 20 kg 500 m rannajoone kohta. Kõige arvukamalt võib leida plastpudeleid, plastkotte, klaaspudeleid, metallpurke ja paberpakendeid.

Eesti on viimastel aastatel koos Rootsi, Soome ja Lätiga osalenud rahvusvahelisel ranniku koristuse aktsioonil. See üritus on osa maailma suurimast rannakoristuse üritusest International Coastal Cleanup (ICC), kus 2014. aastal osales üle 560 000 vabatahtliku 91 riigist üle maailma. Kokku koguti üle 7200 tonni prügi. •

Vaata lisa:  
www.centralbaltic.eu, www.oceanconservancy.org

Eesti merealal ei ole seiratud prügi-koguseid mere pinnal, veesambas ega mere põhjal. Erandiks on ainult lühiajaline projektipõhine mereprügi seire, mida teeb MTÜ Hoia Eesti Merd. Samuti on Eesti sukeldujate klubi mitmel aastal läbi viinud aktsiooni „Meri puhtaks”, mille käigus on koristatud peamiselt sadamate akvatooriume. Samas pole mikroprügi Eesti merealal üldse seiratud, andmed puuduvad ka Läänemere kohta.

Eesti mereala hea keskkonnaseisundi saavutamiseks ning mere prügistamise vähendamiseks on väljatöötamisel eraldi tegevuskava.

Selles on uute meetmetena kavandatud:

- Püügivahendite individuaalne märgistus-süsteem, mille eesmärk on vältida üle-püüki ja püügivahendite hülgamist ning lihtsustada kaotatud püünisest teatamist ja koristamist.
- Kalapüügivahendite ohjamine püügi-vahendite merre jätmise ennetamiseks ja selliste vahendite kõrvaldamiseks.
- Korraldada mereprügiga seotud kesk-konnahariduslikke ja koristusüritusi, et suurendada inimeste teadlikkust ja kaasata koristustalgutele üha enam inimesi.

- Plastkottide kasutuse vähendamine.
- Eritasuvaba mereprügi vastuvõtusüsteemi korraldamine sadamates. •

www.klab.ee

Läänemere kaitset korraldavad Läänemere riigid koostöös. Koostöö aluseks on Läänemere merekeskkonna kaitse konventsioon, millega on ühinenud Taani, Eesti, Soome, Saksamaa, Läti, Leedu, Poola, Venemaa, Rootsi ning Euroopa Liit. Konventsiooni eesmärkide elluviimiseks on loodud Läänemere merekeskkonna kaitse komisjon – HELCOM. Komisjoni juhtriik vahetub iga kahe aasta tagant. Alates 2014. aastast on HELCOM-i eesistujariik Eesti.

HELCOM-i välja töötatud rahvusvahelise mereprügi tegevuskava eesmärgiks on ennetada ning reguleerida prügi sattumist merekeskkonda ja rannikualale. Ühelt poolt tegeletakse maismaal tekkivate ja merre jõudvate ning teisalt merel, näiteks kalapüügi käigus tekkinud jäätmekoguse vähendamiseks. Nii regionaalse kui ka vabatahtliku kohaliku tegevusega tegutseb iga riik oma võimaluste piires. •

www.helcom.fi



CORBIS / VIDA PRESS

## Esialgu on parim võimalus selliste saarte ennetamine, piirates või kõrvaldades äravisatavat plasti ning suurendades biolagunevate toodete kasutamist.

ookeanis. 2010. aasta uurimistulemustest selgus, et Vaikse ookeani ja Atlandi ookeani lõunaosa ning India ookeani hoovuste keeristes leidub samuti mikroprügi. Ka nendes piirkondades moodustab mikroprügi triiviva prügi-supi. Sarnaselt Vaikse ookeani prügi-saarele ringleb plast ka teistes ookeanides aastaid, kujutades ohtu merekeskkonnale.

Prügisaari ookeanist eemaldada on keeruline ning väga aeganõudev ja kulukas protsess. Mikroprügi on paljude mereorganismidega samas suuruses ning prügi kogumismõõdud püüaksid ka need ookeanist välja. Isegi kui toodetakse sobiv võrk, oleks ookeani suuruse tõttu selle puhastamine liiga aeganõudev. Esialgu on parim võimalus selliste saarte ennetamine, piirates või kõrvaldades äravisatavat plasti ning suurendades biolagunevate toodete kasutamist. •

 **Kati Lind** (1987) on Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituudi mereökoloogia labori insener. Magistritöö kaitses 2011. aastal Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudis rakendus-hüdrobioloogia erialal. Vabal ajal meeldib sõita jalgrattaga, lugeda ja käia kinos või teatris.

**Mikroprügi Läänemeres ja mujal**  
Kui räägitakse prügist Läänemeres, mõeldakse selle all enamasti suuremat prahiti. Mikroprügi uuringuid on seni tehtud väga vähe. Eelmisel aastal viisid TTÜ Meresüsteemide Instituudi teadlased läbi esimesed katsetused mikroprügi kogumiseks Soome lahe pinnaveest. Selleks kasutati uurimis-laeva kõrval veetavat Manta võrku, mis kogus pinnaveest minimaalselt 0,33 mm suurusega osakesi. Hilisemad mikroskoopilised uuringud näitasid, et võrku oli jäänud erineva suuruse,

värvi, kuju ja tüübiga mikroprügi tükikesed. Põhiliselt on leitud kiude, aga ka plastosakesi ja muud.

Suurte prügisaares olemasolu ei ole Läänemeres veel tuvastatud, Atlandi ja India ookeanis aga küll. Põhja-Atlandi hoovuste keerises on samuti leitud hiiglaslik triiviv prügisaares. Ka see koosneb peamiselt mikroprügist ning on palja silmaga nähtav üksnes tuulevaikse ilmaga. India ookeani randadesse uhutud prügi uurimused viitasid Vaikse ookeani prügisaares sarnase prügisupi olemasolule ka sealses





EESTI RAHVA  
MUUSEUM



## KES EES, SEE MEES!

Eesõigus pääseda Eesti Rahva Muuseumi uutele näitustele Raadil oktoobris, novembris ja detsembris 2016.

Pääsmed müügil muuseumi müügilettides:  
Näitusemaja Tartus, Kuperjanovi 9  
Postimuuseum Tartus, Rüütli 15  
Heimtali muuseum, Viljandimaa  
e-pood: [www.erm.ee/pood](http://www.erm.ee/pood)

### **Tule esimesena külla!**

Eesõiguse ostjate vahel loosime välja auhindu (sh kutsed muuseumi avamispeole 22.09.2016).



Tõnu Viik istub Tartu tähetornis teleskoobi kõrval, millega vaatles astronoomitöö alguspäevil õõsiti teise Sputniku lendu.



# TÕRAVERELANE ÜLE POOLE SAJANDI



Kohanimi Tõravere seostub juba aastakümneid Eestimaal täheteadlaste ja astronoomidega. Kindlasti on nad ka üks Eestimaa teadlaste kooslus, kes kõige enam oma teadmisi rahvale jaganud, seda ka Horisondis ja juba 50 aastat, Horisondi esimesest numbrist alates. Võimalik on see olnud ehk ka selle tõttu, et Tõravere on kompaktne ja teadmiste hulk mingi ühiku kohta on küllalt suur. Tõravere on olnud legendaarne Eesti teadusasutuste hulgas ka oma tegusa kultuurihuvi ja -tegevuse poolest, ehkki oleks täiesti vale rääkida bürokraatide kombel neist kahest asjast lahus – teadus ja kultuur. Tõraveres oli see üldteada tõde, ja seetõttu on paljud kirjanikud, kunstnikud ja heliloojad olnud sealsetes üritustes ja ettevõtmistes osalised.

Pikaaegne tõraverelane Tõnu Viik on juba aastaid olnud paljude jaoks see mees, kellele helistada või kirjutada, kui on vaja millestki täheteaduses aru saada, midagi seletada. Ta kas teeb ise puust ja punaseks või viitab mõnele oma kolleegile, kes teab asjast veelgi enam.

Kõigest sellest, aga ka Tõnu Viigi kitsamast erialast – kiirguslevi uurimisest –, tema huvist teaduse ajaloo vastu, tegemistest Eesti ja maailma teadusseltsides ning ka kauasest teadusorganisatoorsest tegevusest rääkis temaga TOOMAS TIIVEL.

## Kuidas ja millal tekkis Teil huvi astronoomia vastu?

Kui ma 1958. aastal Tallinna Reaalkooli (2. keskkool) lõpetasin, oli mul kindel plaan Tartusse teoreetilist füüsikat õppima minna, sest selleks olid mulle innustust andnud kaks väga head õpetajat: matemaatikas Kalju Kallaste ja füüsikas Elmar Matt.

Otsest tugevat astronoomiahuvi mul polnud. Füüsikat õppima ma läksingi, kuid siis oli sputnikuaeg ja rektori käskkirjaga pandi kõik nooremate matemaatika-füüsika kursuste tudengid kohustuslikult sputnikuid vaatlema, alguses tähetorni õuel ja siis juba praeguse Lõunakeskuse lähistel, kuhu me aitasime väikese maja (seisab siiani) ja vaatluspaviljoni püstitada.

Enne aga luges meile vastavat teooriat Jaan Einasto, kes verstaipikkuseid valemid tahvlile maalis. Nn sputnikute positsioonide eest maksis Moskva raha – teinekord selgete ööde aegadel teenisime teise stipi lisaks –, olime kõvad poisid. Meie väikese teleskoobi vaateväli nägi välja nagu märklaud ja kui sputnik mingist „märklaua” joonest üle läks, siis fikseerisime ülitäpselt joonest ülemineku aja. Pärast tegime

SELLES NUMBRIS: TÕNU VIK





Tartu Toomemäe nõlvade teerajad on Tõnu Viigi enamasti ikka tähetorni viinud.

Ülikool Tartus oli muidugi hoopis teistsugune kui praegu, kindlal suunal olid kõikide tudengite õppeprogrammid samad. Selle kaudu tekkisid kokkuhoidvad kursused, mis praegu täiesti puuduvad.

kindlaks selle ülemineku koha koordinaadid (taevas on need samuti nagu maa pealgi ja seda komplekti – täpne asukoht ja täpne aeg – kutsutaksegi positsiooniks). Siis hakkaski astronoomiahuvi tekkima, vähemalt kõikide heledamate tähtede asukoha taevas leidsime eksimatult.

Lisaks oli see sputnikuvaatlejate kamp üks väga meeldiv seltskond. Ja mis kõige tähtsam, Jaan Einasto hakkas meid moosima, et vaadake, uus observatoorium saab kohe-kohe valmis ja sinna on noort jõudu vaja. Nii see läkski. Kolmandalt kursuselt hakkasime mõne kaaslasega kalduma astronoomiasse ja 1963. aastal said meist kolleegid Tõraveres.

## TÕNU VIK

- Sündinud 12. detsembril 1939 Viimsi vallas Rohuneeme külas.
- Lõpetanud Tallinna Reaalkooli 1958 ja Tartu Ülikooli astronoomia erialal 1963.
- Kaitsnud 1970 Tartu Ülikoolis kandidaaditöö teemal „Kiirguslevi ulatuslikes sfäärilistes täheatmosferaarides“ (juhendajad Aksel Kipper ja Arved Sapar) ja samas 1991 doktoritöö teemal „Analüütiliste meetodite numbriline realiseatsioon kiirguslevi teoorias“.
- Töötanud Tõraveres erinevaid nimesid kandnud samas asutuses: Füüsika ja Astronoomia Instituudis, Astronoomia ja Atmosfäärifüüsika Instituudis ning Tartu Observatooriumis alates 1963. aastast kuni praeguseni inseneri, nooremteaduri, vanemteaduri, teadussekretäri, teadusdirektori ja direktorina. Praegu vanemteadur.
- Reamees, nooremseersant NSVL-i sõjaõhujõududes 1963–1965.
- Uurimisvaldkond: kiirguslevi taevakehade atmosferaarides.
- Ligi 100 teadustööd, üle 120 populaarteadusliku artikli.
- Lugenud Tartu Ülikoolis teoreetilise astrofüüsika ja matemaatilise füüsika võrrandite kursusi.
- Juhendanud Rein Rõõmu ja Indrek Vurmi doktoriväitekirju.
- Eesti Looduseuurijate Seltsi liige (alates 1972), president (2008–2014), alates 2014 asepresident, Eesti Rahvusliku Astronoomia Komitee liige (1998–2004), esimees (2004–2009), Eesti Astronoomia Seltsi esimees (1999–2001), edasi liige, Eesti Füüsikaseltsi liige (alates 1996), Euroopa Astronoomiaseltsi asutajaliige (1992), Rahvusvahelise Astronoomialiidu (IAU) liige (alates 1979), IAU finants-alamkomisjoni liige (2006–2009), Akadeemilise Baltisaksa Kultuuriseltsi liige (alates 1991), esimees (2000–2003), juhatusel liige (2003–2009), õpetatud Eesti Seltsi liige (alates 2009), Eesti Vabariigi Teaduskompetentsi Nõukogu aseesimees (2000–2006), Eesti Teadusfondi nõukogu aseesimees (2006–2009), EMHI peadirektori nõunik (2002–2007).
- Avalikke esinemisi raadios, televisioonis, loenguid kokku üle 450.
- Eesti Teaduste Akadeemia medal 1998, Eesti Vabariigi Valge-tähe III klassi teenetemärk 2000.
- Perefond: abikaasa Malle, kaks poega ja tütar, seitse lapselast.
- Hobid: ulmekate ja kriminullide lugemine, sõudmine (kummi-paadiga – jõgedel poegadega, järvedel ja merel üksi).



## Kuna füüsikaseadused on teatud jäävusseadustest tulenevad, siis kas oleks ka näiteks majandusteaduses võimalik leida oma jäävusseadus, lisaks jäävale rahaahnusele, millest saaks majandust juhtivad seadused tuletada?

**Milline oli tol ajal Tartu Riiklik Ülikool, kes olid meeldejäädavad õppejõud? Mõjutajad? Suunajad?**

Ülikool Tartus oli muidugi hoopis teistsugune kui praegu, kindlal suunal olid kõikide tudengite õppeprogrammid samad, valida sai üksnes keeli ja vist midagi veel. Selle kaudu tekkisid kokkuhoidvad kursused, mis praegu täiesti puuduvad. Lisaks saadeti meid ju sügiseti kolhoosi, kus tuli teha igasuguseid töid: kartuleid võtta, vilja masindada ja kuivatada, silo teha, mulla kvaliteeti määrata jne. Selline maatöö selgitas kähku välja, kes on kes, kas looder või tubli mees, kelle peale võid alati kindel olla.

Teisipäeviti oli *att-dva* (sõjaline õpe) sõjalise kateedris ning vist kolmandal kursusel teatati, et *att-dva* lõpeb. See teade põhjustas enneolematu rõõmupurske koos vägeva peoga. Kuid rõõm kahanes oluliselt, kui meile öeldi, et pärast lõpetamist lähete kaheks aastaks „suurt kodumaad” kaitsma. Täpselt nii juhtuski.

Elati põhiliselt ühiselamutes, mida meie ajal intriteks kutsuti (sellel sõnal puudus igasugune seos hiljem tekkinud tähendusega). Mina elasin kolm aastat vanas Tiigis vastavalt 7, 6 ja 5 inimesega toas ning kaks viimast aastat nn uues intris praegusel Pepleri tänaval neljases toas. Mängiti bridži, meil oli isegi neljameheline bridžiklubi, käidi tantsimas (olin ühel tantsupeol kenale noorele daamile korvi andnud – ma ei osanud tantsida, misjärel kohe kursustele tõttasin), mõnikord veedeti õhtu restoranis, tehti trenni (käisin Erich Seileri juhendamisel kaheksasel paadil akadeemilist sõudmist tegemas), käidi raudteejaamas vaguneid tühjendamas jms. Tahtsin purilenduriks saada ja tegin isegi esimese viiest vajalikust langevarjuhüppest, kuid selleks kulunud aeg – viis päeva – võttis mult selle tahtmise.

Õppejõududest on meelde jäänud mitmeid: üldfüüsikas muidugi Anatoli Mitt, matemaatikas Kalju Soonets, teoreetilises füüsikas Paul Kard ja Ivar Piir, astrofüüsikas Aksel Kipper, kõikides „mattides” (n-ö punased ained – ajalooline ja dialektiline materialism, kompartei ajalugu) Lembit Valt jpt. Eriti värvi- kas oli Paul Kard. Meenub stseen 12. aprillist 1961, kui ma keemiahoonesse teoreetilise füüsika loengusse läksin ja sealt peaaegu kedagi eest ei leidnud. Tuli Kard ja saatis mind otsima, kus tudengid on. Polnudki vaja kaugele minna, sest naaberlaborist kostis raadiost Juri Levitani hääl, mis teatas, et täna

lennutati kosmosesse esimene inimene, kes tegi tiiru ümber Maa. Kui ma seda Kardile ütlesin, vastas vana õppejõud talle omase rahuga ja talle omases kõnemaneeeris, et seda saab ju homme ka ajalehdest lugeda!

Ei ole mingit kahtlust, et just need mehed on mind nii suunanud kui mõjutanud (Einastost oli juba eespool juttu). Ülikoolis olin pigem tuupuri kui möllumehe tüüpi.

**Teie doktoritöö oli kiirguslevist. Mida uurisite ja mida teada saite?**

Olen peaaegu kogu oma elu tegelenud kiirgusleviga ehk siis kiirguslevi võrrandi lahendamisega erinevates keskkondades. See on üldjuhul integro-diferentsiaalvõrrand, s.o võrrandis mõjutab otsitavat funktsiooni nii diferentsiaal- kui ka integraaloperaator. Seejuures on mõnevõrra koomiline, et kui ma reaal- koolis õpetaja Kallaste toetusel hakkasin omal käel matemaatilist analüüsi õppima, siis võlusid mind diferentsiaalvõrrandid ja hiljem ka integraalvõrrandid ning oma „eluprogrammi” kirjutasin ma prohvetlikult, et järgmisena võtan käsile integro-diferentsiaalvõrrandid! Selle ülesande juurde ma jäingi.

Oma doktoritöös käsitlesin kiirguslevi võrrandi lahendamist mitmesugustes keskkondades, ka polariseeritud kiirguse korral.

Mulle on meeldinud oma rehkendustes numbri- teni välja jõuda ja väga teoreetiline käsitlus jääb kaugeks.

Samuti on mulle väga huvitav tundunud igasuguste invariantssuseoste kasutamine, nt kiirguslevi võrrandi lahendamiseks. Nii olen ma suutnud õige veidi lisada suurmeeste töödele niimoodi, et leidsin viisi neidsamu printsiipe kasutades leida ka keskkonnasisene kiirgusväli. Seni oli neid kasutatud vaid keskkonnast väljuva kiirguse leidmiseks.

Tore on mõtteid mõlgutada selle üle, et kuna füüsikaseadused on teatud jäävusseadustest tulenevad, siis kas oleks ka näiteks majandusteaduses võimalik leida oma jäävusseadus, lisaks jäävale rahaahnusele, millest saaks majandust juhtivad seadused tuletada?

Ja kas oleks üleüldse võimalik ka selline tsivilisatsioon, kus ühtki elusolendit ei söödaks?

**Lisaks teadustööle olete olnud tegev ka teaduskorraldusega ning n-ö praktilise teadusega – teadusrakendustega.**

Lisaks n-ö puhta teadusega tegelemisele olin tegev Eesti kiirgusseaduse koostamisel ning aitasin kaasa Eesti ilmaprognooside paremaks muutmisele. Koos Eesti parima kiirgusspetsialisti, kursusekaaslase Enn Realoga olime keskkonnaministeeriumi kiirguskomisjonis mitu aastat ametis kiirgusseaduse kokkupanekuga, kokku sai vist 34 või 35 versiooni, enne kui riigikogu selle vastu võttis.

Olin kuus aastat Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogiainstituudi peadirektori nõunikuks ja andsin oma panuse selleks, et Eesti saaks Euroopa Meteoroloogiliste Satelliitide Organisatsiooni (EUMETSAT) liikmeks ja samuti Euroopa Keskpika Ilmaennustuse



Keskuse (ECMWF) liikmeks, mis andis meile ligipääsu satelliitidelt saadud ilmaandmetele ja superarvutitel koostatud numbrilistele ennustustele.

Inimesed nurisevad ikkagi, kuid tegelikult on nüüdse Riigi Ilmateenistuse ennustused väga head.

Olin ka üheksa aastat teadlastele rahajagajate seltskonnas, algul kuus aastat teaduskompetentsi nõukogus ja siis lisaks kolm aastat Eesti Teadusfondi Nõukogus. Eks see rahajagamine on üks sant amet, ma ei saa siinkohal öelda, mida minu ämm rahalugejate kohta ütles. Aga teha seda tuleb. Kuid sellega kaasnes boonusena imepäraselt toredas seltskonnas viibimine!

#### **Millega olete veel teadlasena tegelenud?**

Päris teadustöoks seda nimetada ei saa, kuid viimasel ajal on mind hakanud huvitama suurmeeste elu. Wikipediast saame ju teada ainult väga üldised faktid, aga kes nad inimesena olid, see jääb kaadri taha. Nii olen ma koostanud paljude teadlaste nn mitteteaduslikud elulood – need on sageli erakordselt huvitavad – ja need oma kodulehele ([www.aai.ee/~viik/avaloe.html](http://www.aai.ee/~viik/avaloe.html)) ka üles riputanud.

Olen tundnud huvi lindude vastu, sest rannaküla poisina olen lapsest peale imetlenud tiirude ja kajakate lendu, eriti aga tiirude lennu kaunist elegantsi. Selle huvi tiivustusel olen rõngastanud mõnel kaugel aastal Matsalus kõiki linde, keda kinni püüdsime, põhiliselt siiski umbes 1000 kalakajakat operatsiooni „Larus” käigus. Ning minu nimi on ka nüüd juba vanaks jäänud „Eesti haudelindude atlase” koostajate hulgas. Saab ilmselt olema ka uue versiooni koostajate hulgas, kui see versioon kunagi ilmavalgust näeb.

Kui aga kiidelda, siis olen isegi Austraalias linde rõngastanud koos tolleaegse maailma parima kahlaajate tundja Clive Mintoniga.

Olen koos Mart Rahiga huvitunud kivilabürintidest ja neid otsides Eesti rannaääri läbi käinud.

Minu tööde nimekirjas on ka üks bioloogiaalane

töö sipelgatest (bioloogist abikaasa mahitusel) ja mõned elektrokeemiaalased tööd, sest aitasin matemaatika probleemides keemikust kolleegi.

Ka olen Per Wieselgreni kaudsel õhutusel natuke uurinud (ning sellest ka kirjutanud) Viimsi – oma kodupoolsaare – kohanimesid, millest paljud viitavad omaaegsele rootsi asustusele.

#### **Millised on praegu kõige huvitavamad probleemid Teie alal?**

Huvitavat on palju ja seda tekib järjest juurde. Viimasel ajal hakkas mind oma põhitöös köitma täiesti elukauge probleem, millest vaevalt rahvamajandusele tulu tõuseb. Nimelt sellesama kiirguslevi võrandi lihtsamal variandil on ainsaks keskkonda kirjeldavaks parameetriks hajumiskoeffitsiendi suhe kogu kiirguse nõrgenemiskoeffitsiendi, nii et kui see on üks, siis kiirgus ainult hajub ega neeldu, kui aga null, siis kiirgus neelatakse täielikult.

Mis aga juhtub siis, kui see koeffitsient on kompleksne? Vaat selle probleemi esialgsed tulemused kandsin hiljuti ette Peterburis toimunud konverentsil, mis oli pühendatud saja aasta möödumisele teoreetilise astrofüüsika ühe rajaja akadeemik Viktor Viktorovitš Sobolevi sünnist. Tundus, et selline lähemine pakkus huvi.

#### **Kuidas näeb välja Teie tööpäev?**

Alates selle aasta aprillist olen poolel töökohal, mis annab teatud vabaduse oma aja kasutamisel. Enamasti näeb minu tööpäev välja nii, et poole kaheksa ja kaheksa vahel astun Tõraverre peahoone poole, mis on mu elukohast 150 meetri kaugusel. Lõuna-vaheajaga võtan viimasel ajal kaks tundi, põhjendades seda asjaolu sellega, et Tsaari-Venemaa vanglates olevat see aeg olnud tund. Ja vanglas ma ju pole. Õhtune tööaeg kipub seitsme-poole kaheksa kanti. Teinekord kõnnin umbes paar kilomeetrit.

#### **Olete kogu täiskasvanud elu seotud Tõraverre ja observatooriumiga. Kas pole olnud tahtmist töökohta vahetada?**

## **KOLLEEGI KOMMENTAAR**



Astronoom ja matemaatik  
**JAAN PELTO**

Tõnu Viik ei ole filosoof, see on üks teine mees, kes on filosoof. Võib-olla ebaoluline detail, aga minu jaoks siiski oluline. Maailma võib kõrvalt vaadelda ja selle üle arutleda,

kuid tähtsam on tegutsemine ja vahetu osalemine toimivas. Ja just tegutsejana on Tõnu omal kohal. Loomulik sarm ja ületamatud jutumeistri oskused teevad temast iga ühingu, komitee, ümarlaua vms hädavajaliku liikme. Ei ole midagi kasulikumat üleskoetud ja turris vaidlejate ning oma huvide eest võitlejate seltskonnas, kui on üks täpselt valitud anekdoot või mälestuseik. Kõik rahunevad ja arutelu võib taas edeneda. Isegi oma elu kahtlemata kõige raskemal ajajärgul, siis, kui tuli ligi 200-pealine instituut reformida praegu umbes 60 töötajaga Tartu observatooriumiks, jõudis Tõnu direktorina selliste lahendusteni, et Tõraveres ei visatud sisse ühtegi akent ega mürgitatud ühtegi naabri kassi. See oli kunst, suur kunst. Selge on aga see, et selline erinevate huvide virvarris laveerimine pole kerge, ja lõõgastus on kindlasti vajalik. Siit ka kõik need lindude loendamised, paadimatkad ja süvenemine teaduse ajalukku. Mis mind veel on imestama pannud, on see, et Tõnu oskab alati küsimustele vastata, tulgu need siis kolleegilt, ajalehe toimetuselt, raadiost või televiisorist. Kust ta seda kõike teab? Lausa kadedaks teeb. •



Nii on juhtunud jah, et olen siin Tõraveres elanud ja töötanud üle 50 aasta. Üks põhjustest on kindlasti see, et siin on olnud maailma parim töökeskkond, nii inimeste kui ka looduse seisukohast, nii tööks kui ka laste kasvatamiseks. Sel keskkonnal on ainult üks, minu jaoks kaunis suur viga – siin pole merd!

Mis puutub töökoha vahetuse soovi, siis see tõesti oli siis, kui mu kandidaadiväitekiri ei tahtnud ega tahtnud edeneda. Siis äkki aga leidsin õige suuna ja see soov kadus, nagu poleks seda olnudki.

### **Olete olnud meeldivalt viljakas teaduse populariseerija. Kuidas see on õnnestunud?**

Selle populariseerimisega on asjad nii, et noorest peast olin ma võrdlemisi uje ja esinema sugugi ei kippunud. Kuid asjad hakkasid muutuma siis, kui kohe pärast ülikooli lõpetamist soovitasid kolleegid Arved Sapar ja Heino Eelsalu mul astuda ühe tolleaegse pika nimega ühingu liikmeks (hilisem ühing „Teadus”). Aspirandi stipp oli siis 68 rubla, aga loengu eest selle ühingu raames maksti 5 rubla puhtalt kätte. Nii ma sõitsin (Hiiumaale isegi lendasin) pea kogu Eesti läbi ja rääkisin rahvale USA kosmonautikast, sest Nõukogude ajakirjanduses oli sellest juttu ainult siis, kui ameeriklastel midagi tuksi läks. Ei küsinud ühingu ülemustest mitte keegi mitte kunagi, millest ma kuulajatele rääkisin.

Aga nii mu enesekindlus kasvas ja praegu on mu kontrol üle 450 avaliku esinemise.

Omaaegseid televisiooniesinemisi sarjas „Luges looduse raamatut” kogunes kursusekaaslase Enn Kreemi abil kah üle kümne ja koolivend Enn Anupõld andis mulle isegi Eesti Televisiooni märgi. Eriti kõditas mu uhkuse küljekonte see, et märgi sain koos Fred Jüssiga.

Eks neid aimeartikleid ole ka aastatega kogunenud, küll mitte nii palju kui esinemisi.

### **Olete tegelenud teaduse (astronoomia, geodeesia) ajalooga. Mida huvitavat olete leidnud?**

Üsna palju mu ajast on läinud geodeesia ajalooga seotud küsimustele. Asi algas 1994. aastal, kui me koos Eesti Geodeetide Ühinguga korraldasime rahvusvahelise konverentsi seoses 200 aasta möödumisega Friedrich Georg Wilhelm Struve ja Johann Heinrich von Mädleri sünnist ning 100 aasta möödumisega Ernst Julius Öpiku sünnist. Selle organiseerimise käigus tutvusin tolleaegse EPA professori Jüri Randjärvega. (Muide, sellel konverentsil käidi välja idee Struve meridiaanikaare kandmisest UNESCO maailmapärandi nimestikku.) Ja kui 2002. aastal oli Tallinnas konverents Struve kaaremöötmise 150. aastapäeva tähistamiseks, siis tegin Jüri pealekäimisel ettekande Struve tegemistest Tartus ning sattusin Struve kaare maade komisjoni mitteametlikuks liikmeks. Nii olen osa võtnud selle komisjoni koosolekuist Moldovas, Leedus, Lätis, Soomes, Rootsis ja Norras ning neil ka vanade geodeetide töödest ettekandeid teinud. Sellega seoses avastasin enda jaoks, et Vene armee kindral Karl Friedrich Tenner, kes Struve kaare lõunapoolse osa mõõtmisi juhatas, oli puhasverd eestlane.

### **Teadusseltsid Teie elus – olite Eesti Looduseuurijate Seltsi president kuus aastat, lisaks veel Eesti Astronoomia Selts, Eesti Füüsikalts. Mida see tegevus on andnud?**

Minu esimene teadusselts oligi Eesti Looduseuurijate Selts (ELUS), kus ma alguses eriti aktiivne liige polnud, kuigi, jah, reaalteaduste sektsioonis koos Mart Rahiga me midagi siiski ette võtsime. Asi läks tõsiseks 2008. aasta alguses, kui mind valiti ELUSi presidendiks. Seda kaunis keerulist ametit pidasin kuus aastat, nüüd olen asepresident ning võin uhkustada sellega, et siis andsime me välja Mart Nikluse tõlgitud Darwini raamatu „Liikide tekkimine”. Tänavu valis ELUS mind oma auliikmeks!

Akadeemilisse Baltisaksa Kultuuriseltsi meelitas mind kolleeg Heino Eelsalu, kuna ta teadis, et Nõukogude sõjaõhujõududes olin igavusest saksa keeles lugemise (arusaamise kal) ära õppinud. Seal valiti mind kah kolmeks aastaks juhatuse esimeheks.

Aitasin kaasa Eesti Astronoomiaseltsi tegevuse elustamisele ja olin paar aastat ka seltsi esimees.

Mida see kõik on andnud? Raske öelda, kuid kindlasti otsustamisjulgust, sest seltsielus, nagu igal pool mujalgi, peab sageli oma kindla sõna ütlema. Demokraatiat kiidetakse kangesti – loomulikult tuleb asju arutada, kuid millegipärast laevas ütleb kapten, mida teha tuleb, ning selleks koosolekuid ei korraldata.

### **Reaalalad ei ole praegu Eestis eriti popid, mida saaks teha? Kas peaks?**

Lugedes Tartu ülikoolis matemaatilise füüsika võrandite kursust, nägin, et parimad tudengid tulid kahest-kolmest koolist. Sest seal olid väga head õpetajad. Neid aga on väga vähe. Põhjusi on mitu, kuid kõige olulisem on asjaolu, et valitsus teeb näo, et õpetajatele makstakse palka ja et neil on ka mingid õigused. Seetõttu ei lähe mehed, kes reeglina reaalalade õpetajaks paremini sobivad kui naised, kooli tööle (rääkigu siin võrdõiguslased selle kohta, mida nad aga ise tahavad). Pealegi tuleb nende alade õppimiseks rohkem pingutada, aga tänapäeva elulaad soosib lobisemist ja pealiskaudsust.

Mida teha, et asi paraneks? Kõigepealt tuleb õpetaja töö väärtiselt tasustada ja anda neile vajalikud õigused, sest nende inimeste töö põhineb meie tulevik. Kui meil puuduvad head õpetajad, siis mis mõte on Eesti riigil?

### **On Teil üldse vaba aega, mida siis teete?**

Vaba aega peab inimesel ikka olema. Kui pojad Kalle ja Heino ning tütar Maria veel väikesed olid, siis kulus aeg nendega tegelemisele – matkasime, suustasime, sõitsime jalgrattaga, aerutasime koos. Praegu sõuan üksi kodumerel ja Tõraverre ümbruse järvedel, tänavu sai kokku 106 kilomeetrit. Aga lapsed kasvatavad omi lapsi, keda on kokku seitse.

Kõik need minu tegemised oleksid võinud olla tegemata, kui meie kodu poleks kindlal käel korras hoidnud minu hea ja arusaaja abikaasa Malle. •

☞ Tõnu Viigi mõtteid raamatulugemise ja e-maailma kohta loe lk 61.





JANET LAIDLA

# STRUVE KAAR

KÜMME AASTAT UNESCO  
MAAILMAPÄRANDI NIMEKIRJAS

*autoriõigus MTÜ Loodusajakiri*

**Измѣреніе базиса приборомъ Струве.**



Struve baasjoone mõõtmine.  
Baasjoone mõõtmiseks tuli maastikul valida  
sobiv vahemik. Mõõtmisel kasutati spetsiaalselt  
valmistatud neljast latist koosnevat süsteemi.  
Maapind tasandati ning latte tõsteti edasi.  
Pilt 1850. aastatest.



**19. sajandi esimesel poolel mõõdeti pikim meridiaankaare lõik,  
mis ulatus Põhja-Jäämerest Musta mereni.  
Üheks mõõtmise algpunktiks oli tähetorn Tartus. See tähelepanu-  
väärne saavutus oli oluline teaduslikus mõttes, aga rahaldas  
ka mitmeid omaaegseid praktilisi vajadusi.**

*autoriõigus MTÜ Loodusajakiri*

**Mesure d'une base de l'appareil de Struve.**



**K**uigi igapäevaselt on meil seda ehk raske tajuda, teati juba ammu, et Maa on kerakujuline. Inglise teadlane Isaac Newton ennustas, et see kera on poolustelt pisut lapik, sest raskusjõud püüab Maad pooluste kohalt kokku suruda. Prantslased Jean Picard ja Jacques Cassini tegid 17. sajandil esimesi teaduslikke meridiaankaare mõõtmisi, mille tulemusel arvas Cassini, et Maa on poolustelt hoopis välja venitatud. 18. sajandi keskel teostas Prantsusmaa Teaduste Akadeemia Pierre Bougeri juhtimisel mõõtmisi Peruus ja Pierre Louis Maupertuis' juhtimisel Lapimaal. Need ekspeditsioonid tõestasid küll, et õigus oli siiski Newtonil, aga ei olnud mõõtmistulemustelt väga täpsed.

Geodeesia arengule aitas 19. sajandil kaasa suurem vajadus täpsete kaartide järele. Enne Napoleoni sõdu kasutasid kaarte põhiliselt meremehed ja kaupmehed ning vahel läks neid vaja ka valitsejatel. Kaupmehed võisid kaarte konkurentide eest varjata ja magusamate kaubateede kohale joonistada draakoneid ning muid hirmsaid olevusi mitte teadmatuses, vaid just selleks, et teisi tulusalt kaubateelt eemale peletada. Napoleoni sõdade järel hakkasid aga ohvitserid nõudma täpseid kaarte ja samal ajal nende salastamist. Nii sattus probleemsesse olukorda senise parima Liivimaa kaardi autor kartograaf krahv Ludwig August Mellin, kelle kaartide välja andmine peatati ning ta ise peaaegu vanglasse sattus.

### Struve või Tenneri kaar?

Kuigi oleme harjunud kõnealust kaart nimetama kuulsa astronoomi Friedrich Georg Wilhelm Struve järgi, võiks see sama hästi kanda ka Tenneri nime, sest kogu kaare pikkusest on Tenneri juhatuse all mõõdetud isegi ehk rohkem. Kuna Struve saavutas maailma kuulsuse ja rajas neli põlvkonda kestva astronoomide dünastia, tunneme kaart kuulsama mehe nime järgi.

Eestlasest mõisavalitseja poeg Carl Friedrich Tenner (1783–1859), keda Tõnu Viik nimetab Venemaa geodeesia rajajaks, puutus maa mõõtmisega esimest korda kokku Saare mõisas, kus tema isa oli valitsejaks. Ta jälgis, kuidas töötasid sinna tulnud maamõõtjad, kes osava noormehe abiliseks võtsid. Tenner leidis soosijad, kes avasid talle õppimis- ja karjäärivõimaluse sõjaväetopograafide korpus. 1805. aastal saadeti ta keisririigi saatkonna koosseisus ekspeditsioonile Hiinasse, kus tema ülesandeks oli läbitud piirkonda kaardistada. Tenner juhatas Venemaa esimese triangulatsioonivõrgustiku rajamist. Nimelt paluti tal 1809. aastal mõõta Peterburi ümbruskonda. Baasjoon mõõdeti Vassili saarel ning võrgustik läks edasi Narva, sealt Tallinna ja Tartusse.

Ka Struve tundis maamõõtmise vastu huvi ehk juba Bergide Sangaste mõisas sekstandiga ringi jalutades, mille käigus jäi ta silma Vene sõjaväelastele, kes ta Prantsuse spioonina kinni pidasid. Esimesed teaduslikud mõõtmised tellis Struvelt ja topograaf Carl Gottlieb Rückerilt Liivimaa Üldkasulik ja Ökonoomiline Sotsietet. Struve pidi tegema mõõtmisi ja Rücker pidi valmistama kaardid. Täpseid mõõtmisi ja kaarte oli vaja Liivimaa talupoegade vabastamiseks, et mõõta neile välja maatükid. See oli nn Liivimaa triangu-

latsioon (mõõdeti 1816–1819), mille käigus määrati 500 geodeetilise punkti täpne asend, sh 19 punkti astronoomiliselt. Kahjuks polnud piisavalt raha, et ehitada punktidesse triangulatsioonitorne või rajada kapitaalseid tsentreid. Põhivõrgu baasjoon mõõdeti Võrtsjärve jääl. Seal kasutas Struve viite ühe tuaasi (pikkusühik, u 1,94 meetrit) pikkust ühendatud puitlatti.

Selle mõõtmise tulemused julgustasid Struvert leidma võimalusi mõõtmistöö jätkamiseks juba selgelt teadusliku eesmärgiga. Töid toetasid nii ülikool kui ka keiser, nii et Struve sai mõõtmiseks spetsiaalseid tööriistu juurde tellida ja valmistada lasta. Meridiaankaare mõõtmised toimusid esimeses faasis ajavahemikus 1822–1824 ja 1826–1827. Simuna-Võivere baasjoon mõõdeti 1827. aastal. Kogu lõik ulatus Suursaarelt Soome lahes Jēkabpilsini praegusel Läti alal.

Samal ajal kui Struve mõõtis Liivimaal, asus noor polkovnik Tenner vürst Volkonski suunamisel mõõtma piirkonda Vilniuse ümbruses. Tenner uuendas oma metoodikat ning rajas ajutisi observatooriume. Aluseks valis ta Vilniuse observatooriumi meridiaani.

### Ühendatud jõul

Olles kuulnud Struve mõõtmistest, tuli Tenner 1828. aastal Tartusse ning tegi Struvele ettepaneku mõõtmised ühendada. Tenner pidi ühendama trigonomeetriliselt oma põhjapoolsema



ANDRES TENNUS

**Astronoomiline teodoliit.**  
Kasutati suurel Vene kraadi mõõtmisel abistavate triangulatsioonide läbiviimiseks ja kaare otspunktide koordinaatide määramiseks.



Friedrich Georg Wilhelm Struve



Carl Friedrich Tenner

WIKIPEDIA



punkti Struve lõunapoolsemaga. Struve pidi tegema astronoomilised vaatlused ja võrdlema kasutatud pikkusühikuid. Tenner ühendas Ida-Preisimaal, Poolas ja Galiitsias Vene triangulatsioonivõrgu ka Lääne-Euroopa omadega. Mõõtmistööd töid juba siis mõlemale osapoolale kuulsust. Tennerist sai näiteks Peterburi Teaduste Akadeemia kirjavahetajaliige.

Struve oli teinud tähelepaneku, et Tartu tähetorni läbival meridiaanil on umbes 20 kraadi ulatuses triangulatsioonivõrgu rajamiseks sobivat maastikku Doonaust Lapimaale ning tema huvi oli juba 1821. aastal liikuda oma mõõtmistega põhja poole. Tenner oli teinud sarnase tähelepaneku. Seega

lepitati kokku, et Tenner pikendab oma lõiku Doonau suudmeni, Struve (tol ajal juba Pulkovo observatooriumis Peterburi lähistel) põhja suunas Põhja-Jäämerele, mis oli juba Rootsi ja Norra haldusalas. Tenner võttis kasutusele mitmed Struve välja töötatud meetodid nurkade ja baasjoone mõõtmiseks. Soomes ja Rootsis käisid abiks Pulkovo observatooriumi töötajad oma instrumentidega.

Meridiaankaare pikkuse arvutamine usaldati samuti Struvele. Hiljem teostati lisamõõtmisi, et vähendada vigu. Struve avaldas tulemused kolme köitelises aruandes 1858–1860 prantsuse keeles (1861 vene keeles). Tulemusi kasutas oma maaellipsoidi mõõtmete

korrigeerimisel ka Saksa astronoom Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846), kes oli olnud projekti suur toetaja 1820. aastatest peale. Nimelt oli tema erapooletu kohtunik, kes kontrollis mõõtmistulemusi Struve ja Tenneri kaarte ühendamisel.

### Saja-aastase traditsiooniga punkt

Struve geodeetilise kaarega maamõõdutööd Tartu tähetornis ei alanud ega lõppenud. Enne Struvert tegutsesid amatöörastronoom ja Tartu ülikooli ajutise tähetorni vaatleja Ernst Christoph Friedrich Knorre (1759–1810) ning teised harrastusgeodeedid, kes mõõtsid Tartu ja teiste Liivimaa asulate geograafilist laiust. Triangulatsiooni

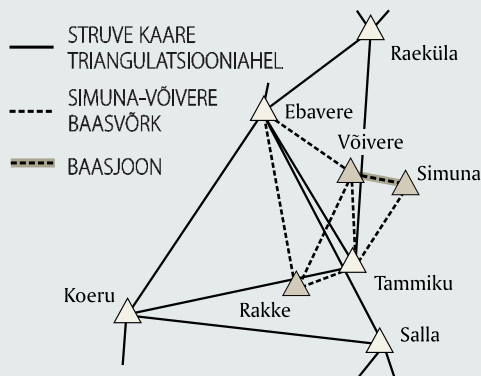
## Struve geodeetiline kaar ja selle mõõtmine

Struve geodeetiline kaar on Friedrich Georg Wilhelm Struve eestvõtmisel aastatel 1816–1855

Maa kuju ja suuruse mõõtmiseks rajatud triangulatsiooniahel, mis ulatub Põhja-Jäämere äärest Musta mere äärde. Kaare pikkus on 2820 km. Kaare moodustanud võrgustik koosnes 258 põhikolmnurgast ja 265 peamisest moodupunktist.

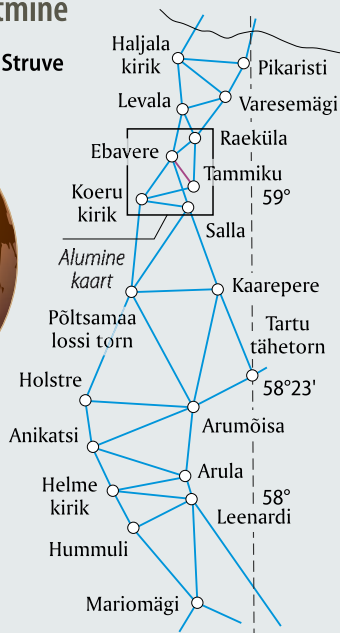


Mõõtmiste sooritamiseks kasutas Struve triangulatsioonimeetodit. Selle meetodi puhul kujutatakse maastikul üksteisega külgnevate kolmnurkade süsteemi, kus kõigi nurkade suurusi ning süsteemi baasjoone pikkust teades leitakse kolmnurkade otspunktide vahelised kaugused.



Süsteemi baasjooneks võttis Struve Võivere ja Simuna mõõtepunktide vahemaa. 4512,28 meetri pikkuse baasjoone mõõtmine rauast mõõtelattide abil võttis Struvel aega kaks nädalat. Baasvõrgu abil mõõdeti Tammiku-Ebavere vahemaa, mis sai kogu triangulatsiooniahela lähteküljeks.

Allikad: Tartu tähetorn, Tartu observatoorium



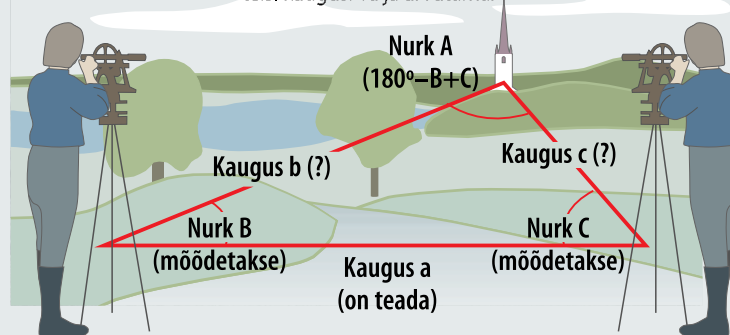
Eesti piiridesse jäävad Struve kaare 20 põhipunkti, 3 baasvõrgupunkti ja üks abipunkt, mis sidus võrgustiku teiste triangulatsioonivõrgustikega.

UNESCO maailmapärandisse on Eesti territooriumil asuvatest punktidest võetud Simuna-Võivere baasjoone otspunktid ja Tartu tähetorn.



Simuna mõõtepunkt aastast 1827.

Baasjoone pikkuse ja teodoliidiga mõõdetud nurkade suuruste abil saabki hakata teisi kaugusi välja arvutama.



$$\text{KAUGUS } b = (a \times \sin B) / \sin A$$

$$\text{KAUGUS } c = (a \times \sin C) / \sin A$$





Hoone kui tähis. Tähetorni kupli keskpunkt oli Liivimaa triangulatsiooni lähtepunkt. Liivimaa triangulatsioon ja Tartu meridiaankaare möötmise käigus määrati ka triangulatsioonipunktide absoluutkõrgused merepinna suhtes. Tartu tähetorni lävepaku kõrgus tähistas Lõuna-Eesti nivelleerimistööde lähtekõrgust. Lisaks on tähetorni seinas reeper (tähis), mis seoti 19. sajandi lõpupoole riiklikku kõrgusvõrku.

vallas tegi esimesi samme 1808.–1809. aastatel ka üliõpilane Magnus Georg Paucker, kes kaardistas Emajõe, määras ära 30 punkti Võrtsjärvest Peipsini. See on teadaolevalt esimene triangulatsioon Eesti alal ja samaaegne Tenneri Peterburis tehtud mõõtmistega. Paucker töötas lühikest aega tähetorni astronoomi-vaatlejana.

Struve kaarega samaväärset tähelepanu väärrib ka näiteks sõjaväe topograafide tehtud Tallinna Läänemere triangulatsioon aastast 1830–1838, mille käigus rajati Tallinnasse Lasnamäele ajutine observatoorium. Mõõtmisi teostas suuresti Struve käe all õppinud Wilhelm Wrangel. Mõõtmise tulemuseks pidid seekord olema täpsed mere-, mitte maakaardid. Struve ja Läänemere triangulatsioonivõrkude vahele rajati 1856–1858 polkovnik Zlobini juhtimisel lisaks Eestimaa kubermangu triangulatsioon.

20. sajandil vajas iseseisvunud noor Eesti Vabariik kaartide koostamiseks uusi mõõtmistulemusi. Tehnika oli vahepeal arenenud, muu hulgas võimalus anda ajasignaal varasemate kromomeetrite asemel edasi raadio teel. Suured mõõtmistööd tehti aastatel 1926–1935 ja nende lähtepunktiks oli seekord Tallinna toomkiriku torn (rajati Balti mere äärsete riikide ühist võrgustikku), mitte enam Tartu tähetorn. Tähetorn ei jäänud siiski kõrvale, sest Eesti lõigu punktide koordinaatide määramiseks tehtud astronoomilisi vaatlusi viis läbi peamiselt tähetorni töötaja Robert Livländer. Livländer määras raadio ajasignaalide abil senisest täpsemalt Tartu tähetorni koordi-

naadid. Tartu tähetorni juhataja Taavet Rootsmäe peab vajalikuks veel 1927. aastal toonitada, et „Tartu Ülikooli Tähetorn on üle saja aastase traditsiooniga astronoomiline punkt, kus mitu korda on toimetatud pikkuse mõõtmisi ja kus neid jätkatakse kahtlemata ka edaspidi, sellepärast on loomulik, et Tartu Ülikooli Tähetorn riiklike pikkuste keskjaamaks valitakse.” (EAA 2100.4.138)

Robert Livländer, kes alustas 1922. aastal tähetornis ajutise abijõuna, kujuneski hoopis geodeediks. Ta oli Tartu tähetorni esindaja 1928. aastal septembris Berliinis toimunud Balti geodeetilise komisjoni konverentsil. Et oma teadmisi täiendada, viibis ta 1928. aasta detsembrist 1929. aasta maini ülikooli stipendiaadina Preisi geodeesia instituudis Potsdamis. Ajavahemikus 1929–1933 töötas ta igal suvel astronoomilise ekspeditsiooni juhatajana kaitseväge staabi I järgu triangulatsioonitööl. 1933. aasta suvel viis Livländer lõpule tööd rahvusvahelises triangulatsiooniahelas Eesti pinnal Lätist Soomeni. 1934. aastal sai temast geodeesia dotsent alguses Tartu ülikoolis ja hiljem Tallinna tehnikainstituudis.

### Maastikult maailmapärandiks

Juba 19. sajandil püstitati monumentid kaare otspunktile Fuglenesis Lapimaal ja Staro-Nekrassovkas Musta mere ääres. Eestis oli riikliku kaitse alla võetud Tartu tähetorn ja Simuna-Võivere baasjoone Simuna otspunkt, millele oli juba 1849. aastal ausammas paigaldatud. 1993. aastal peeti Tartus

konverents, kus kutsuti üles kõikide Tartu meridiaankaare möõtmisega seotud mälestiste säilitamisele. Tol hetkel ei õnnestunud Struve kaarti UNESCO maailmapärandi nimekirja lülitada.

2002. aastal toimus konverents Struve Arc 150, mille üks resolutsioon sõnastas uuesti soovi, mis vormistati FIG-i (Fédération Internationale des Géomètres) maamõõtmise komisjoni nõul taotluseks võtta Struve kaare mõõtmisega seotud punktid UNESCO maailma kultuuripärandi nimistusse. Eriti agarad toetajad olid põhjanaabrid – Soome maamõõduvalitsuse peadirektor Jarmo Ratia ja insener Aarne Veriä. Avalduses valiti välja kaare 34 punkti ning taotlusega ühinesid kõigi kaart läbiva kümne riigi kultuuriministriumid. Edu tõi asjaolu, et tegemist on teaduse- ja tehnoloogia valda kuuluva rahvusvahelise objektiga, mille sarnaseid ei ole just palju. UNESCO kaare punktiks olemine oli ka üks argument laguneva Tartu tähetorni renoveerimiseks ja muuseumina avamiseks. •

Autor tänab oluliste täpsustuste ja täienduste eest Lea Leppikut.

**Loe veel:** Tartu tähetorn. Koostanud Lea Leppik. Tartu, 2011 • Heiki Potter, Ivar Treikelder, Geodeesia ja kartograafia läbi aegade: maamõõtmise ning kaardistamiskultuuri ajalugu sõnas ja pildis. Tallinn, 2011 • Tõnu Viigi artiklid: [http://www.aai.ee/~viik/Struve\\_kaar.html](http://www.aai.ee/~viik/Struve_kaar.html) • ajakiri Geodeet

**Janet Laidla** (1982) töötab Tartu Ülikooli muuseumis Tartu Tähetorni juhatajana ning Tartu Ülikoolis Eesti ajaloo lektorina.





VALLO KRUUSER

## EDA AHI

### LUULETAJA

#### Teadus kui käsipuu!

Eesti keele seletavas sõnaraamatus seisab, et teadus on „tegevus, mille eesmärk on uute tõeste teadmiste saamine, süstematiseerimine ja rakendamine”. Terve elu on millegi uskumine, eriti pimesi uskumine, tundunud mulle üks pagana keeruline tegevus. Paistab, et teadus pakub siinkohal minusugusele sobivat käsipuu, millest haarata: konstandid, valemid ja seaduspärad justkui leevendaksid toda meile, inimestele, nii omast tõenälg.

Käsipuu, jah, see igatsetud kindel käsipuu. Ometi pole minu valikud püüdnud sellest nii otseselt kinni haarata – lohutavalt päevselgete valemite asemel tumestasid taevast mu ülikooliõpingute kohal lõpmatud diskursiivsed konstruktsioonid ja muutlikud ideoloogilised mustrid. Vankumatute valemite asemel õppisin n-ö pehmemat sotsiaal- ja humanitaarteadust, kus sageli pole kaugeltki mitte kindel, mis valem, mis õigem.

Aga võib-olla pole need valikud sugugi nii ekslikud ja kummalised, sugugi mitte nii juhuslikud. Järele mõeldes ei võlu mind teaduse – ei kõvema ega pehmem – puhul tegelikult „tõeste teadmiste” omandamise väljavaade sugugi nii palju kui nende teadmiste tõesuse ümberlütavus, too pidev kahtlemine. Seegi on ju inimkonnale nii omane, nii oma. On võluv näha, kuidas teadvuse abil ammutab inimkond tugevust just nõrkusest ja on üha paremini õppinud kasutama omaenda kahtlusi edasiminekuks. •





Tõsiasi on see, et elukvaliteet ja energiavajaduse kasv on seotud. Selle dilemma lahendamiseks on inseneriteadusel võimalusi. Termotuumasünteesi reaktori kavandatud prototüüp, mis on pildil, pole üksnes tulevikulootus, vaid ka ootus. Fotol Greifswaldi rajatava Max Plancki plasmafüüsika instituudi eksperimentaalreaktor Wendelstein 7-X.

HENRI ORMUS

# TUUMAJAAM

## MÜÜDID JA TEGELIKKUS KAALUKAUSIL





**Kas Eesti vajab tuumajaama? Kui tahame, et meie elukeskkond muutuks puhtamaks ja samas oleks meie käsutuses piisavalt energiat, siis ei jää insener Henri Ormuse veendumuse kohaselt muud üle, kui asuda projekteerima tuumajaamu ka Eestisse. Maailma praegune energiapoliitika kinnitab niisugust lähenemist, on artikli autor veendunud.**



# M

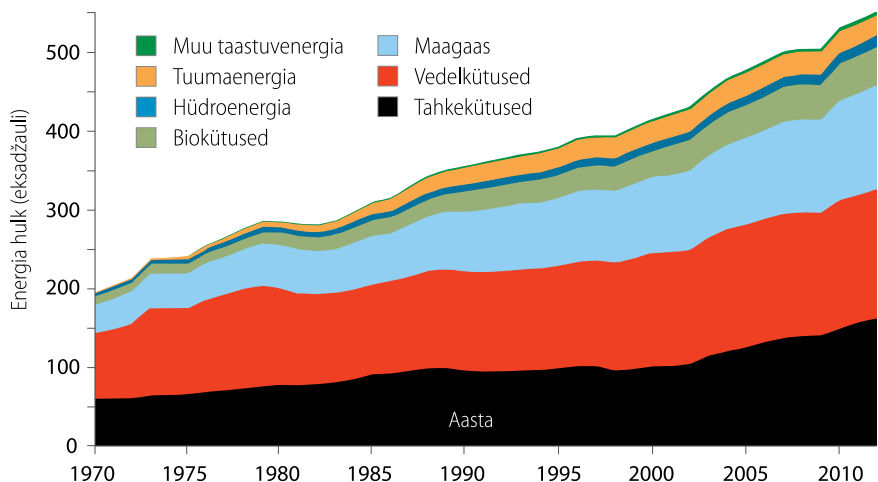
aailma energiama-  
janduse jätkusuut-  
likkus on teravate  
arutelude keskmes  
juba aastaküm-  
neid ja ikka ning

jälle jõutakse sinnamaale, et praegune  
kurs vajab tõsist uuendamist. Üsnagi  
üldlevinud seisukoha järgi peab fos-  
siilsete kütuste osakaal energia (seal-  
hulgas elektri) tootmises drastiliselt  
vähenema ning taastuv- ja tuumaener-  
gia osakaal tugevasti kasvama. Paraku  
kõneleb tegelikkus millestki muust –  
fossiilsete kütuste osakaal maailma  
energiamaajanduses on jätkuvalt olnud  
tõusuteel. ÜRO kokku kutsutud maal-  
ilma juhtivatest teadlastest koosnev  
uurimisrühm (IPCC) hoiatab, et aas-  
taks 2050 peab kasvuhoonegaaside  
emissioon vähenema 70 protsenti, et  
ära hoida katastroofilist ning pöör-  
dumatut globaalset kliimamuutust.  
Nõnda suureulatuslik heitgaaside vä-  
hendamine nõuab aga põhimõttelisi  
tehnoloogilisi ja ideoloogilisi muutusi  
maailma energiapoliitikas. Elukesk-  
konna säilitamiseks tuleb leida uued  
kõikehõlmavad lahendused nii töös-  
tuse, põllumajanduse kui ka metsan-  
duse arendamiseks ning muuta kõik  
need valdkonnad efektiivsemaks.  
Kesksel kohal peab siiski olema aga  
energiasektori ümberkorraldamine,  
sest peamine kasvuhoonegaaside all-  
ikas on fossiilsete kütuste kasutus.

Energia tarbimine on maailmas vii-  
mase 40 aastaga kahekordistunud  
ning see kasv jätkub hoogsas tempos.  
Suure osa sellesse kasvu panustavad  
arenevad majandused, haarates Hiina  
kõrval teisi Aasia ning ka Aafrika ja  
Ladina-Ameerika riike. Siinkohal tuleb  
tõdeda, et rahvusvahelised jõupingu-  
tused taastuvenergia osakaalu suuren-  
dada on seni andnud vaid marginaal-  
seid tulemusi. Ka tuumaenergia osa-  
kaalu ei ole suudetud oluliselt tõsta  
ning põhiline kasv on jätkuvalt toimu-  
nud fossiilsete kütuste arvel. Nii see  
enam jätkuda ei saa, olukorda on vaja  
kiiresti muuta!

## Kesksel kohal elekter

Kuidas aga olukorda muuta? Oodatav  
muutus peab alguse saama ümberkor-  
raldustest elektri tootmises. Elektri  
tootmiseks tuleb üha vähem kasutada  
fossiilset kütust, iseäranis põlevkivi.

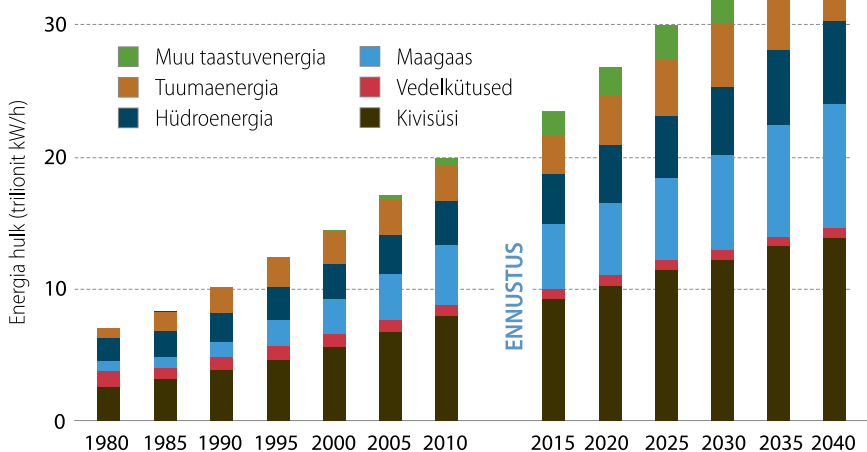


Allikas: IAEA (Rahvusvaheline aatomienergia agentuur)

Hoolimata jõupingutustest taastuv- ja tuumaenergia osakaalu suurendada, on viimaste kasv jäänud marginaalseks. Fossiilsete kütuste kasutus suureneb jätkuvalt.

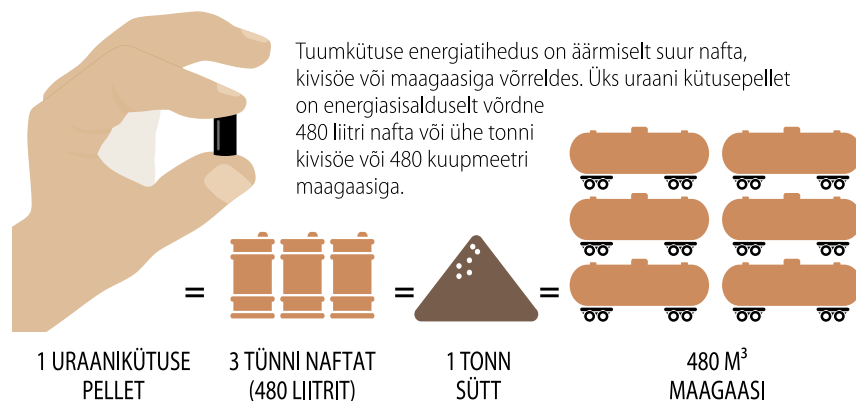
## Energia tarbimine maailmas aastatel 1970–2012.

Aastail 2010–2040 kasvab elektrienergia tarbimine maailmas ligemale 2 korda.  
Tuumaja- ja taastuvenergia tootmine kahekordistub, kuid kivisüsi jääb  
endiselt domineerivaks elektrienergia allikaks.



Allikas: EIA (USA energiainformatsiooni amet)

## Elektritootmine maailmas aastatel 1980–2010 ja ennustus aastateks 2015–2040.



Tuumkütuse energiatihedus.



## Energia tarbimine on maailmas viimase 40 aastaga kahekordistunud ning kasv jätkub hoogsas tempos. Põhiline kasv on jätkuvalt toimunud fossiilsete kütuste arvel.

Samal ajal tuleb jõuliselt kasvatada taastuv- ja tuumaenergia osakaalu. Selleks peame globaalsel tasandil välja töötama muutusi toetavad mehhanismid, sest ainult heast tahtest niisugused asjad ei juhtu. Näiteks ei piisa ainult sellest, kui Euroopa Liit seab endale üllad eesmärgid saastekoormust vähendada, olukord võib parandada vaid läbi ülemaailmse koostöö.

Hinnanguliselt kasvab elektri tootmine maailmas aastatel 2010–2040 ligemale kaks korda (üle 90 protsendi). Tervitatav on, et prognooside kohaselt kahekordistub selle aja jooksul ka tuuma- ja taastuvenergia (vee-, tuule- ja päikeseenergia) tootmine, kuid see tõus pole kaugeltki piisav, sest kivisüsi jääb endiselt domineerivaks elektrienergia allikaks ning kasvahoonegaaside õhkupaikamine jätkub kasvavas tempos. Lahendusi tuleb otsida uusimates tehnoloogiates, mille keskmes seisab tuumatehnoloogia.

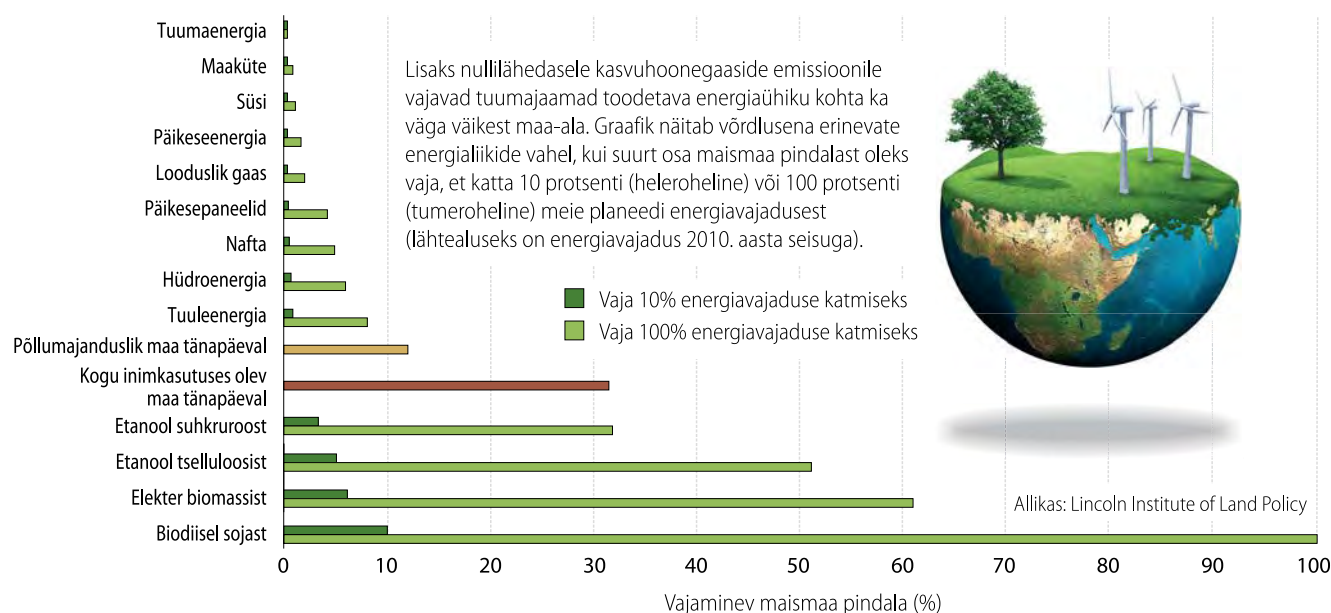
### Tuumenergia versus taastuvenergia

Tihti peale kiputakse taastuvenergiat vastandama tuumale, mis pole kuigi viljakas ja põhjendatud lähene mine, sest ainult taastuvenergia arendamisest ei piisa, et katta ülemaailmset energiavajadust. Tuumaja taastuvenergia täiendavad teineteist ning neid tuleb arendada koos. Tuumale, nagu igal energia tootmisviisil, on omad murekohad, aga sel on ka palju eeliseid, mis kaaluvad nõrkused üles. Tegemist on kõige keskkonnasõbralikumal suuremahulise baasenergia tootmise viisiga. Tuumajaam töötab ööpäevaringselt ka siis, kui päike ei paista, tuul ei puhu või on olnud vihmavaene aasta. Kui näiteks nafta ammutamine või kivisüsi kaevandamine nõuavad vastavalt suurte õliväljade või hiigelsuure kaevanduste rajamist, siis tuumajaamadega seotud maakasutus on selle kõrval pea olematu. Väga suur on ka tuumkütuse suur energiatihedus. Tuumakütust jätkub maakeral aastatuhandeteks, tegu on praktiliselt lõputu energiaressursiga, eriti kui lähedavad käiku uued reaktorid, mis hakkavad kasutama tänapäevast reaktorist läbi käinud kütust, sest seni suudetakse kasutada vaid paari protsenti tuumkütuse potentsiaalset. Praegu on väljatöötamisel tehnoloogia, kuidas kasutada reaktoris kütusena tooriumi, mille varu on uraanivarust oluliselt suurem.

### Reaktorite arv kasvab jõudsalt

Tänapäeval on töös üle 435 tuuma-reaktori, mis on kasutusel kokku 31 maailma riigis. Reaktorite koguvõimsus ulatub 375 000 megavatini, mis moodustab umbes 11 protsenti maailma elektrienergia tootangust. Ehitamisel on praegu umbes 70 reaktorit ja järgmise 10 aasta jooksul on planeeritud rajada veel üle 180 reaktori ning varajases planeerimisfaasis on 300 reaktori ringis. Eelpool loetletutele on lisaks 56 riigil kokku umbes 240 uurimisotstarbelist reaktorit ning allveelaevadele, lennukikandjatele ja jäälõhkujatele on paigutatud üle 180 tuuma-reaktori.

Tuumale energia tootmine kasvas stabiilselt kuni 2000. aastate alguseni. Sealt edasi tekkis paigalseis ja toimus isegi väike langus, sest vanemaid reaktoreid hakati järjest sulgema ning uusi reaktoreid ehitati juurde vähe. 2011. aasta järsk langus oli tingitud Fukushima elektrijaamas toimunud tsunamiohnetusest, mille tagajärjel otsustas Jaapan panna „karantiini“ kõik riigi poolsada tuumareaktorit. Lähiaastatel on aga oodata paljude uute reaktorite valmimist, eelkõige Venemaal ja Aasias (suurem osa Hiinas, Indias ja Lõuna-Koreas). Tõenäoliselt taaskäivitatakse pärast põhjalikku turvakontrolli ka suurem osa Jaapani hetkel seisvatest reaktoritest. Hinnanguliselt on aastaks 2040 oodata tuumale energia tootmise kahekordistumist.



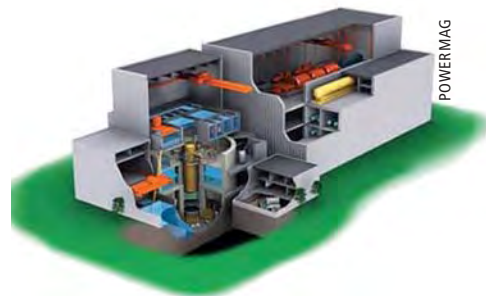
Maa kasutus toodetud energia kohta.



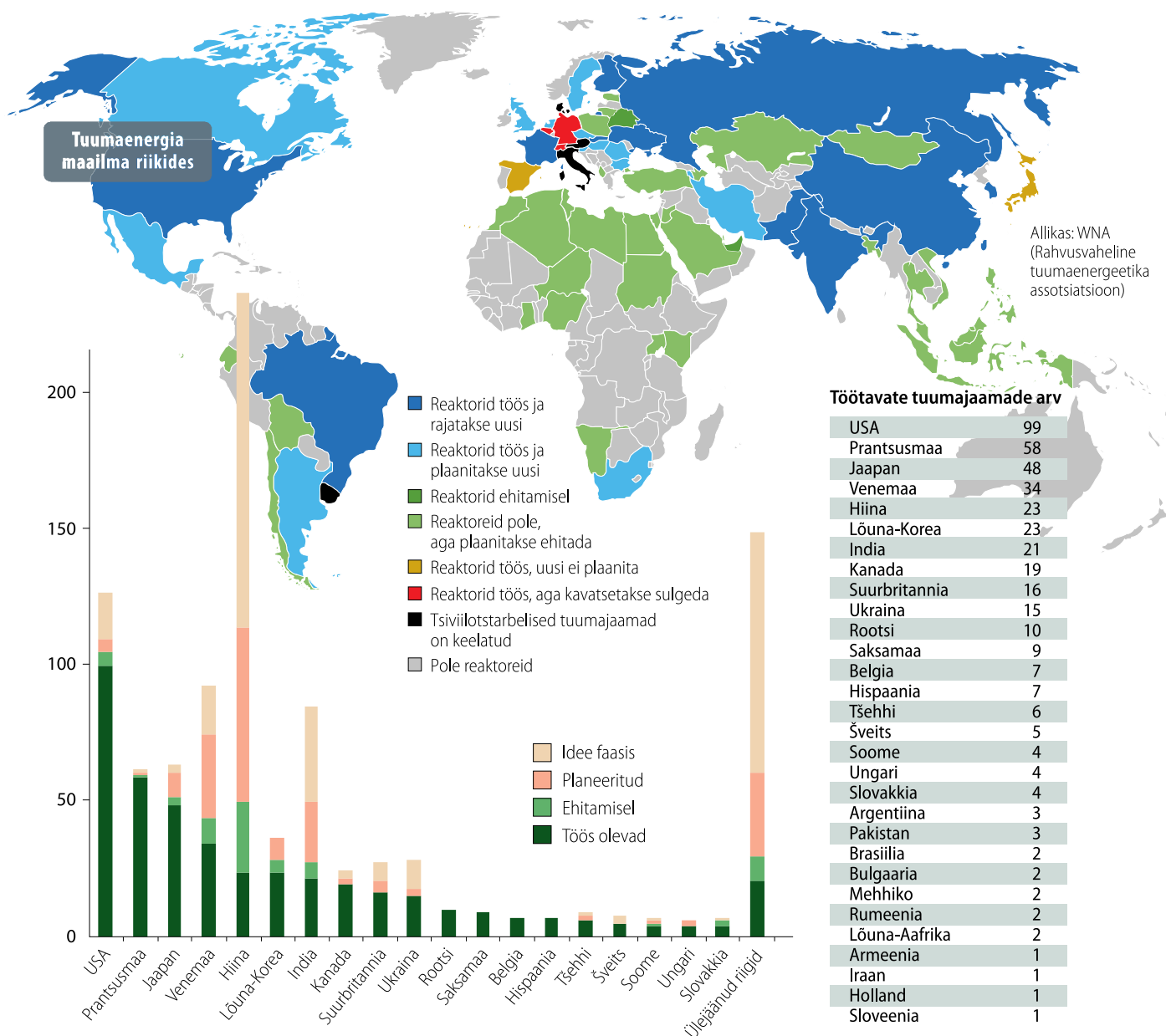
## Tulemas on uued reaktorid

Enamik suurte kogemustega tuumajaamade tootjaid on viimastel aastakümnetel välja töötanud uued nüüdisaegsed jaamad, mis põhinevad juba teada-tuntud tehnoloogiatel (keev-, surve- ja raskevesireaktorid), kuid mida on oluliselt täiustatud moodsate seadmete ja turvasüsteemidega. Neid nimetatakse III ja III+ generatsiooni jaamadeks (näiteks Areva EPR, Toshiba ABWR, Mitsubishi APWR, Rosatom AES-2006, Westinghouse AP1000, GE-Hitachi ESBWR). Nimetatud jaamad

on kõik praegu juba ehituses või planeerimise lõppjärgus. Uued jaamad on väga innovaatilised ja äärmiselt turvalised, sest kasutatavad turvasüsteemid on suures osas passiivsed ning ei vaja välist juhtimist ega sõltu välise toiteallika (elektri) olemasolust. Nende süsteemide töö aluseks on näiteks gravitatsioon (loomulik reaktori jahutusvee ringlus), surve (surveklapid, mis avanevad õigel hetkel iseenesest) või keemilised reaktsioonid, nagu vesiniku katalüsaator, et ära hoida vesiniku plahvatust, mis juhtus Fukushima.



Mitsubishi APWR



Maailmas töös olevad, hetkel ehitatavad, planeeritud ning idee faasis olevad tuumajaamad riikide lõikes.



Soome on hea eeskuju, kui vaadata nende riiklikku energiapoliitikat ning -tootmisportfelli, mis on väga tasakaalukas ning mitmekesine.

Soome energiapoliitika järgib Euroopa Liidu kliima- ja energiapoliitikat ning soomlased on sihikindlalt liikumas süsinikuheitmeid järjest vähendava energeetika poole. Soomes töötab kaks tuumaelektrijaama, Olkiluoto (omanik TVO) ja Lovisa (omanik Fortum), kus on töös kummaski kaks reaktorit. Viies tuumareaktor, Olkiluoto 3, on ehitamisel ning peaks valmima aastal 2018. Lisaks on projekteerimisel ka Soome kuues reaktor, Hanhikivi-1, mille ehitab Soome tööstus- ja energiaettevõtete ühisfirma Fennovoima. See ehitatakse Põhja-Soome Pühäjokile, kus metsalangetus ja ettevalmistavad tööd on juba alanud. Reaktori rajamine algab 2018. aastal ning tuumajaama planeeritud valmimisajaks on 2024. Tänu nendele projektidele kahandab Soome järjekindlalt süsinikuheitmeid ning liigub puhtama elukeskkonna suunas.

Isegi poliitilisel tasandil on suudetud hoida pigem kindlat sihti ning on lähenetud asjale kaine insenerimõistusega, mis kipub tavaliselt poliitilises ladvikus puuduma. Neid näiteid leidub maailmas kahjuks liiga palju, kus ebastabiilne poliitiline keskkond, põhjendamatud hirmud või teadmatus on



Olkiluoto tuumaelektrijaam Edela-Soomes Eurajokil.

viinud valede valikuteni, mis kokkuvõttes lähevad ühele või teisele riigile ja ka kogu maailmale väga kalliks maksma.

Inimeste suhtumine tuumaenergiasse on Soomes läbi aegade aina positiivsemaks muutunud. See on pikaajalise selgitustöö ja energeetikaalase harituse tõstmise tulemus. Tuumaaenergia ja radiaktiivsus on tundlik teema, mis tekitab inimestes vastakaid

tundeid ning hirmu. Need hirmud tulenevad enamasti vähesest informeeritusest ja eelhoiakutest, mille taga on väga mitmest allikast lähtuv infomüra. Soomlased on oma rahva informeerimisega kõigest sellest, mis seondub tuumaenergeetikaga, pigem hästi hakkama saanud. Ise nad ütlevad, et asja tuleb võtta rahulikult, kaine talupojamõistusega. •

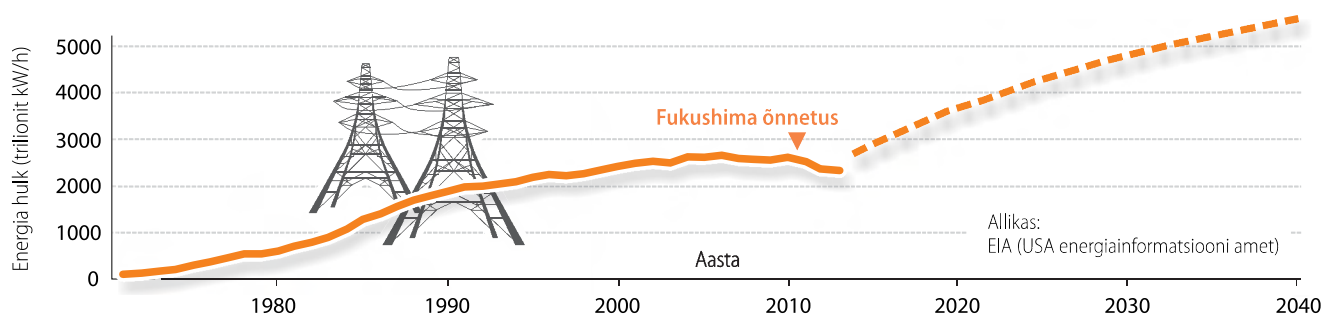
Lisaks on turule tulemas väikesed moodulreaktorid, mis on võimsusega kuni 300 MW ning mida iseloomustab uudsus ja lihtsus, mis muudab need äärmiselt turvaliseks. Mooduljaamu on plaanis hakata valmistama mass-toodanguna, mis alandab nende hinda ja lühendab oluliselt ehitusperioodi (täna suurte reaktorite puhul on see 5–10 aastat). Tänu mooduljaamade väikesele võimsusele saab neid üles panna ka hõreda asustusega paikkondadesse, näiteks saartele, või keskustest eemal asuvatesse väiksematesse

linnadesse, kuhu suure, 1000–1700 MW võimsusega reaktori rajamine oleks põhjendamatult.

Viimasel kümnendil on moodulreaktorite arendusse suunatud palju vahendeid. Suur hulk erinevaid firmasid ja teadusasutusi on välja töötanud kümneid erinevaid, innovatiivseid reaktoridisaine, mille võimsus jääb vahemikku 100–300 MW. Näiteks Hiina esimene pilootprojekt, 200 MW kõrgtemperatuuriline gaasijahutusega reaktor HTR-PM peaks kohe valmima. Viimastel aastatel on ka USA valitsus

rahastanud mitmeid projekte mooduljaamade arendamiseks ja litsenseerimiseks.

Tulevikureaktoriteks nimetatakse IV põlvkonna reaktoreid, mille all mõeldakse tavaliselt säästlikke, enamjaolt kiirete neutronite reaktoreid, mis võimaldavad saada praegusega võrreldes 100–300 korda suurema energia samast uraanikogusest. Sealjuures kasutatakse suletud tuumkütsükli, mis vähendab oluliselt radioaktiivsete jäätmete kogust ning ka nende hoiustamiseks vajaminevat





- Inimesed saavad suurema osa oma aastasest radioaktiivse kiirguse doosist tuumajaamadest.

Põhilise koguse aastasest radioaktiivse kiirguse doosist saavad inimesed looduslikust radioaktiivsusest. Näiteks USA-s, kus on ümmarguselt 100 tuumajaama, saavad inimesed keskmiselt ainult 0,005 protsenti oma aastasest kiirguse kogusest tuumajaamadest, see on 100 korda vähem kui põlevkivist saadud kiirgus ja 200 korda vähem kui ühest keskmisest lennureisist saadud kiirguse doos.

- Tuumareaktor võib plahvatada nagu tuumapomm.

Tuumareaktori pommina plahvatamine ei ole võimalik, sest nii tuumarelvade koostisosad kui ka tehniline konfiguratsioon erineb põhimõtteliselt tuumareaktorite ülesehitusest.

- Tuumaaenergia ei ole keskkonnasõbralik.

Tuumaaenergia on keskkonnasõbralik, sest tuumajaamad ei paiska keskkonda kasvuhoonegaase. Kogu elutsükli lõikes (jaama ehitamine, kütuse tootmine, energia tootmine, jaama sulgemine) on tuumajaama kasvuhoonegaaside emissioon võrreldav tuule-, hüdro- ja päikeseeenergia tootmisega kaasnevate emissioonidega.

- Tuumaaenergia ei ole turvaline.

Tuumaaenergia on turvalisem kui ükski teine energia tootmise viis, sest tuumatööstus on üks kõige rangemini reglementeeritud ja kontrollitud tööstusharusid. Näiteks söekaevandamisel ja naftapuurimisel ning nende kütteainete kasutamisel tööstuses toimub alalõpmata inimohvritega õnnetusi.

- Tuumajäätmeid tekib hiigelhulgal ning puudub lahendus, kuidas neid kahjutuks muuta.

Kogu maailmas viimase 60 aasta jooksul tekkinud kasutatud radioaktiivne tuumkütus mahuks ruumi suurusega 100×100×100 meetrit. Sellest „jäätmest“ saab 96 protsenti ümber töödelda ja kasutada väärtusliku kütusena IV põlvkonna reaktorites. Välja on töötatud ka tehnoloogia, kuidas radioaktiivne kasutatud tuumkütus turvaliselt ladustada maa alla stabiilsesse aluskivimisse nii, et see ei kujuta endast ohtu ka tulevastele põlvkondadele.



Kogu maailmas seni tekkinud kasutatud tuumkütuse maht võrdluses Eiffeli torniga.

- Enamik ei poolda tuumaaenergiat.

Suuremas osas arenenud riikidest ollakse arvamusel, et tuumaaenergia mängib tähtsat rolli kasvava energiavajaduse katmisel tulevikus ja ka CO<sub>2</sub> vaba kliimapolitiika elluviimisel.

- Tšernobõli õnnetus tappis sadu tuhandeid inimesi.

Esimestel nädalatel pärast ajaloo kõige suuremat tuumajaamaõnnetust suri saadud suure kiirgusdoosi tõttu umbes 30 inimest, hiljem hukkunute arv kasvas. Erinevalt paljudest liialdavatest ja eksitavatest „uuri-mustest“ ja väidetest, millel puudub teaduslik alus, leidis 2005. aastal rahvusvaheline rohkem kui 100 teadlasest koosnev uurimisrühm, et Tšernobõli õnnetusest saadud kiirgusdoosi tõttu võib surra enneaegselt kokku umbes 4000 inimest.

- Radioaktiivseid jäätmeid ei ole turvaline transpordida.

Kasutatud tuumkütus ning muud radioaktiivsed jäätmed transporditakse spetsiaalsetes purunemiskindlates konteinerites. Senini on tuhanded saadetised transporditud turvaliselt ilma lekete ja vigastusteta nii auto-, laevakuu ka raudteetranspordiga.

- Tuumajäätmed on surmaohtlikud kümneid tuhandeid aastaid ning ripuvad mõõgana tulevaste põlvkondade pea kohal.

Paljud tööstused toodavad ohtlikke ning probleemseid jäätmeid. Tuumatööstus aga on välja töötanud tehnoloogia, mis võimaldab tuumajäätmed ladustada turvaliselt, nii et need ei kujuta endast ohtu ka tulevikus. Suure radioaktiivsusega jäätmed moodustavad ainult 3 protsenti kõigist radioaktiivsetest jäätmetest. Need on peamiselt kasutatud tuumkütus ja selle ümbertöötamise jäägid, millest pikaealisi ehk nn probleemseid jäätmeid on vähem kui 1 protsenti. Tuhandeteks aastateks tuleb turvaliselt ladustada vaid need pikaealised radioaktiivsed jäätmed, mille maht on suhteliselt väike. Radioaktiivse lagunemise tulemusel väheneb kiirguse tase tuumajäätmetes – mida aeg edasi, seda väiksemat ohtu need endast kujutavad.

- Tuumaaenergia ei suuda vähendada sõltuvust õlist ja gaasist.

Elektrienergiaga liiguvad rongid, trammid, bussid, autod ja juba isegi mootorrattad. Tuumaaenergiat on kasutatud laevanduses edukalt juba üle 50 aasta. Seda saab märkimisväärselt suurendada, senini on tuumaaenergia olnud kasutusel vaid jääliõhkujatel ja sõjalaevadel. Juba lähiperspektiivis oleks võimalik tuumaaenergiaga toita suuremat kauba- või ühistranspordi vajadust ning laadida elektriautosid. Väikesed modularsed reaktorid saaksid toita elektrienergiaga saari ja muid kaugeid või eraldatud alasid – näiteks Hawai, Puerto Rico, mis praegu kasutavad suures osas imporditud vedelkütuseid elektrienergia tootmiseks. Pikas perspektiivis saab tuumaaenergiaga vähendada sõltuvust imporditavast naftast (diisel, bensiin, kütteõli) tootes vesinikku, mida kasutada autodes ja kütuseelementides.



Soome Olkiluoto tuumajaamas tekkivate jäätmete ladustamiseks mõeldud hoidla rajamine on läinud maksma üle miljardi euro. Enam kui 30 aastat kestnud põhjalike uuringutega on seal leitud viis, kuidas tuumajäätmeid ohutult hoiustada. 420 meetri sügavusele graniitkivisse uuristatud hoidla mahutab 12 000 tonni tuumajäätmeid.

CORBIS / VIDA PRESS

**Uued jaamad on väga innovaatilised ja äärmiselt turvalised, sest kasutatavad turvasüsteemid on suures osas passiivsed ning ei vaja välist juhtimist ega sõltu välise toiteallika (elektri) olemasolust.**



Vaade turbiinidele, mis hakkavad elektrit tootma Soome läänerannikule Rauma lähedale ehitatavas Olkiluoto 3 tuumaelektrijaamas.

aega. Lisaks võimaldavad need reaktorid toota ka vesinikku, tulevikukütust nii transpordi tarbeks kui ka elektrienergia tootmiseks kütuseelementides.

Tooriumreaktoris nähakse edaspidi alternatiivi uraanipõhistele reaktoritele. Nende kütusekasutus on praeguste reaktoritega võrreldes palju efektiivsem ja tekib ka oluliselt vähem radioaktiivseid jäätmeid. Lisaks on Maa tooriumivarud 5–6 korda suuremad kui uraanivarud ja seda toorainet jätkuvalt mitmeteks sajanditeks ka siis, kui tootmismahud oluliselt kasvavad. Tooriumienergia miinusteks on hetkel vähene kasutuskogemus ning ka teatud tehnilised raskused. Tuumaenergeetika algusaastatel 1950. kuni 1970. aastate keskpaigani kaaluti tõsiselt tooriumireaktorite kasutuselevõttu, et aga uraanipõhised reaktorid võimaldasid erinevalt tooriumipõhistest toota plutooniumi tuumapommide tarbeks, siis jäeti tookord ka nende väljatootamine kõrvale.

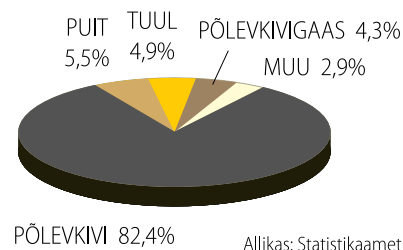
India, kus on maailma suurimad tooriumivarud, arendab täna jõuliselt tooriumkütusel põhinevaid reaktoreid. Indias jõudis 2014. aastal lõppjärku esimese tooriumireaktori (Advanced Heavy Water Reactor (AHWR), võimsus 300 MW) projekteerimine. Ehitusega kavatakse algust teha 2017. aastal ning viis aastat hiljem peaks nimetatud pilootprojekt tootma võrku juba 300 MW elektrienergiat.

Tööstuslike termotuumareaktorite (näiteks ITER, TOKAMAK, W7-X *stellator*) projektide õnnestumist on raske ennustada. Nende valmimise kohta on teadlaste ja inseneride ringkonnas juba mõnikümme aastat nalja visatud, et need tulevad kasutusse 50 aasta pärast ükskõik, mis ajahetke ka lähtepunktiks ei võeta. Saame näha!

### Meie oma tuumajaam?

Kas Eesti vajaks oma tuumajaama? Olen veendunud, et vajab, ja isegi mitut! Praegune loid alternatiivide otsimine massiivselt keskkonda säästvale põlevkivienergeetikale ei ole kuidagi mõistlik. Lühinägelikkus selles energeetikavaldkonnas peab lõppema nii kohalike inimeste tervise kui ka globaalse kliimapolitiika seisukohast vaadates. Ligi 90 protsenti kogu Eestis toodetud elektrist pärineb põlevkivisoojuselektrijaamadest. Eestisse sobiksid ideaalselt väikesed moodulreaktorid (võimsusega 100–300 MW), sest tänapäeval ehitatavad konventsionaalsed reaktorid on väga suured (1000–1700 MW) ehk siis üks selline tuumajaam kataks ära kogu Eesti elektrienergia vajaduse (kõigi aegade elektrienergia tarbimismaksimumi tipp on 1587 MW, mis mõndeti 2010. aastal) ja sellest jääks veel ülegi. Eesti tarbimise tipu- ja miinimumkoormus on talvel vastavalt ~1500 MW ja ~700 MW ning suvel ~1000 MW ja ~500 MW. Kindlasti tuleks eelistada pigem väiksemaid jaamu kui ühte suurt, sest see tagab parema varustuskindluse – ühe reaktori hooldustööde või rikke korral oleks kasutusest väljas ainult osa jaamade toodetavast võimsusest. Näiteks kui kavandada tootmisportfelli 300 MW tuumaenergiat, siis pigem tuleks eelistada kolme 100 MW reaktorit ühele 300 MW reaktorile. Lisaks toob see kaasa ka selged eelised ehituse finantseerimisel.

Tulevikuhorizonte vaadates ja silmas pidades Euroopa Liidu energia- ja kliimapolitiika raamistikku, mille



### Elektritootmine Eestis kütuseliikide järgi.

üheks eesmärgiks on vähendada aastaks 2050 kasvuhoonegaaside emissiooni energiasektoris vähemalt 80 protsenti võrreldes 1990. aastaga, siis on ilmselge, et Eesti energiasektor vajab täielikku ümberkorraldamist. Fossiilsete kütuste kasutamine ja süsinikurikaste heitmete keskkonda paiskamine tuleb energiaportfellis minimeerida ning tuuma- ja taastuvenergia osakaalu järsult kasvatada.

Ainuüksi taastuvenergia osakaalu kasvatamisest, mida näeb ette ka Euroopa Liidu energia- ja kliimapolitiika, üksi ei piisa, sest enamik taastuvenergia allikaid ei ole nn kindlad energiaallikad, st nende tootlus on vahelduv, sõltudes aastaajast ja ilmastikust. Õnneks on meil biomassi, mis päästab hädast, aga ka seda ei ole mõistlik liiga suurtes kogustes ahju ajada – targem oleks lisandväärtust tekitada ning lõpptoodet hoopis eksportida. Just väikesed moodulreaktorid oleksid lahendus, mis kataks Eesti baasenergia vajaduse.

Majanduslikust seisukohast vaadatud oleks kasulik, et oleksime pigem energiat eksportiv, mitte importiv maa, nõnda voolaks raha Eestisse sisse, mitte aga siit välja. Rohkem tootmist tähendab riigile rohkem töökohti ning rohkem maksutulu.

Kuigi väikeste moodulreaktorite laialdasemat kasutuselevõttu on oodata alles 10–20 aasta pärast, tuleks juba praegu mõelda, mida on selleks vaja teha ning millised sammud astuda, et paarikümne aasta pärast võiksime rahuliku südamega tõdeda – oleme teinud õigeid valikuid nii enda elukeskkonna parandamiseks kui ka globaalse kliimasoojenemise peatamiseks. •

**Henri Ormus** (1983) on saanud teadusmagistri kraadi tuumaenergeetika erialal Stockholmis kuninglikus tehnoloogiainstituudis 2009. Täiendanud ennast Ameerika Ühendriikides tuumajaamu ja -tehnoloogiat tootvas ettevõttes Westinghouse. Töötanud Soomes Pöyry tuumajaamade divisiooni tehnilise konsultandina. Praegu töötab insenerina Fennovoimas uue tuumajaama rajamisel.



# E-POOD teleskoop.ee

 **BRESSER**



**Bresser  
Lyra**  
70/900 mm  
Lapsele sobiv  
**239€**



**Bresser Messier  
AR-90 EXOS-1**  
ø90 mm, F=900 mm  
Hea läätsteleskoop  
alustavale astronoomiahuvilisele  
**373€**



**Bresser Messier  
AR-102 EXOS-2 GOTQ**  
ø102 mm, F=1000 mm,  
Soodne automaatika  
kerge ühendada peegelkaamera  
**899€**



**Bresser Messier  
NT-130 EXOS-1**  
ø130 mm, F=1000 mm  
Eesti populaarseim teleskoop  
alustavale astronoomiahuvilisele  
**459€**

**LUNT  
päikeseteleskoop**  
ø alates 50 mm  
Põnev astronoomia  
keset päeva!  
alates **1170€**



**LCD puuteekraaniga  
mikroskoop 40x-1600x**  
Pealt- ja altvalgustus, AV-väljund.  
Sobilik koolile ja uudishimulikule  
**249€**

**Trinokulaarse peaga mikroskoop  
Science TRM-301 40x-1000x**  
Sobilik uurimis- ja teadustöoks,  
üliõpilasele ja laborisse;  
rikkalik lisavarustus  
tumevälja kondensorist  
kaamerani  
**870€**



**Mikroskoop Junior**  
Suurendus 40x-1024x  
Kohver ja vajalikud tööriistad,  
PC okulaar, pealt- ja  
altvalgustus  
Sobilik lapsele ja koolile!  
alates **119€**



**Mikroskoop Erudit MO**  
Suurendus 20x-1536x  
Alumiiniumist ja õlarihmaga kandekohver, võrgu- ja patareitoide,  
sobib välitöödeks, LED altvalgustus, 3 objektiivi ja 3 okulaari,  
1x-1,6x Barlow-läätis, PC okulaar (640x480 px)  
**249€**

E-pood: [www.teleskoop.ee](http://www.teleskoop.ee)

Helista: 5 2 8 9 8 9 5

Kirjuta: [taevatoru@teleskoop.ee](mailto:taevatoru@teleskoop.ee)

[facebook.com/teleskoop.ee](https://facebook.com/teleskoop.ee)



# LIUELGEM MÕÖDA KROMOSOOME!

Elusa raku DNA ümber on palju askeldamist. Täielikult lahtikerituna on ühes inimese rakus paiknev DNA umbes kaks meetrit pikk, rakutuuma ära mahtumiseks on see niidirulli kombel teatud tüüpi valkude ümber keritud. Geenist valgu valmistamise esimese etapina liigub mõõda vastavat geeni sisaldavat DNA-d suur kogum erinevaid valke, mis kerivad DNA niidirulli pealt lahti, eraldavad kaksikheeliksi ahelad, ehitavad ühe ahela järgi järk-järgult valku kodeeriva RNA, ühendavad kaks ahelat jälle kaksikheeliksiks ning kerivad DNA uuesti kokku. Rakkude jagunemisel kopeeritakse sarnase protsessi käigus ühe geeni asemel kogu DNA, inimrakus on seda umbes kolm miljardit baaspaari.

Sellise vintsutamise käigus läheb DNA esmapilgul ootamatult tihti katki. Appi tõttavad erinevad parandusvalgud, mis purunenud kaksikheeliksiks korda teevad. Näiteks tihti-peale jääb üks kahest kaksikheeliksiks ahelast siiski terveks. Sellistel puhkudel kustutatakse lõik katkisest ahelast ning asendatakse see terve ahela põhjal tehtud koopiaga. Esineb ka olukordi, kus tekkinud kahju ei ole võimalik enam

täielikult taastada ning parandusvalkude töö tulemuks on muutunud järjestusega kaksikheeliks. Mõnikord, iseäranis näiteks siis, kui muutused kahjustavad DNA parandamisega tegelevaid geene, on tulemuks vähk – kontrollimatult jagunevad rakud, mis nõuavad ka Eestis arvestataval hulgal inimelusid.

Vähirakkude DNA-d uurides selgub, et esmapilgul sama tüüpi vähk on tihtipeale erinevate kahjustustega. Näiteks rühm Briti ja Kanada teadlasi on näidanud, et rinnavähk jaguneb geneetiliselt kümneks erinevaks alamtüübiks, mis mõjutavad oluliselt haiguse kulgu ning reageerivad ravile erinevalt. Olulise praktilise jätkuküsimusena uuritakse hetkel seda, kuidas määrata patsiendile parim ravi, arvestades tema haiguse geneetilist alamtüüpi. Seega ei maksa imestada, et ka viimane Nobeli preemia keemia alal anti DNA parandusmehhanismide kirjeldamise eest.

Rinnavähi alamtüüpide andmeid täpsemalt uurides satuti probleemi otsa. Auto- maatsed algoritmid andsid küll enamikul juhtudel õige vastuse, kuid jäid hätta umbes kümnel protsendil juhtumitest käsitsi analüüsiga võrreldes. Ülesande lahendamiseks kirjutasid vabatahtli-

kud programmeerijad erinevatest firmadest, muuhulgas Amazon, Facebook ja Google, Briti heategevusliku vähiorganisatsiooni Cancer Research UK 2013 GameJam raames nädalavahetuse jooksul kaksteist erinevat mobiilmängu prototüüpi, mis mängulusti kõrval ka geenianimeid analüüsivad. Valminud prototüüpidest ühe lihvis Šoti tarkvaraarendusfirma Guerilla Tea mobiilmänguks „Play to Cure: Genes In Space”, mis on tasuta alla laetav nii Apple’i kui ka Androidi nutitelefonidele ja tahvarvutitele.

„Play to Cure: Genes In Space” pakib analüüsi seni igameheteaduse rubriigis käsitletuga võrreldes oluliselt paksema „kastme” sisse. Mängijale antakse kosmoselaeva kapteni roll, tema eesmärgiks on lennata läbi tasandilise kaardi, kogudes sealjuures võimalikult palju ainet nimega „element Alfa”. Mäng koosneb kahest etapist. Kõigepealt näidatakse kaarti väärtusliku aine asukohtadega, mängija eesmärgiks on märkida kaardile lõigud läbi „element Alfa” pilvede. Seejärel lendab mängija kosmoselaevaga mõõda märgitud lõike, eesmärgiks vasakule või paremale liikudes võimalikult palju ainet



kokku koguda. (Lisaks nendele kahele etapile lennatakse veel mõõda asteroidivälju, jagatakse punkte ning tuunitakse punktide eest enda kosmoselaeva, kuid need on lisatud lihtsalt põnevuse pärast.)

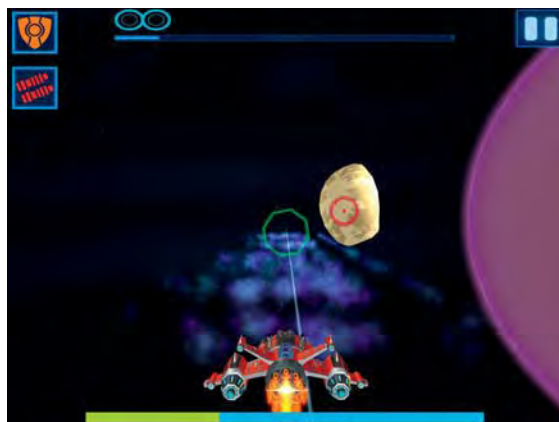
Mängijale näidatav „element Alfa” kaart visualiseerib DNA mikroiibi mõõtmisi, mis määravad analüüsitava proovis korraga umbes miljoni paarikümne baaspaari pikuse DNA jupi koguse. Kaardi horisontaaltelg järjestab mõõtmised vastava jupi asukoha järgi terve inimese genoomis. Vertikaalteljele kantakse mõõdetud kogused. Kaardil vertikaalselt keskel asuvad pilved esitavad seega kahjustamata piirkondi, kus DNA-d on sama palju kui terves rakus. Külgedel asuvad pilved näitavad seestvõttu kätte need piirkonnad, kus vastavat DNA-d on rohkem (uuritavas proovis on seda juppi kogemata mitu korda kopeeritud) või vähem (mõõdetav jupp on kaduma läinud). Mängu teises etapis kosmoselaevaga „element Alfat” kogudes lennatakse seega tegelikkuses mõõda kromosoomi, kaardistades teistkordselt ja suurema lahutusega DNA hulk antud positsioonil.

Värske uudisena suutsid mängurid hiljuti „läbi lennata” kogu uurimise all oleva andmestiku, jättes mängurile hetkel vaid isikliku avastamisrõõmu ning võimaluse end vormis hoida. Sarnaseid mikroiibi andmestikke on teadlastel teisigi – eeldusel, et kogutud „kromosoomilennud” end süvaanalüüsil õigustavad, ei saa välistada järke pealkirjaga „Play to Cure: Genes In Space II”. •

Jürgen Jänes  
Cambridge'i ülikooli arvutusbioloogia  
doktorant.

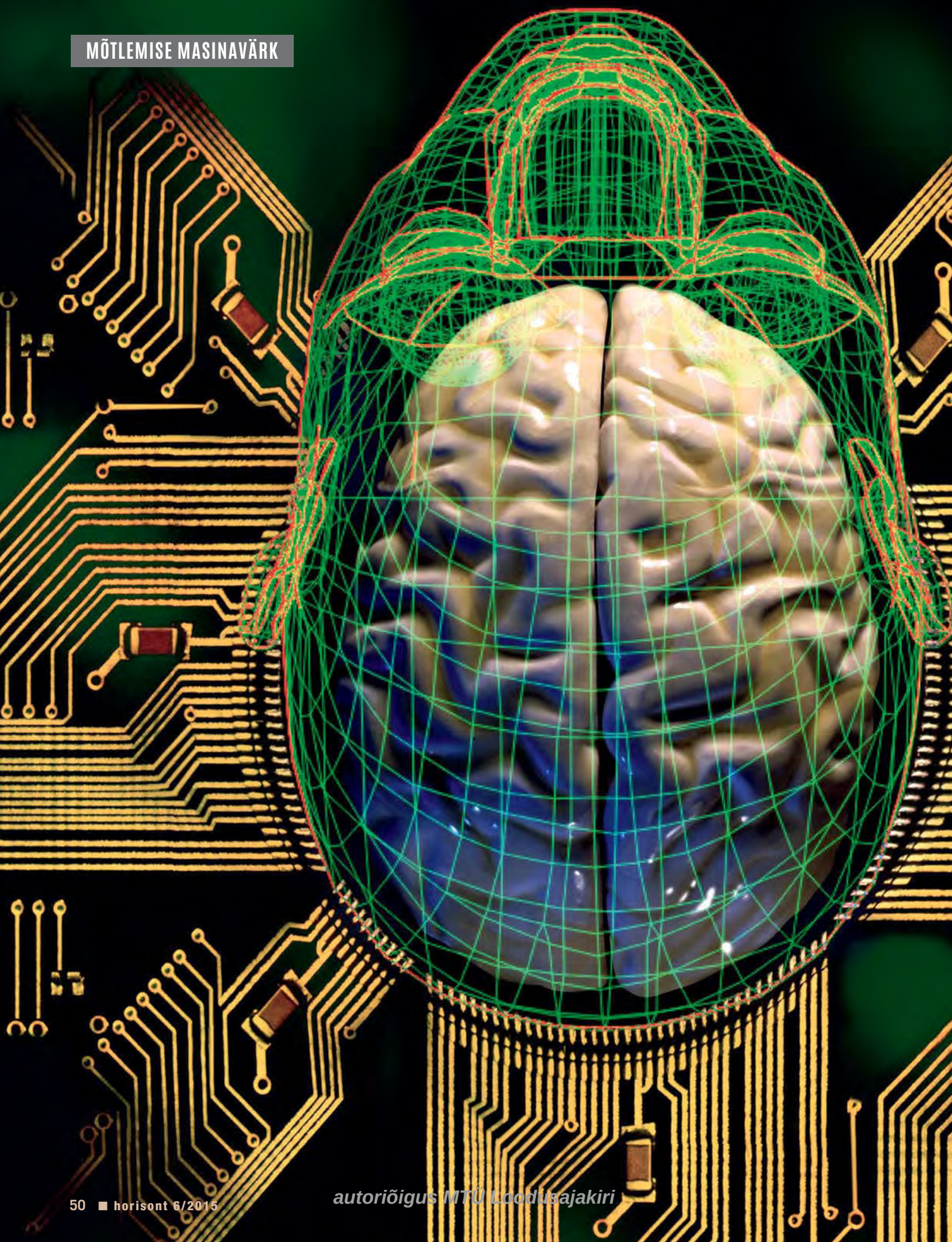


Kõigepealt palutakse mängijal märkida kaardil horisontaalsete lõikudega „element Alfa” pilved.

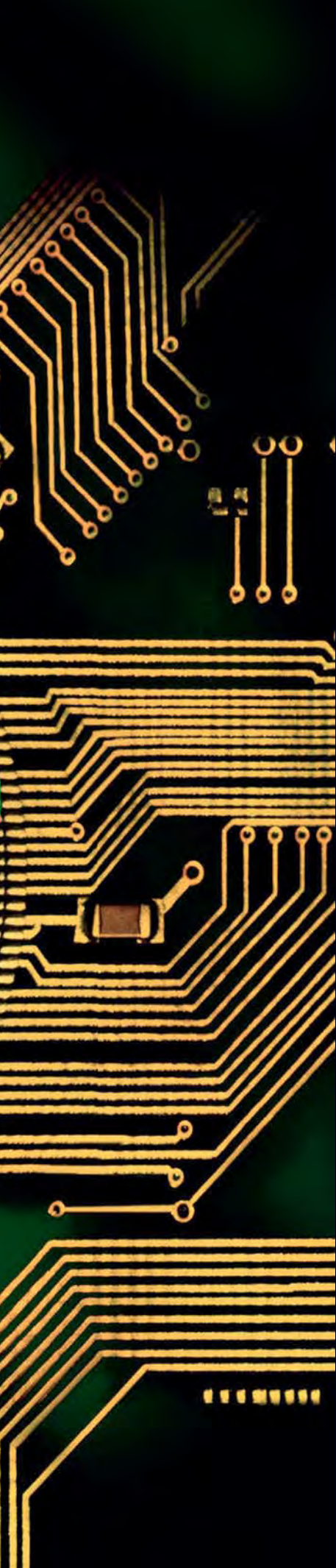


Seejärel lendab mängija mõõda eelnevalt märgitud lõike, eesmärgiga püüda vasakule ja paremale liikumisega kinni võimalikult palju „element Alfa” ainet.









ANDRES LAAN, JAAN ARU

# MÕTLEMISE RETSEPT ajudes ja arvutites

Inimene on mugavuse nimel loonud enda moodi masinad, mis tema töö ja vaeva üle võtavad. Õhukonditsioneerid hakkasid maju jahutama selleks, et inimene ei peaks iseenda higi kaudu oma kehatemperatuuri stabiliseerima. Skännerid ja arvutid võtsid postimajas üle ümbrikutelt postiindeksite lugemise ja kirjade sorteerimise. Tarkvara hakkas iseseisvalt võõrkeelseid tekste tõlkima. Nüüd on isesõitvad autod valmis linnatänavail juhita navigeerima. Suur hulk seadmeid on konstrueeritud lahendama ülesandeid, mis olid mingil hetkel inimese kanda. Seega seisavad inimesed ja masinad täna silmitsi sarnaste probleemidega. Kuid kas nad lahendavad neid probleeme ka sarnasel viisil? Kas meid üha enam ümbritsevatel tarkadel masinatel on mingisugune seos inimliku mõtlemisega või on need hoopis muud moodi elukad?

CORBIS / VIDA PRESS





**A**juteadust tutvustava seeria neljandas artiklis kirjeldame masinate ja loomade intelligentsuse hämmastavaid sarnasusi. Mitmedki kaasaja tehisintellekti algoritmid on leidnud otsest inspiratsiooni loomade käitumise ja aju uurimisest. Järgnevalt heidame põgusa pilgu tehnilike närvivõrkude temaatikasse, et teada saada, kuidas täpselt need algoritmid loodusest inspiratsiooni on hankinud ja milliste ülesannetega need hakkama saavad.

### Andmetest funktsioonideni

Enne kui intelligentsed süsteemid saavad oma tööd alustada, tuleb maailm andmeteks muuta. Fotokaamerad muudavad maailma valgusmustriks oma elektrisensorite aktiivsuseks täpselt samamoodi, nagu meie võrkkesta

rakud teisendavad valgussignaale aju-rakkude aktiivsusemustriks. Ka inimese kõrva närvirakud muudavad õhuvõnkumised elektrisignaaleks väga sarnaselt sellega, kuidas mikrofoni elektroonika teisendab vibratsioonid arvuti jaoks numbrite jadaks.

Kui numbrid on maailmast kokku kogutud, võib alata nende numbrite töötlus. Numbritöötlusest tasub mõelda kui matemaatilise funktsioonist. Matemaatiline funktsioon on süsteemaatiline protseduur, mis muudab sisendnumbrid väljundnumbriteks. Näiteks lihtne lineaarfunktsioon  $y=4 \cdot x+6$  muudab sisendnumbri  $x = 5$  väljundnumbriks  $4 \cdot 5+6=26$ . Maailmast saavutavate andmete töötlus on abstraktsel tasemel funktsiooniga väga sarnane. Näiteks programm, mis üritab pildilt koeri tuvastada, võtab sisendnumbriteks ühe digipildi küm-

ne miljoni piksli aktiivsused ja annab väljundnumbrina tulemuse, mis varieerub nulli ja ühe vahel. Väljundnumber 0 tähendab, et pildil koera kindlasti ei ole. Väljundnumber 1 tähendab, et koer on pildil kindlasti olemas. 0 ja 1 vahele jäänud väljund ütleb, et masin pole päris kindel, mida ta pildil näeb. Mida suurem on väljundnumber, seda rohkem masin usub, et pildil on tõepoolest midagi koera sarnast.

Ka inimese aju närvivõrkudest võib mõelda kui matemaatilise funktsioonist. Meie aju on masin, mis kasutab sisendina meelelundide närvirakkude aktiivsusi ja toodab väljundina mõni tuhat numbrit, mis määravad ära meie keha lihaste aktiivsused. Nagu me artikliseeria teises loos kirjeldasime, on aju arvutuste tulemused otseses sõltuvuses närvirakkude omavahelistest

## Juhendatud õppimine

Juhendatud õppimine on kõige levinum viis tehisenärvivõrkude õpetamiseks. Sellise õppimise puhul tuleb masinale anda märgistatud treeningandmete kogu, mille abil masin õpib sisendandmeid soovitud väljundandmeteks teisendama. Meie näites õpetatakse närvivõrku pildilt koeri tuvastama.

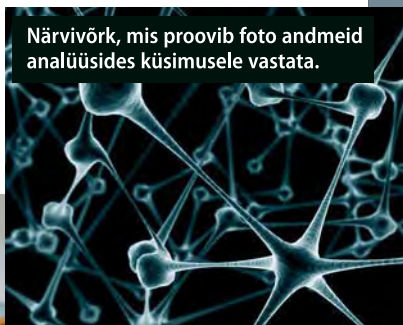
1. Alustuseks on tarvis koostada kataloog koertega ja koerteta pildidest ning sildistada, millistel pildidel on koerad olemas ja millistel pildidel on koerad puudu.

2. Järgmiseks võime näidispildid ükshaaval närvivõrgule sisse sööta, et uurida, mida närvivõrk igast pildist arvab.

3. Närvivõrgu arvamusd liiguvad edasi võrdluspunkti, kus neid juhendaja arvamusdga võrreldakse. Iga kord, kui närvivõrgu arvamus juhendaja omast lahku läheb, edastab võrdluspunkt närvivõrgule veasignaali, mille alusel närvivõrk oma sisemisi ühendusi ringi korraldab, et tulevikus samasuguse vea kordumist vältida.

KÜSIMUS: „KAS PILDIL ON KOER?“  
SISENDIKS ON FOTO, MILLEL  
VÕIB, AGA EI PRUUGI LEIDUDA KOER.

Närvivõrk, mis proovib foto andmeid analüüsides küsimusele vastata.



NÄRVIVÕRK ANNAB  
NUMBRILISE VASTUSE:  
.....  
1 - „PILDIL ON KOER“  
0 - „PILDIL EI OLE KOER“

JUHENDAJA ÜTLEB  
ÕIGE VASTUSE.  
.....

Võrdlus-  
punkt

Kui juhendaja ja närvivõrgu vastused lähevad lahku, siis muudetakse närvivõrgu omavahelisi ühendusi suunas, mis viivad närvivõrgu vastuseid juhendaja vastustele lähemale.

Kui võrdluspunkt ütleb, et juhendaja ja närvivõrgu vastused klapiavad, siis liigutakse edasi järgmise näite juurde.



# Fotokaamerad muudavad maailma valgusmustrid oma elektrisensorite aktiivsuseks täpselt samamoodi, nagu meie võrkkesta rakud teisendavad valgussignaali ajurakkude aktiivsusmustriks.

ühenduste mustrist ja tugevusest. Ajurakkude vaheliste ühenduste tugevus on nagu maagiline number, mis kontrollib seda, kuidas aju sisendnumbreid väljundnumbriteks muudab.

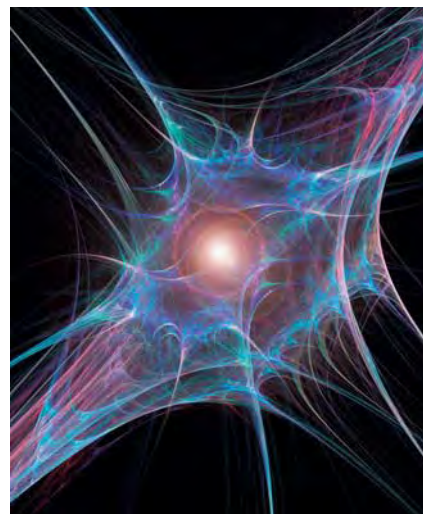
## Kuidas treenida närvivõrke

Aju paindlikest ühendustest inspireerituna on tehisintellekti insenerid loonud tehislikud närvivõrgud, kus tehislike närvirakkude vahel on samuti reguleeritava tugevusega ühendusi. Nagu ajuski, kontrollivad need ühendused ja nende täpne tugevus seda, kuidas andmeanalüüs närvivõrgus kulgeb. Oluline küsimus on, kuidas seda ühenduste tugevust määrata – kuidas närvivõrke nii tehissüsteemides kui ka ajus õpetada nii, et nende töö tulemuseks oleks otstarbekas käitumine. See pole sugugi triviaalne ülesanne.

Kõige tavalisem viis tehislike närvivõrkude õpetamiseks kasutab juhendatud õppimist (vt joon 1). Juhendatud õppimise käigus esitab treener tehislikule närvivõrgule sisendina üksikshaaval näidisülesandeid, mille vastus on juhendajale teada. Seejärel võrdleb juhendaja tehisliku närvivõrgu väljundit õige vastusega. Kui tehisliku närvivõrgu väljund jääb õigest vastusest liiga kaugemale, siis käiakse üksikshaaval läbi kõik tehisliku närvivõrgu sisemised ühendused ja uuritakse iga ühenduse juures, kas selle ühenduse tugevuse pisikene suurendamine või vähendamine viib närvivõrgu väljundit õigele vastusele lähemale. Pärast seda, kui kõiki ühendusi on muudetud suunas, mis viib närvivõrku pisut õigemale vastusele lähemale, liigutakse edasi uue näite juurde. Treeningu alguses on närvivõrgu vastused õigest vastusest väga kaugel, kuid

sammhaaval närvivõrku kohendades jõuab närvivõrk õigetele vastustele aina lähemale. Nii lihtne see närvivõrgu treenimise retsept ongi.

Suure hulga treeningnäidete peal välja koolitatud närvivõrkude väärtus on selles, et treeningu lõpus suudavad need õigeid vastuseid anda ka uutele, treeningandemete hulgest välja jäänud sisenditele. Need sisendid võivad olla näiteks tundmatut veebist alla laaditud pildid, mida on vaja arhiivi koostamiseks klassifitseerida või hoopis mõne uue kliendi kõne, kelle jutt on vaja kiiresti inglise keelest hiina keelde tõlkida. Erinevalt traditsioonilisematest arvutiprogrammidest ei jää treenitud närvivõrgud tundmatut näidet kohates hätta. Seepärast võime need võrgud panna iseseisvalt päriselu probleemidega tegelema. Juhendajaga koostöös treenitud närvivõrgud on rakendust leidnud postimajas ümbrikutelt postiindeksite lugemisel, nutitelefonides inimkõne interpreteerimisel, meditsiiniproovide diagnostilisel analüüsil ja veel paljudes muudes valdkondades. Juba 1980. ja 1990. aastatel võistles üks hästi treenitud närvivõrk edukalt inimese vastu koguni

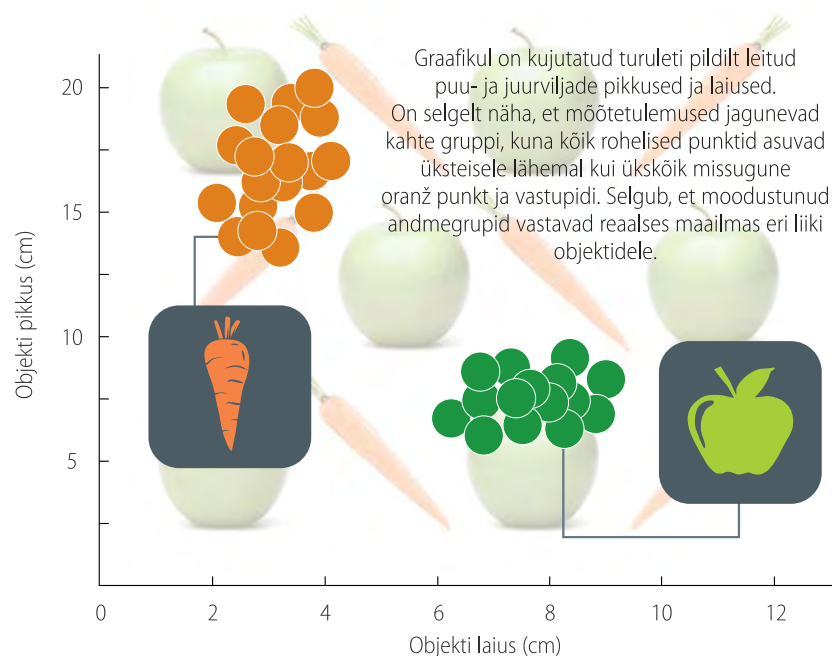


SCIENCE PHOTO / VIDA PRESS

lauamängu *backgammon* maailma-meistrivõistlustel. Tänapäevaks on sellisel viisil treenitud närvivõrgud võimalised lahendama mitmeid nägemismeelega seotud ülesandeid, nagu näiteks inimeste nägusid piltidel ära tundma või tuvastama jalakäijaid ja teisi autosid liikluses. On selge, et sellised tehnoloogiad ja nendega varustatud robotid saavad üle võtta mitmed elukutsed.

## Maailma statistika avastamine

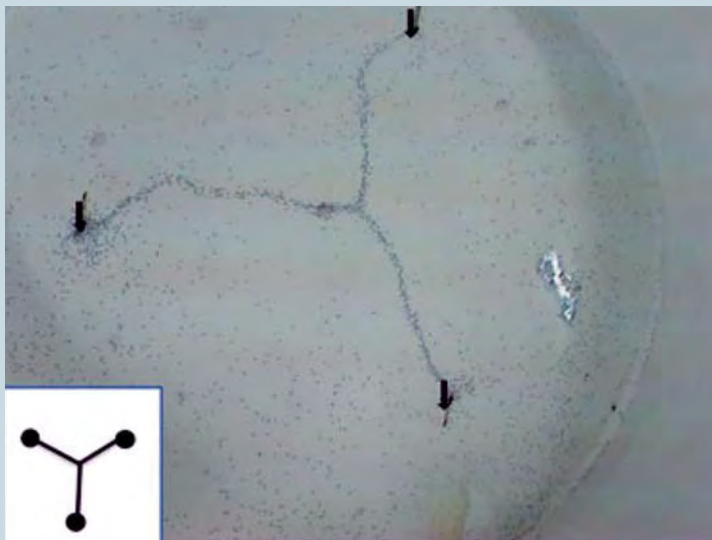
Objektide omaduste mõõtmisel jagunevad mõõtetulemused mõnikord loomulikesse gruppidesse. Seda arvesse võttes saab andmeanalüüs tuvastada reaalses maailmas leiduvaid esemete kategooriaid. Närvivõrgud õpivad neid kategooriaid leidma iseenda sisemise aktiivsuse statistilisi jaotusi mõttes.





Aju intelligentsus tekib paljude neuronite koostöö käigus. Kuigi üksikud neuronid ei ole terve ajuga võrreldes kuigi intelligentsed, tekib paljude neuronite koostöö tulemusena intelligentne süsteem. Selliseid intelligentsid süsteeme, mis tekivad eraldi võetuna „rumalate” koostisosade ühise töö tulemusena, leidub looduses mujalgi. Näiteks sipelgapesa intelligentsus tekib paljude sipelgate ühiste otsuste tulemusena.

Joonisel on kujutatud ühe sipelgapesa kommunikatsioonivõrgustik, mis samaaegselt maksimeerib ligipääsu ressurssidele ja minimeerib ressursside transpordiga seotud ajakulu. Sipelgapesa toimimist kirjeldavad algoritmid on inimeste maailmas rakendust leidnud näiteks telefonikõnede suunamisel ja logistikaprobleemide lahendamisel. Seda, kuidas lihtsate koostisosade tööst terviku intelligentsus tekib, uurib kollektiivse intelligentsuse (*collective intelligence*) teadusharu. •



Sipelgate moodustatud kommunikatsioonivõrgustik.

Eksperimentis paigutati kolm sipelgapesa (pildil nähtavad kui mustad tokid) kolmnurkses konfiguratsioonis suurele areenile. Seejärel filmiti, missuguseid trajektoore sipelgad pesade vahel liikumiseks kasutasid (trajektoorid on nähtavad kui mustade täppide jada, kusjuures igale mustale täpile vastab üks sipelgas). Selgus, et sipelgate trajektoorid ühendasid kolm pesa üksteisega niimoodi, et kõikide trajektooride kogupikkus oli minimaalne (matemaatiliselt optimaalne lahendus on kujutatud pisikeses alakastis ja see on sipelgate lahendusele hämmastavalt sarnane).

### Maailma kategooriateks jagamine

Juhendatud õppimise puudujäägiks on vajadus leida suur hulk treeningülesandeid, mille korral on õiged vastused ette teada. Keerulisemate närvivõrkude treenimiseks on selliseid näiteid vaja koguda mõnikümme miljonit. Selline väljakutse võib inimesest juhendajale üle jõu käia. Oleks parem, kui arvuti oskaks iseseisvalt andmeid vaadeldes andmete taga olevast loogi-

kast aru saada. Erinevat liiki andmete struktuur on küll pisut erinev, kuid paljud andmed jagunevad iseenesest kategooriateks. Näiteks fotodel on tavaliselt erinevat sorti objektid ja vestluste helisignaalid koosnevad piiratud arvuga silpide jadast. Oleks kasulik, kui arvuti suudaks need kategooriad iseenesest selgeks õppida ja juhendaja peaks pärast vaid ütleva, millisele kategooriale milline nimi juurde käib. Just nii, juhendamiset, käib suur osa õppimisest bioloogilistes närvivõrkudes.

Kategooriate moodustamise aluseks on arvutis andmete omaduste statistiliste jaotuste üle arve pidamine. Lugejale võisid küll koolitunnis statistika ja protsentarvutused närvidele käia, kuid eksperimentaalne ajuteadus on veenvalt näidanud, et meie teadvusväline töötlus on tõenäosusteooria kasutamise maestro.

Statistika algab jällegi andmete kogumisest. Oma esimese paari eluaasta jooksul tegelevad imikud peamiselt ümbritseva maailma vaatlemisega. Kogudes andmeid kiirusega 30 pilti sekundis, hindab imiku aju arvukate ümbritsevate esemete sisemiste oma-

duste väärtusi. Mõõtes näiteks teda ümbritsevate loomade pikkusi, võivad imikud avastada, et loomade kõrgused jaotuvad iseenesest kahte vahemikku. Teatud loomade kõrgused jäävad 150 ja 200 cm vahele, teise vahemikku sobituvad loomad, kelle kõrgus jääb 400 ja 500 cm vahele. Nende mõõtmiste statistiline jaotus meenutab pisut kahe küüruga kaamelit, kus esimene küür asub 150–200 cm ja teine küür 400–500 cm vahel. Kuna 200 cm ja 400 cm kõrgusega loomi imik praktiliselt kunagi ei kohanud, siis peaks nii imiku aju kui ka osav tehissüsteem jagama kõrguste statistilise jaotuse kaks küüru eraldi kategooriateks. Esimese kategooria loomade kõrgused jäävad 200 cm madalamale ja teise kategooria loomade pikkused jäävad 400 cm kõrgemale. Selgub, et antud näites moodustavad esimese küüru (150–200 cm) inimesed ja teise küüru (400–500 cm) kaelkirjakud. Seega oligi imik või tehisklik närvisüsteem objektide statistika põhjal iseenesest avastanud inimeste ja kaelkirjakute kategooriad (kuigi kumbki ei osanud neid kategooriaid ise vastavate nimedega tähistada).

**Oma esimese paari eluaasta jooksul tegelevad imikud peamiselt ümbritseva maailma vaatlemisega. Kogudes andmeid kiirusega 30 pilti sekundis, hindab imiku aju arvukate ümbritsevate esemete sisemiste omaduste väärtusi.**



Enamasti ei ole klasside lahutamise sedavõrd lihtne. Aju peab arvet pidama tuhandete erinevate omaduste üle ja nende omaduste statistilisi jaotusi tuleb koostisosadeks lahutada keerukamate arvutuste abil. Täpsemalt rääkides on isegi looma pikkuse mõiste tegelikult tuletatud kategooria ehk idee, mis on tekkinud madalama taseme signaalide uurimisest. Ometi on selgeks saamas, et audiovisuaalse maailma efektiivses tajumises mängib omaduste statistiline jaotus esmatähtsat rolli. Suure andmekoguse statistilist analüüsi kasutavad inimaju kõrval ka masinõppe algoritmide. Google'i teadurite paari aasta eest avaldatud masinõppe algoritm, mis suutis 10 miljoni Youtube'i videokaadri vaatamise järel iseseisvalt kasse, lilli ja inimesi tuvastada, rajas oma töö justnimelt pildipikslite statistika uurimisele. Vastavaid meetodeid kasutatakse nüüd kuuldavasti ka isesõitva auto ja telefoni häälassistendi programmeerimiseks.

### Kiida ja laida masinat!

Nagu eelnevalt kirjeldatud, saab närvivõrke programmeerida juhendaja õppesignaalide alusel või hoopis närvivõrgu komponentide statistikat mõttes. Kolmas võimalus närvivõrku treenida on masinat kiita või laida. Selline innustusõppe meetod töötab hästi robotite õpetamisel. Roboti sees pesitsev närvivõrk ütleb robotile, kuidas robot käituma peab. Roboti sensorid

peavad arvet närvivõrgu käskude tulemuste üle. Näiteks roboti laua vastu juhtunud närvivõrk võib saada sensorilt laitvat tagasisidet, samas kui prahitüki üles korjamiseni viinud käskude jada eest premeerib robot oma närvivõrku kiitusega. Närvivõrk kohendab kiitustest ja laistest sõltuvalt oma sisemisi ühendusi nõnda, et kiitusega lõppevate käskude sagedus kasvaks. Niimoodi elukogemuste hankimise käigus treenitud masinad on suutelised lahendama mitmeid päriselulisi probleeme, nagu näiteks suurte logistikaoperatsioonide koordineerimine või hoopiski robothelikopteri lennumanöövrite iseseisev juhtimine.

Innustusõppe printsiibid on tööle rakendatud ka loomade ajus. Sellise õppimisviisi kõige primitiivsema vormi avastas 19. sajandil Vene akadeemik Pavlov, kes märkas, et kui helistada kella vahetult enne koerte toidukorda, siis õpivad loomad kellahelina järgi toidu saabumist ette ennustama. Viidatud protsessi loogika on väga sarnane sellega, kuidas roboti tehisaju õpib kogemusest erinevate tegevuste väärtusi hindama. Muuhulgas on kaasaegne ajuteadus avastanud, et innustusõpet suunavat neurokemikaali dopamiini leidub ja see täidab sarnaseid ülesandeid nii inimese, kala kui ka äädikakärbse ajus. Kuna äädikakärbsed ja inimesed jagunesid evolutsiooni käigus sadu miljoneid aastaid tagasi, siis on meil alust eeldada, et innustusõpe on sadu aastamiljoneid vana

algoritm, mis on olnud loomade elu suunamisel väga olulise tähtsusega.

### Lõpetuseks

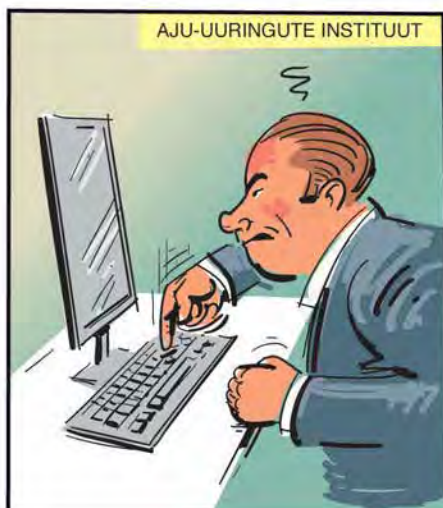
Loodusest on inspiratsiooni leidnud paljud erinevad arvutiteadlaste ja inseneride algoritmide. Juhendatud õppimisega treenitud närvivõrgud suudavad tänapäeval osasid visuaalse äratundmisega seotud ülesandeid lahendada paremini kui inimaju. Juhendamisetra treenitud närvivõrgud jaotavad maailma iseseisvalt kategooriateks. Innustusõppe abil treenitud robotid suudavad iseseisvalt prügi sorteerida ja salatit valmistada. Seistes silmitsi probleemidega, millele loodus on juba mitmeid aastamiljoneid tagasi lahenduse leidnud, on tihti otstarbekaks osutunud loodust pisut kopeerida. Kuna aju on inimkeha kõige usinam probleemide lahendaja, siis on meil alust loota, et aju uurides ja puurides leiame veel nii mõndagi kasulikku. •

**Loe Horisondist:** Tee aju mõistmiseni: ikka tasa ja targu, Horisont 3/2015 • Käitumisest ajurakkudeni ja ringiga tagasi, Horisont 4/2015 • Tõlketöö aju ja maailma vahel, Horisont 5/2015.

**Jaan Aru** (1984) on Tartu Ülikoolis töötav noorteadlane, kes tegi oma doktoritöö Max Plancki aju-uuringute instituudis Frankfurdis.

**Andres Laan** (1989) on ajuteaduse ja andmeanalüüsi uurija, kelle peamiseks huvialaks on tehisintellektiga seotud praktilised ja teoreetilised probleemid.

## HORISONT



TOOMAS PÄÄSUKE

# HOOLEGA HOITUD TEADUSMÖTTE JÄRJEPIDEVUS

**Ühiskonna vaimuelus on kindel osa teadlastel. Vabades tingimustes kõlab aktiivsete teadlaste hääl kaugele, totalitarismi tingimustes piirdus mõjuväli oma lähikonnaga. Ometigi oli see viljastav, kaugeleulatuv ja põhjanev. Nende ridade kirjutamise põhjuseks on ühe legendaarse akadeemiku 100. sünniaastapäev septembris 2015.**

**M**e valmistume tähistama Eesti riigi 100. aastapäeva, kavandame korraldada väikelinnu ja korraldada üritusi. Sellega seoses kerkib päris loomulikult küsimus, kas me anname au ka inimestele, kes üht- või teistmoodi Eesti riikluse tekkimist ja selle hoidmist toetasid. Päris loomulikult räägime neist, kes Eesti riigi rajamise juures olid, kes arendasid riiki enne II maailmasõda või kelle roll oli suur taasiseseisvumise protsessis. Ilmselt tuleks rääkida ka nendest, kes kujundasid Eesti vaimuelu ajaloo keerdkäikudest sõltumata. Ilma nendeta poleks ju olnud jõudu tänasesse päeva jõuda.

## Hingekirjas olnuid üle 2000

TTÜ Küberneetika Instituudi (KüBI) maja Mustamäel on tuntud, instituut loodi ise 55 aasta eest kitsukestes ruumides Sakala tänaval Tallinna kesklinnas Eesti Teaduste Akadeemia instituudina. Täna on KüBI kujunenud teadusuuringute kvaliteedimärgiks ning võib liialdamata öelda, et Eesti e-edu sai alguse KüBI seinte vahelt. Mis sellest, et omal ajal räägiti operatsioonanalüüsist, dialoogsüsteemidest, juhtimissüsteemidest ja koorikute teooriast. Inimeste hulk, kes KüBI ja selle arvutustehnika arendusettevõtte EKTA hingekirjas on olnud, on aukar-

tusäratav – umbes kahe tuhande ringis, sh 13 akadeemikut. KüBI tiiva alt on võrsunud Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut ja AS Cybernetica ning EKTA-st väljakasvanud väikeettevõtete arvu on isegi raske kokku lugeda. Täna KüBI seinte vahel on kaks Eesti teaduse tippkeskust, mis seotud arvutiteaduse ja mittelineaarsete protsesside analüüsiga. Kaks kaheteistkümnest pole sugugi vähe, arvestades KüBI isikkoosseisu ulatust. Loomulikult haaravad need tippkeskused ka teisi uurimisrühmi.

Miks nii on juhtunud? Raamat „Teadusmõtte Küberneetika Instituudis“ (KüBI, Tallinn, 2010) annab sellele selgituse. Kohe algusest peale oli KüBI seinte vahel loodud atmosfäär vaba teadusmõtte viljelemiseks ja see on püsinud tänaseni. Aastal 2012 võeti Euroopa Liidus vastu Aarhuse deklaratsioon ekstsellentsusest teadusuuringutes, alapealkirjaga „Investeering tulevikuks“. Põhimõteteks on: andes talendikatele teadlastele vabad käed, luuakse parimad tingimused uute ideede arendamiseks, uute paradigmat tekkimiseks, läbimurreteks teadmistes, mis loovad aluse homsetele rakendustele. Deklaratsioon loetleb ka tingimusi: usaldus ja vabadus, pikaajaline perspektiiv, loominguline õhk-kond, multidistsiplinaarsus, talentide toetamine, hea infrastruktuur. Sellised mõtted ja kirjutamata reeglid kõlasid KüBI seinte vahel aegade algusest peale. Tõsi, infrastruktuur tänapäeva mõistes oli tollal ikka napp küll, kuid tolle aja kohta parim, mis olla sai.

## Kõik pole kuld, mis hiilgab

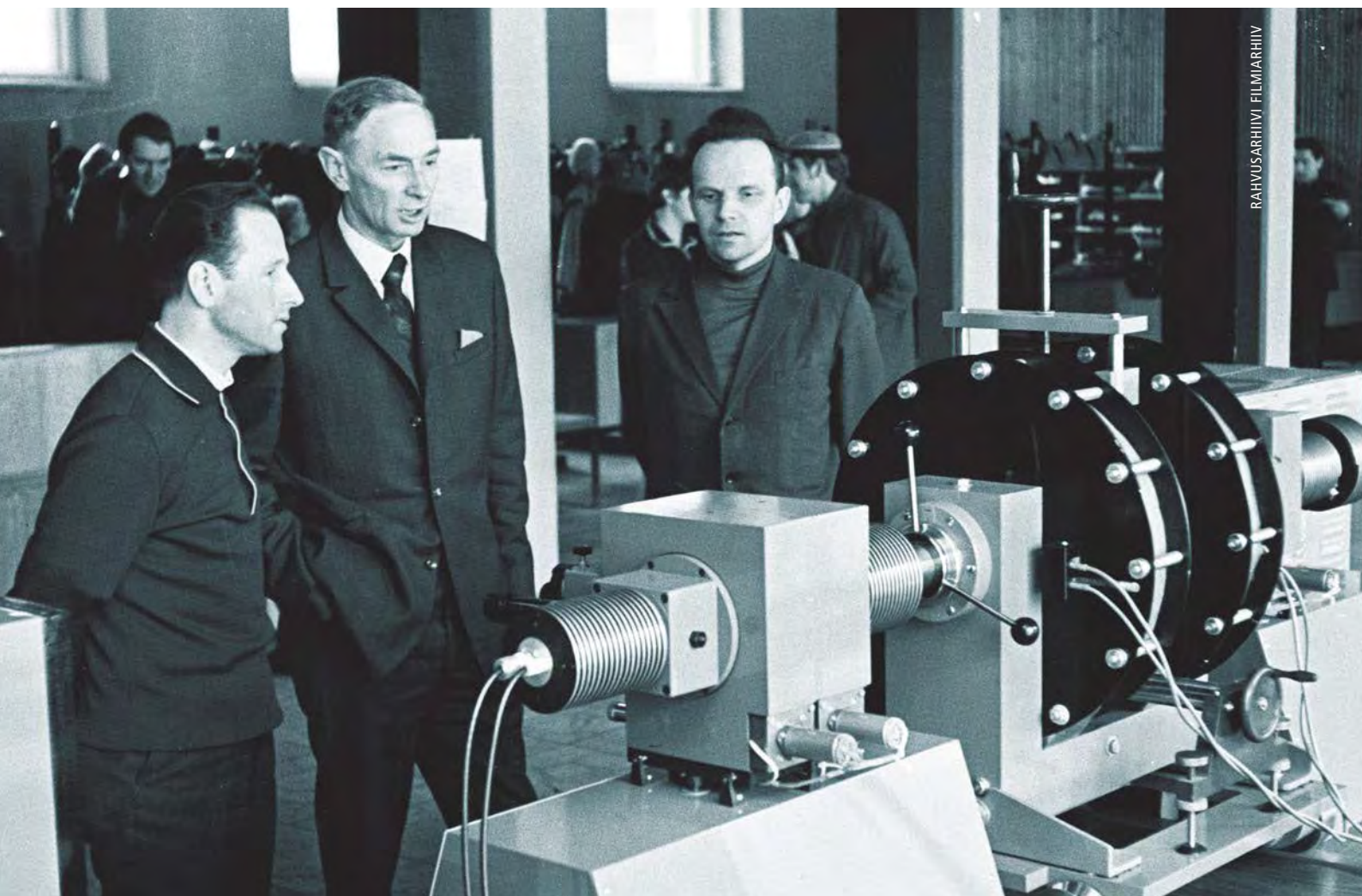
Hoolimata nendest headest mõtetest, pole kõik kuld, mis hiilgab. Mõte liigub täna Eesti teaduselu üldise käekäigu juurde, kus paraku tulevad kõigepealt ette retoorika ja tegelikkuse ebakõlad, mõõdikute jumaldamine ja bürokraatlikud reeglid. Jah, meil on häid tulemusi (sest meil on häid teadlasi) ja meil on tänu Euroopa Liidu toetusele paranenud infrastruktuur, kuid võimust on võtnud projektsus ja eba-

kindlus. Kõige selle juures on hämmastav just see, et ametnikud ja administraatorid on ju samuti meilt pärit, mitte aga kaugelt saadetud emissarid. Mõõdame, kehtestame igal pool ühesugused struktuurid, nõuame väljundeid (vastavalt plaanile) – kõik see ju tegelikult pärseb teadusloomet. Loomulikult peab teadus olema suuteline ühiskonna valupunkte analüüsima ja lahendusi pakkuma, kuid kõiki seejuures Prokrustese sāngi panna ei tohi, see on ju vana tõde. Võib ju oletada, et administraatoritel on teadustöö kogemusi napilt või on neil omaaegne teadustöö kogemus lihtsalt meelest läinud.

Ülaltoodust järgneb, et midagi on suurel pildil (teadus Eestis) valesi. Kas mõõdikute kõrvale poleks vaja midagi muud? Ja kas pole tippteadlaste ja omanäoliste teaduskollektiivide olemasolu väikeses riigis olulisem kui bürokraadi registreeritud andmed? Tuleb küll ausalt tunnistada, et KüBI alguspäevilt oli samuti teada üks „mõõdik“ – KüBI direktor teatas, et on väga lihtne määrata teadustöö edukust. Nimelt tulevat vaid vaadata, kas teadusasutuse aknad on hilisõhtuni valged. See on loomulikult kole lugu tänapäeva töökaitseaduse sätete valguses. Teaduses aga teatavasti töötun-de ei loeta (kuigi nõutakse!), vaid põnev probleem või poolleiolev katse lihtsalt kõidab.

On selline lähenemine kõigile arusaadav? Eemalseisjal võib tekkida hulk küsimusi ning ühiskonna arvamused ning väärtushinnangud ükskõik millise valdkonna tegemistesse on olulised. Pole saladus, et täna Eesti uudistes prevaleerivad hedonistlikud meeleolud, õnnetused (mida liiga sageli juhtub) ja edetabelid, küll koolidele, küll ärimeestele, küll edukusele. Paraku leitakse vajadust ka teadlasi bibliomeetria andmete järgi reastada, see on aga omaette jutt. Ja nii ongi ka Eesti teadusmaastikul kõlmas edetabelid, reeglistikud, projektsus, konkurents ning hoopis ära on unustatud küsimus, mida on ühel väikesel riigil ja keelel vaja, et säilitada kestvust.





Eesti NSV Teaduste Akadeemia asepresident akadeemik Nikolai Alumäe (keskel), Eesti NSV TA Küberneetika Instituudi aspirant Aivo Saare ja spetsiaalse Konstrueerimisbüroo peakonstruktor Kalju Vainola Eesti NSV Teaduste Akadeemia 25. aastapäeva tähistaval näitusel Küberneetika Instituudis konstrueeritud originaalse magnetopolariskoobi juures aprillis 1971.

## Mehed, kel „muusika veres”

On huvitav hüpoteetiline küsimus, kuidas oleksid suhtunud meie tänas-  
tesse probleemidesse omaaegsed tea-  
dusjuhid. Usun, et Kübl esimene direk-  
tor küsiks temale omase otsekoheuse-  
ga, kuidas on võimalik, et targad in-  
mesed on lasknud asjad nii kaugele  
minna? On muidugi raske teisendada  
mineviku mõtteid tänapäeva ja vastu-  
pidi. Püüdsin aga omal ajal leida paral-  
leele kahe teadusasutuse – Kübl ja  
Cambridge’is asuva DAMTP’i (Raken-  
dusmatemaatika ja teoreetilise füüsi-  
ka instituut) vahel. Mõlema löid tule-  
vikku vaatavad tippteadlased enam-vä-  
hem samaaegselt, vastavalt 1960. ja  
1959. aastatel. Tingimused olid ja on  
muidugi väga paljus erinevad, kuid  
eesmärgid olid üpris sarnased. Kübl  
eesmärk oli ühendada arvutiteadus  
paljude rakendustega teistes valdkon-

dades, sh mehaanikas; DAMTP seadis  
eesmärgiks arendada rakendusmate-  
maatikat seoses füüsikaliste rakendus-  
tega (vedelike dünaamika, astrofüüsi-  
ka, kosmoloogia jt). Huvitav paralleel  
oli ka see, et Kübl esimesel direktoril  
ja ühel DAMTP juhtidest oli „muusika  
veres”. On kindel, et mõlema teadus-  
asutuse uuringud on interdistsipli-  
naarsed ja seavad sihiks mõista maail-  
ma kui kompleksüsteemi selle värvi-  
kates iseärasustes. Kindlasti oli Kübl  
areng seotud just esimese direktori  
mõtete ja järjekindlusega. Mul isikli-  
kult on äärmiselt hea meel tõdeda, et  
minu enda tegemised on Kübl kõrval  
ka DAMTP’iga seotud olnud.

On aeg kirja panna ka nimed. Kübl  
asutaja oli akadeemik Nikolai Alumäe,  
kelle 100. sünniaastapäev oli 12. sep-  
tembril 2015. Kübl tähistas seda tea-  
duskonverentsiga. DAMTP’i esimene

direktor oli George Batchelor, kelle eri-  
ala oli vedelike dünaamika. Üks järg-  
misi DAMTPi direktoreid oli David  
Crighton, kes oma muusikahuvi poo-  
lest oli Nikolaile paras paariline, olles  
ise tegev mittelineaarse dünaamikaga.

Lõpetuseks. Nikolai Alumäe käivita-  
tud teadusmõtte järjepidevust on  
Kübls hoolega hoitud ning tema otsest  
ja kaudset mõju on tänaseni tunda nii  
Eestis kui kaugemalgi. Eks see olegi  
teerajajate panus. Tähtpäeval on  
sobiv seda meelde tuletada. •

Loe veel: J. Engelbrecht. Teerajaja ja innustaja.  
Horisont 5/2013, 12–13. • J. Engelbrecht, M. Kutsar.  
Legacy of Nikolai Alumäe: theory of shells. Proc. Est-  
onian Acad. Sci., 2015, 64, 2, 139–145.

Jüri Engelbrecht  
TTÜ Küberneetika Instituudi juhtivateadur



OLEG KOŠIK

## MATEMAATIKUD ELEVANTIDEL KÜLAS

**Eesti matemaatikaolümpiaadi peeti möödunud õppeaastal juba 62. korda. Juulis toimus Tais aga 56. rahvusvaheline matemaatikaolümpiaad, kus tegi kaasa ka meie riigi kuueliikmeline esindus. Pronksmedaliga naasis Joonas Kalda.**

Eesti matemaatikaolümpiaadi hooaeg algas traditsiooniliselt lahtiste võistlustega mullu oktoobri alguses ja detsembris, mis toimusid seitsmes eri linnas üle Eesti. Sel aastal järgnes neile 7. veebruaril olümpiaadi piirkonnavooring 4.–5. aprillini lõppvoor Tartus.

Matemaatikaolümpiaad toimub Tartu Ülikooli Teaduskooli koordineerimisel ning haridus- ja teadusministeeriumi finantseerimisel. On aga väga hea meel, et auhindadega toetavad olümpiaadi paremaid ka mitmed sponsorid. Juba teist aastat järjest

premeerib lõppvoor 10., 11. ja 12. klassi võitjat uhke 1000-eurose stipendiumiga Lions Club Tallinn Eesti l. Swedbanki juhatuse esimees Robert Kitt paneb välja stipendiumi „Benoît Mandelbrot'i jälgedes” auhinnafondiga 750 eurot. Kahe lahtise võistluse kokkuvõttes paneb kummagi vanuserühma võitjale auhinnad välja aktsiaselts Ilves-Extra.

Olümpiaadi lõppvoorus võitis 12. klassi arvestuses ülekaalukalt Triinu Veeorg (Tallinna Reaalkool). 11. klassi arvestuses tuli esimeseks Kristjan Kongas (Tallinna Reaalkool), kellest jäi napilt maha tema klassivend Andres Unt. 10. klassi arvestuses võitis aga maksimumtulemusena Miina Härma Gümnaasiumi 8. klassi õpilane Richard Luhtaru, kellest vaid punktiga jäid maha õiged kümnendikud Kaarel Hänni (Tallinna Reaalkool) ja Taavet

Kalda (Gustav Adolphi Gümnaasium).

9. klassi arvestuses tuli esimeseks Ingrid Räästas (Rakvere Reaalgümnaasium) paaripunktise eduga Miina Härma Gümnaasiumi vaid 6. klassi õpilase Hendrik Vija ees, kes läks sel õppeaastal juba 8. klassi.

### Valikvõistluste tihe sõel

Olümpiaadi ja lahtiste võistluste kokkuvõttes kutsuti umbes 20 õpilast valikvõistlusele, mille tulemusel selgus Eesti võistkond 56. rahvusvahelisel matemaatikaolümpiaadil. See toimus 8.–16. juulini Tai põhjaosa suurimas linnas Chiang Mais. Sel aastal toimus valikvõistlus katseliselt kahe kahepäevase vooruna ühe tavapärase kahepäevase võistluse asemel. Eesmärk oli ühelt poolt pakkuda tulevastele võistkonnaliikmetele rohkem võistluskogemusi raskemate ülesannete lahendamisel,



SIMMO SAAN

Eesti võistkond: (vasakult) kohalik giid, Simmo Saan, Urve Kangro, Oliver Nisumaa, Joonas Kalda, Richard Luhtaru, Triinu Veeorg, Andres Unt ja Oleg Košik.



teisalt aga vähendada juhuslikkuse osakaalu tulemustes, mis on lühema võistluse korral paratamatu.

Valikvõistluse tiheda sõela läbisid edukalt ja pääsesid Eestit esindama Joonas Kalda (lõpetas Tallinna Reaalkooli), Triinu Veeorg, Oliver Nisumaa (lõpetas Tallinna Reaalkooli 11. klassi), Richard Luhtaru, Simmo Saan (lõpetas Hugo Treffneri Gümnaasiumi) ja Andres Unt. Õige napilt jäi võistkonnast välja Joonas Jürgen Kisel (lõpetas Vanalinna Hariduskollegiumi 10. klassi). Kõige kogenum oli võistkonnas Joonas, kelle jaoks oli tegemist juba kolmanda rahvusvahelise matemaatikaolümpiaadiga. Triinu, Oliver ja Simmo osalesid kõrgel jõuproovil teist korda. Võistkonna juhendajad olid Tartu Ülikooli matemaatika instituudi teadur Urve Kangro ning käesoleva artikli autor, kes kaitses hiljuti Tartu Ülikoolis doktoritöö matemaatikas.

### Pronks ja kolm aukirja

Rahvusvahelisele olümpiaadile eelnes kümme päeva treeninglaagrit Tallinnas, Tartus ja Nelijärve puhkekeskuses. Olümpiaadil aga tuli õpilastel ülesandeid lahendada kahel päeval, kummalgi päeval nelja ja poole tunniga kolm keerulist ülesannet.

Ülesannete komplekt osutus sel aastal keskmisest raskemaks. Kui päeva esimesed ehk kõige lihtsamad ülesanded olid tavapärase keerukusega, siis ülejäänud ülesannete täislahendused olid jõukohased vaid tõelistele tippudele. Osaliselt põhjustas sellise olukorra korralduslik apsakas, mille tulemusena lekkisid teise päeva ülesanded õpilaste asejuhendajatele liiga vara, juba esimese päeva järel. Nii tuli žüriil kiirkorras valida teiseks päevaks uus komplekt ülesandeid, mis sai esialgsest mõneti raskem.

Eesti õpilastest sai ülesannetega kõige paremini hakkama Joonas, kes lahendas täielikult ära kummalgi päeva lihtsamad ülesanded ja teenis 15 punktiga 42 võimalikust pronksmedali. Joonasest sai teine Eesti õpilane Jaan Tootsi järel, kel õnnestus võita medal nii matemaatikas kui ka füüsikas. Rahvusvahelisel matemaatikaolümpiaadil antakse medaleid kuni pooltele osalejatele ning kuld-, hõbe- ja pronksmedalid jagunevad medalistide vahel vahekorras 1:2:3. Õnnelt läks Triinul, kelle 13 punkti jättis ta esimesena medalist ilma. Ühe punkti kaotas Triinu ümberkirjutusvea tõttu, kus rehendumise lõpus asendus üks miinusmärk plussiga.



Richard Luhtaru koos Tai kohalike elevantidega.

### Võidukas USA

Triinu, Oliver ja Richard teenisid aukirjad ühe täispunktile lahendatud ülesande eest. Alles 8. klassi lõpetanud ning esimest korda rahvusvahelisel matemaatikaolümpiaadil osalenud Richardi jaoks on tegemist väga tubli saavutusega ning loodame temalt järgmistel aastatel auhinnakollektsiooni olulist täiendust.

Ainsana lahendas sel aastal kõik ülesanded maksimumpunktidele Kanada õpilane Alex Song, kellele oli tegemist juba viienda kuldmedaliga, mis jääb talle ka viimaseks. Mitteametlikus riikide järjestuses võidutses tänavu üle kahekümneaastase vahe järel USA, jättes teiseks traditsioonilise valitseja Hiina. Kolmandaks tuli Korea. Ootamatult tagasihoidlikult esines tavaliselt tugev Venemaa, jäädes sel aastal ühegi kuldmedalita.

Rahvusvaheline matemaatikaolümpiaad on olümpiaadidest vanim ja suurim. Sel aastal osales 577 õpilast 104 riigist ning järgmisel aastal oodatakse uusi osalejaid ka sellistest maadest, nagu Iraak ja Afganistan. On aga märkimisväärne, et ka medalistide geograafiline päritolu on matemaatika alal väga lai, olles tunduvalt laiem kui mitmes teises aines.

Näiteks oli tänavu kuldmedaliste Peruust ja Mehhikost ning hõbe- ja pronksmedaliste Angoolast, Bangladeshist ja Saudi Araabiast. See näitab, et matemaatikaolümpiaadi ja selleks ettevalmistumise peetakse väga oluliseks üle maailma. Selle võrra keerukam on ühe väikese riigi esindajatel maailmas läbi lüüa. Kuid seda väärtuslikumad on need medalid, mida meie õpilastel siiski õnnestub koju tuua.

### Mitte ainult matemaatika

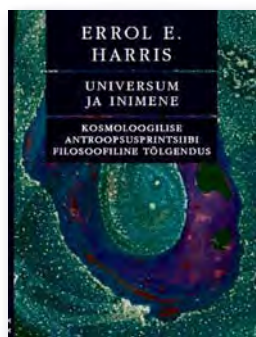
Kui jätta kõrvale ülalmainitud apsakas ülesannetega, õnnestus olümpiaadi üldine korraldus. Sellele aitas kaasa ka ilm: kuigi juuli on Tais tavaliselt vihma periood, tuli meie kogu Tais viibimise jooksul vihma ainult ühel-kahel päeval. Tai on tuntud elevantide ja ilusate budistlike templite poolest, korraldajad olid organiseerinud ekskursioonid elevantifarmi ja piirkonna kõige tähtsamasse templisse Wat Phrathat, mis asub Chiang Mai kõrval Doi Suthepi mäe otsas. Vastavalt legendile valis 14. sajandil templile asukoha valge elevant.

Lisaks kuulus õpilaste ekskursiooni-programmi vihmavarjувabriku ja orhideeaiandi külastus, omal käel käidi mitmel korral põneval ööturul ja suures kohalikus loomaaias.

Tagasiteel võimaldas reisigraafik meil pooleteise päeva jooksul tutvuda ka Tai pealinna Bangkokiga. Kuigi Chiang Mai tähendab tai keeles 'uus linn', on tänapäevaseid ehitisi selles suhteliselt vähe ning linna arhitektuur on mõne erandiga võrdlemisi igav. See-eest on Bangkoki linnapilt väga huvitav ja mitmekesine: moodsate pilvelõhkujate vahelt kihutav taevarong, mööda jõge ja kanaleid sõitvad paadid, suursugused templid ja valitsushooned, ilus park südalinnas, kus vastu roomab varaan. Kõige selle naabruses on ka palju lihtsaid vanemaid maju.

Järgmisel aastal viib rahvusvaheline matemaatikaolümpiaad osalejad Hong Kongi, aastal 2017 võõrustab olümpiaadi aga Brasiilia. •

Oleg Košik  
Eesti võistkonna juhendaja



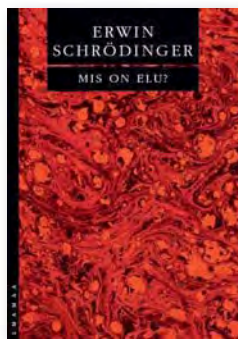
**Errol E. Harris**  
**Universum ja inimene.**  
Kosmoloogilise antroopsus-  
printsibi filosoofiline tõlgendus  
Tõlkinud Laurits Leedjärv  
Sari „Avatud Eesti raamat”  
Ilmamaa, 2015  
328 lk

Kuigi inimene ja planeet Maa näivad universumi tohutute mõõtetega võrreldes vaid tühiised tolmukübemekesed, võib inime-teadvusel siiski olla oluline roll universumi struktuuris. 1970. aastatel pani kosmoloog Brandon Carter ette hakata inimese ja universumi (ka näivaid) seoseid nimetama kosmoloogiliseks antroopsusprintsibiiks. Oli selgunud, et kui mõnede füüsika fundamentaalsete konstantide ja suuruste – näiteks elektroni laeng, prootoni mass, gravitatsiooni ja elektromagnetjõu tugevuste suhe jms – väärtused erineksid õige pisut praegu vaadeldavatest, siis olnuks universumi evolutsioon ja ehitus praegusest kardinaalselt erinev. Halvimal juhul poleks tähti ja

galaktikaid üldse tekkinud ning universum oleks vaid enam-vähem ühtlane osakeste mass. Niisugune füüsikaliste suuruste näiv täppishäälestus on andnud alust arvukatele arutelu-dele ja spekulatsioonidele, kuni selleni välja, et universum ongi loodud vaid inimese eksistentsi lubavaks.

Lõuna-Aafrikas sündinud filosoof Errol Eustace Harris (1908–2009) käsitleb 20. sajandi teisel poolel formuleeritud kosmoloogilist antroopsusprintsipi eelkõige holistliku filosoofia vaatekohast. Universum peab olema tervik, mis on struktureeritud vormide skaalasse, milles iga järgmine aste sisaldab eelmist, aga ka ületab seda. Füüsikalise maailma suhtelisele lihtsusele järgneb keemiline tase, selle järel bioloogiline nii organismide kui elukooslustena, selle rea loomuliku jätkuna tuleb ka inimteadvus, mis universumit peegeldab. Ja tervik on täiuslikult lõpule viidud siis, kui see sisaldab ka inimeadvusest kõrgemat jõudu kui universaalse korra printsibi kehastust.

Harrise väitel kinnitab 20. sajandi loodusteadus, eriti relatiivsusteooria ja kvantfüüsika veenvalt, et universum peab sisaldama vaatlejast ning nii on täiesti loomulik, et füüsika konstandid ja seadused seda lubavad. •



**Erwin Schrödinger**  
**Mis on elu?**  
Tõlkinud Ruth Lias  
Sari „Avatud Eesti Raamat”.  
Ilmamaa, 2015  
Agu Laisa järelsõna „Elu jõud”  
272 lk

Austria füüsikateoreetiku, Nobeli füüsikaauhinna (1933) Erwin Schrödingeri (1887–1961) raamat „Mis on elu” on koostatud tema 1943. aastal Dublinis Trinity kolledžis ning 1956. aastal Cambridge'i Trinity kolledžis peetud loengute alusel.

Seda värvika, originaalse ja sügavamõttelise füüsiku kirjutatud teost on loetud möödunud sajandi mõjukamate loodusteaduslike kirjutiste hulka. See kujutab endast mõnede elu saladuste mõistmise katset, püüet segada ja kokk sobitada omavahel füüsikat ja bioloogiat. Schrödingeri loengud ja ka see teos on suuresti mõjutanud meie praegust vaatenurka elule.

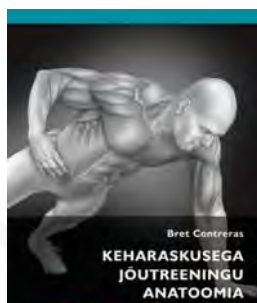
Füüsikalised arusaamad seletavad maailma elementaarosakestest kosmiliste mõõteteni. Kuidas neid

kohandada aga sellisele tähelepanuväärsele erinähtusele, nagu seda on Elu? Rääkides pärilikkuse mehhanismidest ja mutatsioonidest püüab autor leida neile kvantmehhaanilist tõendusmaterjali, taustaks korra, korratuse ja entroopia füüsikaline analüüs ning lõpetab raamatu peatükkidega „Kas elu põhineb füüsika seadustel?” ning „Determinism ja vaba tahe” – küsimustega, mille üle on vaieldud ning vaidlevad teadlased ja filosoofid siiani.

Erinevaid teadusharusid ühendav teos on kirjutatud võluvalt ja lihtsal tasemel, mis teeb selle auditavaks ja arusaadavaks noorele, kes ehk alles alustab oma teadlaseteed, kuid on samas oma julgete ideedega inspireerinud ja mõjutanud ka mitmeid teadlasi. Schrödingeri ideed pärilikkuse, geneetilise informatsiooni ladustamise kohta leidsid hiljem tänu-likku äramärkimist DNA struktuuri avastajate poolt.

Raamat sisaldab lisaks veel pikka esseed „Vaim ja aine”, kus on juttu teadvuse füüsikalistest alustest, tajumisest, meeltest ja meie maailmapildi kujunemisest ning Schrödingeri autobiograafilist ülevaadet.

Väga huvitav ja väärt lugemine on ka raamatu lõpus olev akadeemik Agu Laisa mahukas essee-järelsõna „Elu jõud”. •







**Philip Parker**  
**PÕHJALASTE RAEV**  
Viikingite maailma lugu  
Tänapäev, 2015

## LUGEMISELAMUS

Loetud on elus ju palju, eesti, vene, inglise, saksa ja rootsi keeles. Mäletan, kuidas avarus mu maailm, kui klassivenna õhusõidul läksin tollase Gorki-nimelise raamatukogu vene osakonda – see oli rabav, kui palju häid raamatuid seal oli! Samal ajal panen ma siiani imeks, kuidas reaalist läbi sain, sest ma pole ühtegi Tolstoi ega Dostojevski raamatut läbi lugenud, nad lihtsalt ei meeldi mulle. Loodan siiski, et äkki hak-

kavad meeldima. Tšehhov oma juttudega on hoopis teine asi.

Kergem kirjandus sobib mulle rohkem, näiteks ulme ja kriminullid. Olev Avaste käest laenatud „Sõrmuste isanda“ lugesin mitu korda läbi, iga kord midagi uut avastades.

Hiljutise suurima elamuse olen saanud Philip Parkeri raamatust „Põhjalaste raev“, mis räägib viikingitest (võib-olla perekonnanime mõjul ;-)).

Miks need pikatoimelised skandinaavlastes järsku 793. aastal Põhja-Inglismaal Lindisfarne'i kloostrirüüstasid ja pärast seda kogu Lääne- ja Lõuna-Euroopa värisema panid. Isegi Bütsantsi, mis oli ometi võimas riik. Kuidas nad sulandusid teistesse rahvastesse, keda nad alistanud olid, uusi riike löid ja kuidas nad paari sajandi pärast sama järsku kadusid. Seda kõike kirjeldab autor täpselt ja selgelt.

Kõik selles raamatus kirjeldatu paneb mõtlema, mis neist kangetest skandinaavlastest tänapäeval on saanud. Peeter I endaga rinda pistnud poisid on vist kõige viisakamad ja rahuarmastavamad kogu Euroopas, kui mitte maailmas. Isegi liiga, kui minu arvamust küsida. Ju see siis on paratamatus, et kord röövid ja laastad ning siis oled klantsajakirja kaanepoiss. •

## E-MAAILM

### Milliseid elektroonilisi nutivideinaid kasutate?

Olin veel ülikoolis, kui sinna jõudis Uraal-1, mis tegi 100 tehet sekundis!

Oma diplomitöö tegin siiski lükatil ja logaritmitabeli abil. Aga tööleasumisel pärast ajateenimist võidukates NSVL-i sõjaõhujõududes puutusin kokku ka tõsisemate arvutitega. Rehkendamine käis nii, et algul kirjutasi probleemi lahendamiseks koodi (esiti Malgo-

lis, siis juba Fortranis) ning kandsime selle perfolindile. Selle viis buss Tallinna küberneetika instituuti, kust järgneval nädalal tuli saadetis tagasi märkusega, et perfolindil on viga, kas mõni auk üle või puudu. See tuli parandada ja lint uuesti Tallinna saata. Hiljem läks lihtsamaks, kui Tõraverre arvuti saime.

See oli vist 1993, kui ma PC enda töölauale sain. Sellest ajast peale on see hädavajalik tööriist.

Meilinduse saime korralikult käima 1992. aastal, kui Enn Saar Tartu lennukiväljalt valuuta eest meile muretses sõjaväe ULL-saatja ja vastuvõtja. Mõni aasta hiljem asendasime need palju võimsamate Sorosi grandit toel. Praegu käib asi valguskaabli kaudu.

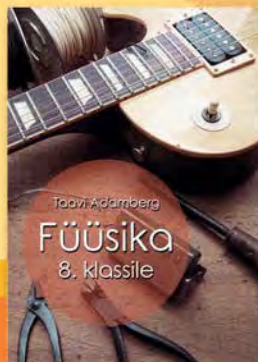
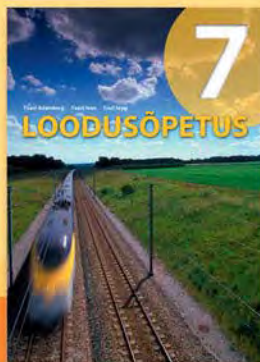
### Kui oluline vahend on Teile internet?

Väga oluline vahend nii suhtluses kui ka guugel-

damisel. Facebooki klient ma pole, olen edev küll, aga jään vast kodulehe tasemele.

### Milliseid veebikülgi kõige sagedamini külastate?

Google on väga sagedane stardiplatvorm, samuti külastan Postimeest ja Eesti Päevalehte. Viimasel ajal ka Researchgate'i ja Geni, olen väga huvitavaid hõimlasi avastanud, Friedrich Georg Wilhelm Struve nende hulgas! •



**Uus õppekirjandus**  
**Avita kirjastuselt**

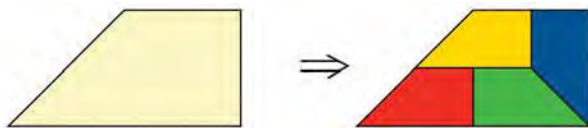
Vaata lisaks [www.avita.ee](http://www.avita.ee)



Raamat postiga koju Avita e-poest!

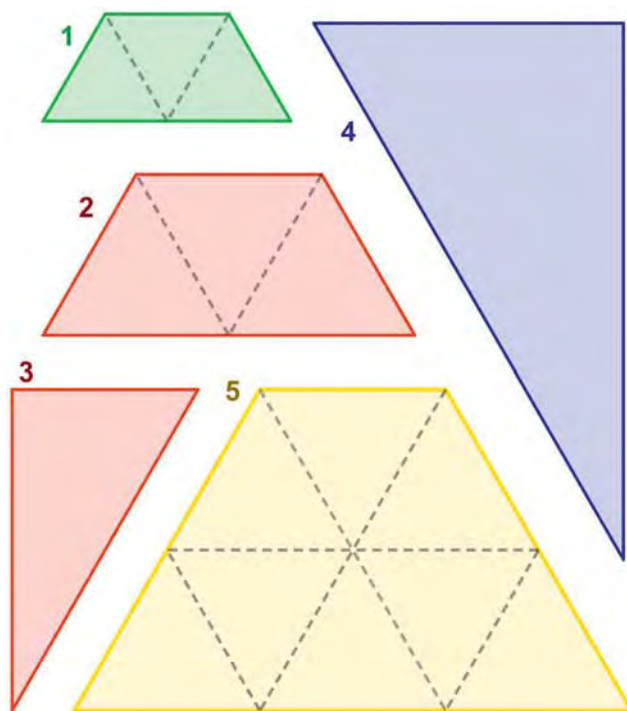
# Sarnasteks kujunditeks jaotamisi

Mitmesuguseid hulknurki saab jaotada esialgse hulknurgaga sarnasteks hulknurkadeks. Alljärgnevas näiteülesandes on ruudust ja 45° teravnurgaga kolmnurgast moodustatud täisnurkne trapets jaotatud neljaks temaga sarnaseks tükiks. Seekordsete ülesannete puhul loeme sarnasteks ka neid hulknurki, mis on esialgse kujundiga võrreldes ümber pööratud (näites roheline trapets).



## Ülesanded

- Ü1 1.** Kolmest võrdkülgsest kolmnurgast saab moodustada võrdhaarse trapetsi. Selline trapets tuleb jaotada neljaks ühesuuruseks temaga sarnaseks trapetsiks.
- Ü1 2.** Kolmest võrdkülgsest kolmnurgast moodustatud võrdhaarne trapets tuleb jaotada üheksaks ühesuuruseks temaga sarnaseks trapetsiks.
- Ü1 3.** Täisnurkne kolmnurk, mille teravnurgad on 30° ja 60°, tuleb jaotada kolmeks ühesuuruseks esialgse kolmnurgaga sarnaseks kolmnurgaks.
- Ü1 4.** Täisnurkne kolmnurk, mille teravnurgad on 30° ja 60°, tuleb jaotada üheksaks ühesuuruseks esialgse kolmnurgaga sarnaseks kolmnurgaks.
- Ü1 5.** Kaheksast võrdkülgsest kolmnurgast saab moodustada võrdhaarse trapetsi. Selline trapets tuleb jaotada üheksaks ühesuuruseks temaga sarnaseks trapetsiks.



## Viienda vooru ülesannete vastused

- 1)  $99 \cdot 91 = 9009$ .
- 2)  $100 : 32 = 3,125$ .
- 3)  $106 : 16 = 6,625$ .
- 4)  $783 \cdot 319 = 249777$ .

## Vastuste ärasaatmise tähtaeg on 10. detsember 2015.

Lahendused saata aadressil  
MTÜ Loodusajakiri (ajakiri Horisont),  
Endla 3, Tallinn 10122  
või tonu@mathema.ee.

**2015. aasta parimale nuputajale**  
auhinna 100 euro eest raamatuid  
Tallinna Ülikooli kirjastuselt.



**Vooru võitja**  
saab kingituseks raamatu  
sarjast „Looduse raamatukogu”.  
Valikuvõimalustega tutvu  
[www.loodusajakiri.ee](http://www.loodusajakiri.ee).

## Vooru „Auklik aritmeetika” tulemused

Viiendas voorus tuli lahendada neli ülesannet. Kõik ülesanded lahendasid õigesti ja 4 punkti teenisid Vladimir Jaanimägi, Hanno Kriisa, Toomas Lausmaa, Priit Meos, Allar Padari, Tiit Pruul, Meelis Reimets, Margot Sepp, Rein Tikovt, Kuldar Traks, Martiina Viil ja Kevin Väljas. Viienda vooru auhinna võitis **Kevin Väljas**.

Võitja saab tutvuda sarjas „Looduse raamatukogu” ilmunud raamatutega veebiküljel [www.loodusajakiri.ee](http://www.loodusajakiri.ee) ja anda oma eelistusest teada toimetuse telefonil 610 4105.

## Vaata veebilehelt

Tabeli seisu pärast viiendat vooru leiate veebilehelt [www.horisont.ee](http://www.horisont.ee) ja [www.loodusajakiri.ee/valjaanded/horisont/](http://www.loodusajakiri.ee/valjaanded/horisont/)

**Tõnu Tõnso**  
matemaatik, Tallinna Ülikooli lektor



|                                       | Laugete nõlvadega lai künnis | Noot        | Lind | Jõgi Hiinas                | Hõbemünt                         | Kuma                          | Poiste tänav                      | Alkoh. jook                    | Prantsuse helilooja           | Itaalia filosoof           | Hekto-liiter               |
|---------------------------------------|------------------------------|-------------|------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Kes on pildil?                        |                              |             |      |                            |                                  |                               |                                   |                                |                               |                            |                            |
| Vilajeti kõrgem haldusametnik         |                              |             |      |                            |                                  | Kõrgem seisus Tuhanõu         |                                   |                                |                               |                            |                            |
| Kuma                                  |                              | Kuma        |      |                            |                                  |                               |                                   |                                |                               |                            | Asesõna                    |
| Tara                                  |                              |             |      | Element nr. 103 Rooma 6    |                                  | Elukutse Ah'i söber           |                                   |                                |                               |                            |                            |
| Endine N.-Liidu poliitik ja diplomaat |                              |             |      |                            |                                  |                               |                                   | Element nr. 34 Värv inglise k. |                               |                            |                            |
| Kahetivalline putukas                 |                              |             |      |                            |                                  | Eritis Angerjas inglise k.    |                                   |                                |                               |                            | Number                     |
| Teatud lukk                           |                              |             |      |                            |                                  |                               |                                   |                                |                               |                            |                            |
| Suusk inglise k.                      |                              |             |      | Element nr. 32 Puhhi söber |                                  | Laengu-ga aafom Linn Ukrainas |                                   |                                |                               |                            |                            |
| Kõõluse-põletik, kidi                 |                              |             |      |                            | Võrk-pallur Haigus               |                               |                                   |                                | Seikleja Arvama               |                            |                            |
| Elizabeth George                      |                              |             |      | Lumiõnn Elujärg            |                                  |                               | M. Nuude hittlugu Ikka inglise k. |                                |                               | Jõgi Ve-nemaal Naise-nimi  |                            |
| Maitse-aine                           |                              |             |      |                            |                                  | Mart Sander Kuu               |                                   | Tiit Sokk                      |                               |                            | Element nr. 1              |
| Kuma                                  |                              | Hüüe metsas |      |                            |                                  |                               |                                   |                                | Element nr. 62 Spetsia-liteet |                            | Vana-moor Luu-põletik      |
| Mitte kunagi                          |                              |             |      | Element nr. 91             |                                  | Tool, tumba Glassee-nahk      |                                   |                                |                               | USA leidur Maailma karikas |                            |
| Ratsutaja, eesn.                      |                              |             |      |                            |                                  |                               | Nii nunn! Jõgi Itaalias           |                                |                               |                            | Õlu rootsi k. Raba Soomaal |
| KANGE                                 |                              |             |      |                            | Ookeani-tasemest madalam maa-ala |                               |                                   |                                |                               | Tegevus Kontroll-punkt     | Asi                        |
| Ristsõnad kogenud lahendajatele!      |                              |             |      |                            | Kuma                             |                               | Masti rõhtpuu Eesti Naine         |                                |                               | Leiburi saiamark ETV saade |                            |
|                                       |                              |             |      |                            | SAAN                             |                               |                                   | Rootsi krimi-kirjanik          |                               |                            |                            |
|                                       |                              |             |      |                            | Riietus-ese                      |                               |                                   |                                |                               | Pesu-pulbri-mark           |                            |

Baltisakslased pole aru saanud, et kuigi Eesti talupojad olid pidevalt toiduga hädas, siis .....

Lahendajate vahel läheb loosi „Kuma ristsõnaraamat 9“.

Eelmise ristsõna vastus „Teades, mis rahvastikuga toimub, tead ka seda, mis HAKKAB TOIMUMA MAJANDUSES“, viitab artiklile „Luule Sakkeusega rahvastiku-uurijate kantsis“, mis ilmus 2015. aasta neljandas Horisondis.

 Ristsõnakogumiku „Sügisrõõm“ võitis loosi tahtel **Marek Laane**.

 Kõigil lahenduse saatjatel palume ära märkida ka selles numbris **KÕIGE ENAM MEELDINUD KIRJUTISE!**


**Loogilised piltmõistatused!**

# Arva ära! Leiutised

## LUGEJATE LEMMIK

eelmises numbris:  
lemmikuteks valiti võrdse  
häältearvuga „Tõlketöö aju ja maailma vahel”  
ja „Antropotseen – inimeste ajastu”.

Pole lugenud? Osta (e-)ajakiri e-poest  
[www.loodusajakiri.ee](http://www.loodusajakiri.ee)!

**1** Kuidas nimetatakse iidset seadet, mis kujutab endast loomadega aetavat veenõude ahelat kahe hambuva puitrattaga, millest üks oli vertikaalne, teine horisontaalne? Seade leiutati arvatavasti Pärsia impeeriumis 500. aastaks eKr ning selle abil sai vett tõsta ka väga sügavatest kaevudest. Lisatud joonis pärineb aastast 1205!



**2** Selle mitmekülgse mehe tegevusaladeks on olnud kellassepp, leiutaja, näitekirjanik, muusik, diplomaat, spioon, kirjastaja, aednik, relvakaubitseja, satiirik, finantsist ja revolutsionäär. 21-aastaselt tegi ta revolutsiooni kellatööstuses, leiutas uue kellamehhanismi, mis lubas hakata ehitama palju täpsemaid ja väiksemaid kelli. Kellest on jutt?



**3** Küsitav mees oli tuntud eelkõige sportlasena, kuid talle kuulus ka täiusstatud mutrivõtme patent. Kes?



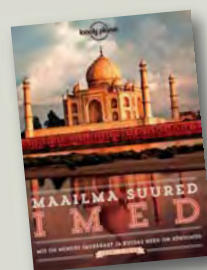
**4** Sellel 1954. aasta fotol on näha kollektiivi, kes töötas 1958. aastaks välja teisel fotol oleva seadme. Mis seadmega on tegu?



## MÄLUSÄRU 5/2015 VASTUSED

1. Adolf Bastian.
2. Jules Sébastien César Dumont d'Urville (nimetas oma naise järgi Adélie maa Antarktikas ning Adélie pingviinid).
3. Boris Vilkitski
4. Alexandrine Petronella Francina Tinne
5. Matthew Flinders

● Jheni Osmani raamatu „Maailma suured imed” kirjastuselt KOOLIBRI saavad loosi tahtel Helen Asveit, Lemmi Pehlak, Maire Tühis.



✍ Jevgeni Nurmla, Indrek Salis  
mälumängurid

**5** See kaunis daam oli muuhulgas ka leiutaja, kes on kantud USA rahvuslikku leiutajate kuulsuse halli (National Inventors Hall of Fame). Tema patent „salajase sidesüsteemi” kohta on praeguseks kasutusel Wi-Fi, CDMA ja Bluetoothi süsteemides. Kes oli see daam?



FOTOD: WIKIPEDIA



## VASTA JA VÕIDA RAAMAT!

Vastanute vahel loosime välja kolm raamatut „Maailma ajalugu” kirjastuselt KOOLIBRI.

➔ Koos vastustega andke toimetusele teada ka selle numbrilemmiklugu.

## VASTUSEID

ootame 15. detsembriks aadressil Endla 3, Tallinn 10122 või [horisont@horisont.ee](mailto:horisont@horisont.ee).

NB! Vastuste juurde kirjutage auhinna-loosis osalemiseks kindlasti enda mobiiltelefoni number ja postiaadress.

MÄLUSÄRU rubriiki toetab kirjastus Koolibri.





TTÜ  
ESITLEB:

where brains and metal meet...

# ROBOTEX15

4-6 DETSEMBER  
TTÜ SPORDIHOONES

## TULE VAATAMA!

KAASAHAARAVAD ROBOTIVÕISTLUSED  
SUUR TEHNOLOOGIANÄITUS

ÜRITUS ON  
TASUTA!  
[WWW.ROBOTEX.EE](http://WWW.ROBOTEX.EE)

### KAASKORRALDAJAD

**#HITSA**  
Hariduse Infotehnoloogia  
Sihtasutus



TARTU ÜLIKOO

### KULDSPONSORID



TECHNOBALT  
GROUP

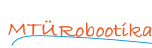
### SUURSponsorid



### SPONSORID



### PARTNERID





5 AASTAT TÜV  
KVALITEEDIUURINGU  
VÕITJA



TOYOTA

ALWAYS A  
BETTER WAY

SEE, MIDA  
*Usaldad*



# UUS TOYOTA RAV4 2016

LUXURY PLUS  
VARUSTUSTASE -50%

Toyota Touch 2 & Go  
navi erihinnaga

**390 € / 4 € KUUS\***

**Võtmeta**  
sisenemis- ja  
käivitussüsteem

**Bi-LED**  
esituled

**18-  
tollised**  
valuveljed

**Elektriline**  
tagaluuk

Kombineeritud kütusekulu 4,7-7,0 l / 100 km, kombineeritud CO<sub>2</sub> emissioon 115-161 g/km. Toyota Liisingu aastase fikseerimata intressiga, milleks on 1,99% + 3 kuu EURIBOR, on 28 110-eurose netohinnaga RAV4 krediitkulukuse määr 1,93% aastas. Sissemakse 15%. Krediidi kogusumma 60 kuu jooksul on 29 671,50 eurot. Krediidi kogusumma arvutamisel ei ole arvestatud võimalikke sõiduki registreerimiskulusid, riigilõive, hindamisakti tasu ega finantseerimise eeltingimuseks oleva kasko- ja liikluskindlustuse makse suurust. Finantsteenuse pakkuja on Nordea Finance Estonia AS. Tutvuge liisingutingimustega toyota.ee ning vajaduse korral konsulteerige asjatundjaga. Pakkumine kehtib Toyota Liisinguga ning kestab kuni 31.12.2015 või seni, kuni kampaaniaautod on saadaval. Foto on illustratiivne. \*Erihind ja kuumakse kehtivad uute autode tellimisel. Laotodele pakumine ei laiene.

TOYOTA.EE