

INIMENE
SOOJENDAB KLIIMAT

BOOR
JA TERVIS

KREEKLASED
INDIAS

NANOOSAKESED
VÄHIRAVIS

horisont

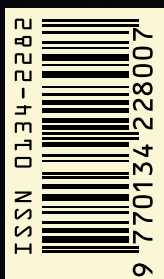


RIIKLIKULT TUNNUSTATUD

TEADUSE
POPULARISEERIJAK

1/2021 ■ JAANUAR-VEEBRUAR ■ HIND 4.90 ■ 55. AASTAKÄIK

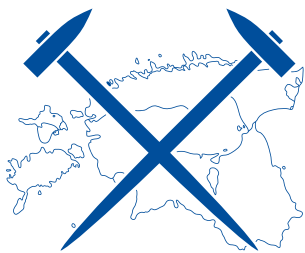
FOSFAAN VEENUSEL ELUMÄRK VÕI EKSITUS



MUUSIK EWERT SUNDJA ENDAST JA TEADUSEST
MITMEKIHILINE MEREDE UURIMINE



TARTU ÜLIKOOL
loodusmuuseum ja
botaanikaäed



GEO
200

1820-2020

Kaks sajandit geoloogiaõpet Eestis

Näitus, mis puurib läbi ajalooliste
geoloogiahariduse kihtide

Avatud T-P kella 10–18
Tartu Ülikooli loodusmuuseumi õppeklasside galeriis
Vanemuise 46
www.natmuseum.ut.ee

NÄITUS ON TASUTA



TARTU ÜLIKOOL
geoloogia osakond



RAHVUSARHIIV



SELLES NUMBRIS

Mihkel Kama
Fosfaan Veenusel. 8
Elumärk või eksitus?

Hiljutises teadustöös on esitatud tõendeid suure koguse võimaliku nn biomarkerimolekuli fosfaani kohta Veenuse atmosfääris. Kas see kinnitab elu olemasolu naaberplaneedil?

Silver Türk
Viies element boor ja tervis 24
Boorist võib kujuneda uus D-vitamiin ehk oluline terviseaparandaja, mille kahjulikke toimeid on tublisti ülehinnatud ning kasulikke omadusi alahinnatud.

Urmus Lips
Mitmehiline mereuurimine 36
Peale loodusteadusliku huvi on tänapäeva mereuuringud ajendatud üha enam süvenevatest keskkonnaprobleemidest, et merd saaks kasutada jätkusuutlikult.

Velle Toll
Inimene soojendab kliimat 42
Eriti kiiresti on soojemaks muutunud Arktika, aga ka Läänemere piirkond soojeneb globaalsest keskmisest tunduvalt kiiremini.

Tiit Vaasma, Egert Vandel
Liivaterad turbas reedavad mineviku tormisuse 46
Rannikusoode turba puursüdamest leitud liivaterade sissekande muutused näitavad, et viimased 4000 aastat on olnud tormisemad kui varasemad.

Jaan Lahe
Kreeklased Indias 50
Indias elas juba enne Aleksander Suure sõjakäiku märkimisväärsel hulgal kreeklasi. Vallutuste järel suurenes nende arv veelgi ning seal tekkis isegi hulk kreeklaste riike.

HORISONT KÜSIB

Intervjuu 16
Nutikad nanoravimid tuleviku vähiteraapias

Tartu ülikooli bio- ja siirdemeditsiini instituudi nanomeditsiiniprofessori-ga rääkis Horisondi toimetaja Helen Rohtmets-Aasa.

Mina ja teadus 29
Muusik ja helilooja Ewert Sundja

SIIT- JA SEALPOOLT HORISONTI

Piret Pappel. Keefiris käib 3
laitmatu meeskonnatöö

Satelliitidega Koit ja Hämarik 4
saadi lõpuks ühendust

Kuidas erineb meeste migreen 5
naiste omast?

Piret Pappel. Kas soojenev 6
kliima muudab loomad tumeda-
maks või heledamaks?

Uus osoonimismeetod puhastab 7
vett antibiootikumijääkidest

Teine maailm 14
Miotseeni rööngussi lubikest

Luu-uurija leid 22
Kaasasündinud süüfilis

Looduse varjatud vastupanu 30
Meri kui inimõjutatud
keskkonna etalon

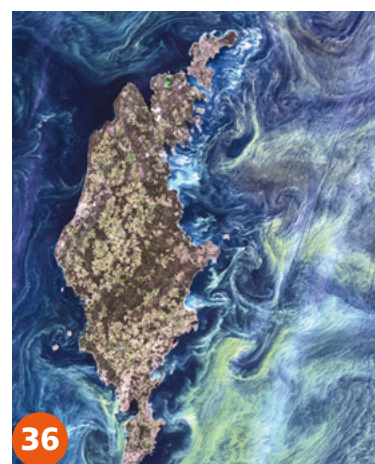
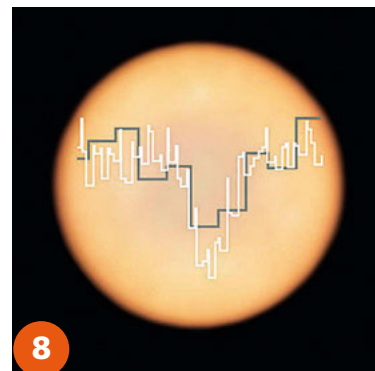
Sündmuste horisondil 32
Bosonid, fermionid ja igaonid

Harakale haigus 34
Rahhiit: „kehva toidu ja halva õhu
tagajärg“

Ain Kallis. Ilm ja kaos 48

Aafrika 56
Quo vadis, Lõuna-Aafrika?

Kosmosekroonika 58



OLÜMPIAAD

Anu Printsmann, Jürgen Öövel,
Ülle Liiber
Virtuaalne geograafiaolümpiaad 58

PRAKTILIST

Raamat 61
Andi Kivinukk
Fraktaalgeomeetria algajatele
ehk veidrad fraktalid

Enigma 62
Vähimate kümnekohaliste arvude
leidmine

Ristsõna 63

Mälusäru 64
Nuputamist pakuvad
mälumängijad Jevgeni Nurmla ja
Indrek Salis. Auhinnaks raamatud!



Ulvar Käär, peatoimetaja
ulvar@horisont.ee

Seekordne Horisont on natuke eriline. Tegumoe ja sisu poolest peaks ajakiri olema harjumuspärane, aga märkimisväärselt muudab käesoleva numbri asjaolu, et see alustab Horisondi 55. aastakäiku. Jaanuaris 1967 ilmus ju esimene Horisont. Ehk siis on põhjust natuke juubeldada! Inimesel peetakse 50. või 55. hällipäeva esimeseks õigeks ja väärikaks juubeliks. On sel sama tähendus ka ajakirja jaoks? Võta sa kinni.

Vaadates toimetuses oma selja taga olevaid Horisondi aastakäiguköiteid, mis võtavad enda alla ligi kolme meetri jagu riipid, ei teki küsimustki, et ajakiri on suisa aukartust äratavalt väärikasse ikka jõudnud. Samale tõdemusele võib jõuda, kui vaadata laiemalt ringi meie ajakirjandusmaastikul. Järjepidevalt üle poole sajandi ilmunud väljaandeid tuleb tikutulega otsida. Selles mõttes on Horisont omaette fenomen. Seejuures on ajakirja tähtsusele viidates paslik meenutada Eesti teaduste akadeemia presidendi Tarmo Soomere sõnu 50. aastakäigu esimese numbri toimetuse veerus: „Horisont on olnud juba pool sajandit nii maailma tippsaavutusi kui ka meie parimaid teadustulemusi kajastades sisuliselt üks meie riigi olulisi atribuute“.

Täpselt nagu viis aastat tagasi, on mul hea meel ka nüüd siin kinnitada, et vanusest hoolimata on Horisont siiski hingelt noor ja ei näita mingeid väsimise märke. Meie väike toimetus on endiselt hakkamist täis, autoritest pole puudus ja – mis eriti rõõmustav – ajakirja tellijaskondki on viimasel ajal märkimisväärselt kasvanud. Pingutame edaspidigi selle nimel, et iga ajakirjanumbri teemavalik oleks võimalikult mitmekesine. Endiselt kostitame lugejaid artiklitega ajaloo ja arheoloogiast, looduse, füüsika, kosmoseuurimise ja meditsiini vallast ning maailma rahvaste eluolust.

Selle ajakirjanumbri ühe läbiva teemana jääb silma kliimamuutuste uurimine. Maa kliima soojeneb ja selle tagajärjed nii loodusele kui ka inimesele on teadlaste üha suurema tähelepanu all. Kui jõulude ajal sadas Eestis üle pika aja maha paks lumi, oli sellest kõigil palju rõõmu. Näiteks mu lapsed möllasid ja karglesid ootamatus esimeses lumes sama pööraselt kui kevadel esimest korda laudast karjamaale lastud vasikad. Ometi peame arvestama, et kui kliima edasi soojeneb, jääb niisugust rõõmu siinmail aina vähemaks ning selle asemel tuleb üha sagedamini leppida mustade talvede ja tavapärase kehva suusailmaga. Tõsi, kõigi teiste kliima muutumisest tingitud ohtude kõrval on see siiski väike mure.

Olge terved ja head lugemist! •

ESIKAANEL: Veenus. Foto: Scanpix



EESTI
TEADUSTE AKADEEMIA

horisont



Ulvar Käär, peatoimetaja
ulvar@horisont.ee

Helen Rohtmets-Aasa, toimetaja
helen@horisont.ee

Monika Salo, keeletimetaja
monika.salo@loodusajakiri.ee

Kersti Tormis, kujundaja
kersti@horisont.ee

Mariliis Kesküla, turundusjuht
mariliis@loodusajakiri.ee

Riho Kinks, vastutav väljaandja
riho.kinks@loodusajakiri.ee

Tellimine: 617 7717,
www.tellimine.ee

Ilmub aastast 1967, 6 numbrit aastas.
Toimetus: Endla 3, 10122 Tallinn
tel 610 4105

e-post: horisont@horisont.ee
Vaata ka Horisondi seina Facebookis!

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

ISSN 2228-3471 (e-luger)
Autoriõigus: MTÜ Loodusajakiri, 2021
Trükinud Printall AS

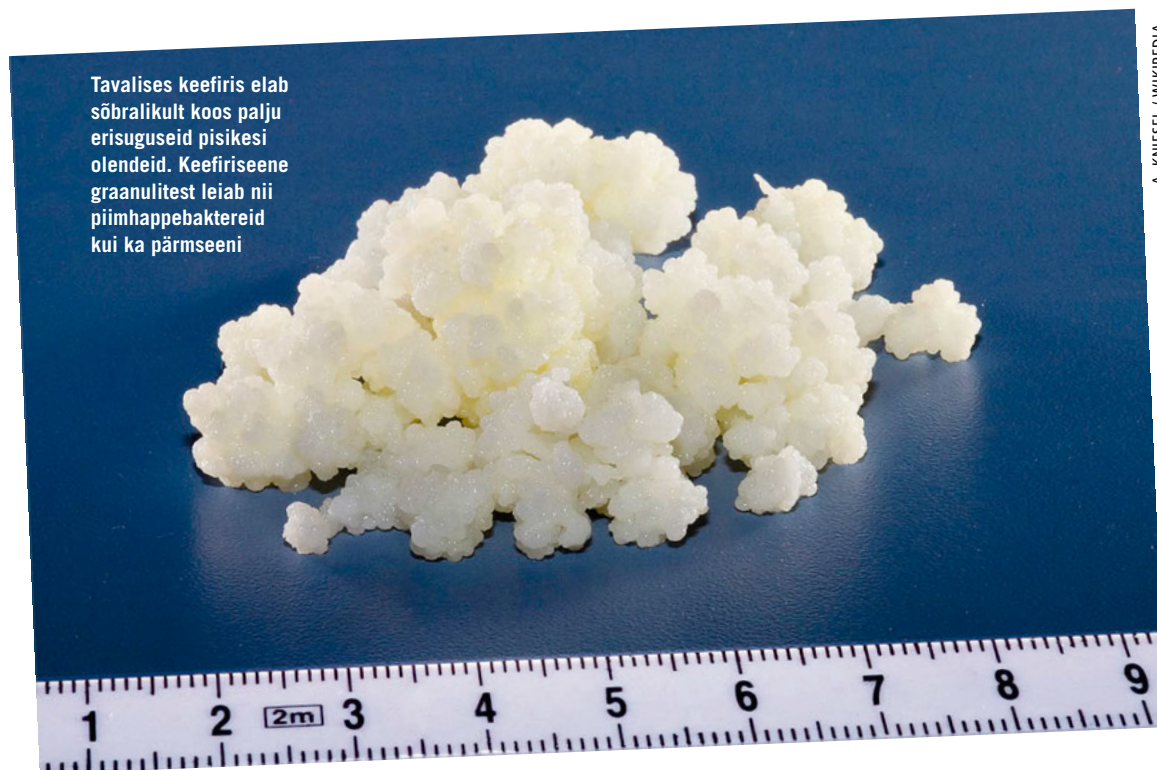


HARIDUS- JA
TEADUSMINISTEERIUM

Ajakiri ilmub
haridus- ja teadusministeeriumi
toetusel

Keefiris käib laitmatu meeskonnatöö

Keefiri päritolukohaks peetakse Kaukasuse mäestikku. Erinevalt näiteks jogurtist tekib selle hapendatud piimajoogi maitse suisa mitmekümne mikroobi ja pärmil elutegevuse tulemusel.



Mikrobioloogidel on võimalik keefiri näitel uurida, millised on liikide omavahelised suhted püsivas mikroobikoosluses. Ajakirjas Nature Microbiology ilmunud artikkel kinnitab, et mitmesugused liigid teevad keefiris omavahel koostööd ja seal enamus olevad piimhappebakterid ei suudaks piimanõus üksinda ellugi jääda.

Euroopa molekulaarbioloogia labori juhitud uuringus analüüsiti eri piirkondadest pärit kefiriseeni. Need on väikesed graanulid, mis koosnevad piimhappebakteritest ja pärmseentest ning moodustavad valgust ja kefiraani-nimelisest süsivesikust koosneva kehendi.

Graanulite kogus suureneb piima käärimisel, kuid nende liigiline koosseis jääb samaks. Sajandite jooksul on kefiriseened timminud omavahelise koostöö kõige otstarbekamaks. Seene keskel paiknevad kefiraani tootvad piimhappebakterid *Lactobacillus kefiranofaciens*.

Sajandite jooksul on kefiriseened timminud omavahelise koostöö kõige otstarbekamaks.

Ülejäänud seenekehend kujunebki nende ümber, pakkudes sobivat elukeskkonda teistele mikroorganismidele, kes loovad piimhappebakterile soodsad elutingimused.

Keefiris elutsevad eri kasvukiirusega liigid. Igaühel neist on oma ülesanne: valmistada ette soodne pinnas järgmisele bakterile või seenele, tootes talle näiteks aminohappeid või laktaati. Nii on kefiriseene graanul nagu baaslaager, mis lubab mikroobidel edukalt terve piimanõu koloniseerida.

Uuringut aitab lahti mõtestada Eesti maaülikooli toiduainete rakendusliku mikrobioloogia professor Helena Andre-son: „Keefiriseenest ei räägi me tõesti kui üksikust mikroobist või ainuorganis-

mist, vaid see on kooslus, kuhu kuulub peale laktobatsillide ning pärmseente veel hulk bakteriperekondi ja ka hallitusseeni. Üldjuhul tänapäeva piimatööstuses keefiriseent selle traditsioonilisel kujul ei kasutata. Selle asemel on tootmises levinud hoopis keefiri starterkultuur, kuhu kuulub valik kefiriseenes leiduvatest mikroobidest.

Keefiriseenega samamoodi toimivat mikroobikooslust võime näha ka teeseenes, kus suhkrustatud tee fermenteerimisel teevad koostööd äädik- ja piimhappebakterid ning pärmseened. Selle koostöö tulemusel valmib n-õ kõrvalsaadusena teeseene kehendit moodustav tselluloos.

Tegelikult toimib niisugune sümbioos ka enamikus teistes fermenteeritud toodetes, näiteks sakes, veinis, äädikas, sojakastmes, hapukapsastes, leivajuuretises ja juustus. Üks organism toodab neis mõnda ainet, mida teine saab kasutada oma ainevahetuses, või on tulemusiks mõni ühend, mis annab toidule soovitud maitse või tekstuur. Näiteks pärmseen toodab etanooli, mida kasutab omakorda äädikhappe tootmiseks ära äädikhappebakter.” •

Piret Pappel

Seene keskel paiknevad kefiraani tootvad piimhappebakterid. Ülejäänud seenekehend kujunebki nende ümber, pakkudes sobivat elukeskkonda teistele mikroorganismidele, kes loovad piimhappebakterile soodsad elutingimused.



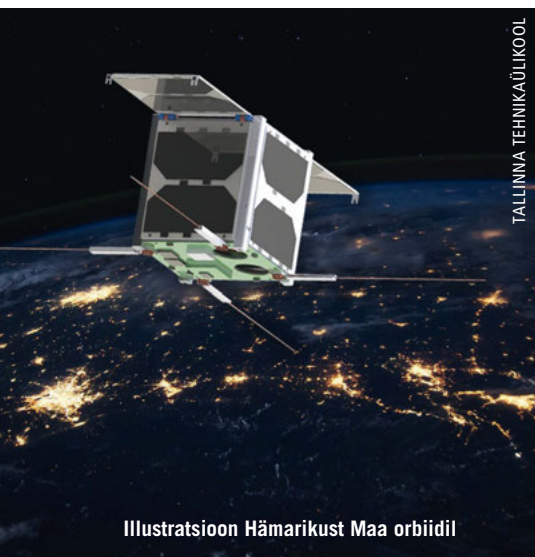
CRYSTALSPACE

NASA hakkab Kuud uurima Eestis valmivate kaameratega. ESTCube-1 tudengisatelliidi projektist välja kasvanud ettevõtte Crystalspace sai tellimuse ehitada NASA juhitud Artemise programmi jaoks stereokaamerad. Artemise programmi eesmärk on viia inimesed pärast 50-aastast vaheaega 2024. aastaks Kuule. Crystalspace valmistab kaamerad koostöös Tartu ülikooli Tartu observatooriumi ja samuti ESTCube-1 projektist võrsunud ettevõttega Krakul.

Need Kuule saadetavad kaamerad on osa kosmosetööstusettevõtte Maxar Technologies arendatava kuukulguri robotkäest, mis peab võtma pinnaseproove. Kaks ehitatavat kaamerat toimivad stereokaameratena ning põhinevad Crystalspace'i ja Tartu observatooriumi kaameramudelitel, mis on Maa orbiidile saadetud varem. „Kuna kaamerad jälgivad robotkäe tööd, siis peame suutma tagada nende töökindluse äärmuslikes tingimustes, alates sellest, et kaamerate ülessaatmisel mõjub tugev kiirendus ja kanderaketide eraldumisel toimuvad tugevad löögid, ning lõpetades sellega, et Kuu peal kõigub temperatuur vahemikus –173 kraadi kuni +100 kraadi,“ selgitab Crystalspace'i asutaja ja Krakuli tarkvaraosakonna juht Jaan Viru. Kaamerate lennumudelid valmivad selle aasta esimesel poolel.

Fotol näitavad Mihkel Pajusalu (Tartu observatoorium), Jaan Viru (Crystalspace) ja Jaan Hendrik Murumets (Krakul) kaameramudeleid, mille alusel hakatakse arendama Kuule saadetavaid kaameraid

Satelliitidega Koit ja Hämarik saadi lõpuks ühendust



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

Nii mullu septembris orbiidile saadetud tudengisatelliit Hämarik kui ka 2019. aasta suvel üles lennutatud Koit jäid pärast raketistarte meie teadlastele tabamatuks. Eelmise aasta lõpu eel õnnestus viimaks mõlema tehiskaaslasega side luua.

Hämarik andis endast esimest korda märku 15. novembri õhtul, kui Tõraveres asuva Tartu observatooriumi antenniga püüti kinni sellelt satelliidilt pärit andmepakett. Selleks saatsid Hämariku meeskonna tarkvaraspetsialist Madis Kaal ja Tartu observatooriumi juhtinsener Viljo Allik satelliidi poole mitu käsklust, millele satelliit ka vastas.

Juba poolteist aastat vaikides tiirelnud Koiduga õnnestus esimest korda ühendust saada 21. novembril, kui Tartu observatooriumis võeti vastu selleltki

tulnud andmepakett. Esialgu saadavad mõlemad satelliidid teavet oma süsteemide seisundi kohta, hiljem loodetakse neilt kätte saada ka näiteks pardal olevate kaameratega tehtud fotod ja muu teaduslik informatsioon. Tehiskaaslaste peaülesanne on seirata Maad ja katsetada sellega seotud tehnoloogiat: kaameraid, uuenduslikku pilditöötlust ja sidepidamist maajaamaga.

Ligikaudu 500 kilomeetri kõrgusel tiirlevad Koit ja Hämarik on Tallinna tehnikaülikooli ja AS-i Datel satelliidid. Eestis on nad tehnika abil vaadeldavad umbes kuus korda päevas; iga ülelend kestab peaaegu 12 minutit. Uudiseid satelliitide kohta saab jälgida veebilehelt satellite.taltech.ee. •

Tallinna tehnikaülikool / Horisont

Kuidas erineb meeste migreen naiste omast?

Tallinna ülikooli neuroloogia külalis-professor Toomas Toomsoo vastab sellele küsimusele nõnda: „Migreen pole ainult peavalu. Paljude uuringute kohaselt halveneb migreeni tõttu elukvaliteet ja see mõjutab negatiivselt ka tööelu. Väheneb ka ühiskondlikus elus osalemine. Maailma terviseorganisatsiooni (WHO) avaldatud ülemaailmse haiguskooormuse uuringu järgi on migreen puude põhjustajana Euroopas 13. kohal, meestel hõlmab see kuni kaks protsenti kõigist kaotatud eluaastatest.

Kliiniliste sümptomite poolest ei erine migreen meestel eriti naistel esinevast migreenist. Meestelgi toob see kaasa suuri kannatusi nii patsiendile kui ka tema perele. Ühiskonnale on see väga kulukas, mistõttu raviküsimused ei erine naiste migreeni omadest ja on sama olulised.

Mitme uuringu tulemusena on selgunud, et vaid 40 protsenti meestest otsib peavalu korral abi arsti juurest, samas pöörduks 80 protsenti meestest abi saamiseks arsti poole seljavalude tõttu.

Levinud on teadmine, et migreen on justkui naiste peavalu, ja seetõttu pööratakse vähem tähelepanu meeste migreenile. Oleme harjunud teadma, et



PIXABAY

migreen on sageli seotud hormonaalsete kõikumistega, samuti seda, et migreen on naistel kaks-kolm korda sagedam kui meestel. Samas teame ka seda, et nii meestel kui ka naistel on migreen sageduselt kolmas haigus.

Migreen on fluktueriva iseloomuga seisund. Tihti võivad migreenipeavalud alata lapseas, kuid pärast murdeiga saab tüdrukutega võrreldes palju enam

poisse migreenist vabaks. Enne puberteeti on poiste ja tüdrukute migreeni esinemissagedus aastas võrdne, kuid pärast puberteeti hakkab see sagedus tüdrukutel suurenema, poistel aga mitte.

Meestel tuleb sagedamini ette migreeni iseloomu muutumist: neil algab migreen sageli episoodilisena, kuid hiljem on krooniline.

Mehed peaksid endale teadvustama, et peavalukaebusega arsti poole pöördumine ei ole nõrkuse väljendus ja paljudel juhtudel on arstidel võimalus neid aidata isikupärastatud raviplaaniga.

Meeste migreeni käsitus ei erine naiste omast, kuid erisused on siiski olemas. Enamasti on meestel migreenihoo- gused harvem. Samas on neil võrreldes naistega suurem risk, et peavalud muutuvad krooniliseks, sest nad kipuvad vähem kasutama migreeni ennetavat ravi. Mehed peaks olema teadlikud, et kuigi migreen on ajuhaigus, mis põhjustab sagedaste hoogude korral raske puude ja häirib igapäevast elu, on seda siiski võimalik ravida ja haigussümptomeid oluliselt leevendada.” •

Tallinna ülikool / Horisont

www.kl24.ee
www.helmic.ee

PITSID, SATSID, JÕULUPALLID, LÕNGAD, KANGAD, SÄRA JA SÄTENDUS – KÕIK ISE ILU TEGEMISEKS.

Lõngad, pärlid, tööriistad, niidid, lukud, pandlad, paelad, pitsid, nõöbid... – kokku üle 120 000 toote

OTSE MAALETOOJALT KARNALUKS OÜ LAOS, HERMANNI 1, C-TREPIKODA TALLINN

Kas soojenev kliima muudab loomad tumedamaks või heledamaks?

Ökoloogiat õppinud suudavad ehk meenutada ökogeograafilisi reegleid, mis kirjeldavad seaduspärasusi eri kliimaga piirkondade elusolendite erinevustes. Üks neist on saanud nime Saksa linnuteadlase Constantin Glogeri järgi. See väidab, et soojemate piirkondade loomad on tavaliselt tumedama karva või sulgedega. Seda ja teisi ökogeograafilisi reegleid appi võttes üritatakse ennustada, milline võib olla kliimamuutuse mõju loomaliikide välimusele.

Constantin Gloger (1803–1863) uuris loomade pigmentatsiooni piirkondlikke seaduspärasusi ja pani tähele, et troopikas elutsevad imetajad ning linnud kipuvad olema tumedama naha, karva ja sulgedega. 1929. aastal sõnastas teine saksa teadlane Bernhard Rensch ökogeograafilise reegli, mille nimetas Glogeri auks. Glogeri reegli järgi on püsisoojased loomad (linnud ja imetajad) tumedamad soojades ja niisketes piirkondades. Sellise seaduspärasuse põhjusteks on peetud tumedamate loomade paremat varjevärvi tiheda taimeistikuga paikades; mikroobirohketes soojades niisketes piirkondades elavate tumedamate sulgedega isendite paremat võimet panna vastu sulgi lagundavatele bakteritele ning tumedalt värvunud loomade paremat kaitsevõimet väikeste laiuskraadide kõrge UV-kiirguse taseme suhtes.

Mullu suvel avaldasid Hiina teadlane Li Tian ja britt Michael J. Benton ajakirjas Current Biology artikli, milles tegid ökogeograafiliste reeglite toel oletusi, kas ja kuidas mõjub kliimamuutus elusolenditele. Mõõndes, et nende reeglite põhjal on raske täpseid ennustusi teha, panevad Tian ja Benton Glogeri reegli toel siiski ette, et soojenev kliima peaks loomariigis suurendama tumedate isendite hulka.

Max Plancki ornitoloogiainstituudis töötav Kaspar Delhey vaidleb koos kaastöölisega sellele vastu ja väidab samas ajakirjas ilmunud kommentaaris, et Glogeri reegel ei kehti ainuüksi temperatuuri, vaid temperatuuri ja niiskuse koostoju kohta ja et kui seda arvesse võtta, võib pigem käiku minna vastupidine stsenaarium: looduslik valik võib kliima soojenedes hakata soosima hoopis



See Saksa Hesseni liidumaal pildistatud arusisalik on oma liigikaaslastest tublisti tumedam. Tõenäoliselt ei suuda teadlased vaid ökogeograafiliste reeglite abil ennustada, kuidas võivad arusisalikud välja näha siis, kui kliima tunduvalt soojeneb

heledaid isendeid. Eriti nähtav võib see olla kõigisoojaste puhul. Külmates piirkondades on eelis tumedat värvi roomajatel, kes hommikul kiiresti üles soojenevad. Soojemas kliimas see eelis kaob.

Tartu ülikooli ökoloogia- ja maateaduste instituudi kaasprofessori Toomas Esperki hinnangul on Glogeri reegli otse- seostamine kliima soojenemisega – temperatuuri tõusuga – mõnevõrra kunstlik. Ta selgitab: „Delhey ülevaateartikli tulemustest järeldub selgelt, et Glogeri reegel kehtib valdavalt niiskuse, mitte temperatuurimõjude ega niiskuse ja temperatuuri koostoju kohta. Glogeri reegli paikapidavust on kontrollitud 111 uurimusega, millest peaaegu kolm-

Külmates piirkondades on eelis tumedat värvi roomajatel, kes hommikul kiiresti üles soojenevad. Soojemas kliimas see eelis kaob.

veerandi järgi tuvastati, et loomad on tumedamad niiskes, ja kolme protsendi uurimuste põhjal kuivas keskkonnas. Seejuures tuvastati 12% uuringutega, et soojemates piirkondades (või väikestel laiuskraadidel) on loomad tumedamad. Kümnenndik uuringuist näitas, et loomad olid tumedamad hoopis madalamate temperatuuridega paikades. Temperatuuri ja niiskuse koostoju kohta (loomad on tumedamad kõrge temperatuuri ja suurema niiskusega elupaikades) leiti kinnitust ainult viies töös. 43 uurimust, mis võimaldasid kvantitatiivset analüüsi, viitasid, et loomade tumedust mõjutas ainult niiskus – temperatuuri mõju loomade värvusele ei tuvastatud. Niisuguste tulemuste valguses võib ju mõtteharjutusena konstrueerida nägemuse sellest, kuidas temperatuuri tõustes loomade värvus muutub, kui niiskuse mõju kõrvale jätame. Mõõdetavat või koguni silmaga nähtavat mõju sel vaevalt on,” osutab Esperk •

Piret Pappel

FRIZ GELLER-GRIMM / WIKIPEDIA

Uus osoonimismeetod puhastab vett antibiootikumijääkidest

Tallinna tehnikaülikooli (TTÜ) teadlased tutvustasid hiljuti väljaandes Environmental Research uut ja tõhusat võimalust, kuidas saab joogivett puhastada ohtlikest ravimijääkidest.

„Erineva päritoluga mikrosasteainete eemaldamine veest on tänapäeva keskkonnatehnoloogias siiani lahendamata probleem. Meie uurisime uute vee puhastusmeetodite kasutamist kahe mikrosasteaine – sulfametoksasooli ja trimetoprimi esinemise korral. Tegemist on antibiootikumidega, mida kasutatakse väga laialdaselt nii inimeste kui ka loomade kopsu- ja neeruhaiguste raviks,“ räägib TTÜ keskkonnatehnoloogia teaduslabori vanemteadur Niina Dulova.

Veest saab kõige paremini mikrosasteaineid eemaldada, rakendades süvaoksüdatsiooniprotsesse, kus osalevad hea oksüdeerimisvõimega radikaalid. Sellised tehnoloogiad kõrvaldavad veest bioloogiliselt raskesti lagunevaid aineid, neid peaaegu täielikult mineraliseerides. Tavaliselt on niisuguses puhastusprotsessis radikaale moodustav oksüdeerija vesinikperoksiid (H_2O_2) ja osoon (O_3), kuid viimastel aastatel on hakatud üha enam kasutama ka persulfaati (PS).

„Keskendusime oma uuringus nende oksüdeerijate – O_3 , O_3 ja H_2O_2 ning O_3 ja PS – kombineeritud protsessidele. Neist viimane, O_3 ja PS-iga seotud tehnoloogia, on radikaalidel põhinevate oksüdatsiooniprotsesside valdkonnas alles arenev suund. Selle protsessi efektiivsust antibiootikumijääkide lagundamisel vees polnud seni veel keegi uurinud ning meie saadud tulemused on paljutõotavad,“ kinnitab Niina Dulova. •

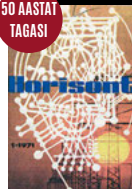
Tallinna tehnikaülikool / Horisont

UNSPASH



HORISONT KIRJUTAS

50 AASTAT
TAGASI



HORISONT 1/1971, LK 22

Horisont tutvustab Nõukogude automaatjaamaga Luna Kuu Viljakuse merest Maale toodud pinnaseproovide uurimist:

„Üldse käitub Kuu pinnas hämmastamapanevalt, otse paradoksaalselt. Ta kleepub kergesti kokku kobedateks tombukesteks. Kuhilasse puistamisel moodustub väga järsu varisemisenurgaga hunnik.“

Kui puistamisel piirata hunniku üks külg lauakesega, mis hiljem ära võetakse, ei vaju toetatud külg laiali, vaid säilib üsna tükk aega oma kuju. Kõik see kõneleb osakeste heast omavahelisest nakkumisvõimest, nii et vaatamata oma absoluutsele kuivusele käitub Kuu pinnas nagu märg liiv.“



40 AASTAT
TAGASI

HORISONT 1/1981, LK 28

Jüri Annist ja Jaan Masing soovivad, kuhu võiks kodus akvaariumi paigutada:

„Veetaimede ja kalade mõjub soodsalt, kui neile langeb päeavalgust ja ka päikesekiiri. Ohtrasti valgustatud akvaariumidel on siiski kaks olulist puudust. Esiteks võivad neis täiesti ootamatult vohama hakata

vetikad – taimed, kivid ja klaasseinad kattuvad inetu tumerohelise kirmega. Teiseks on akna ligidal paikneva akvaariumi asukad päeavalgel halvasti vaadeldavad. Nagu pilt televiisoriekraanil, ei pääse ka akvaarium hästivalgustatud toas mõjule. Elektri valgustite õige valiku korral kasvavad veetaimed ka päeavalguseta. Järelikult saab akvaariumi paigaldada esikusse või trepikotta. Läbi esiklaasi kumav valgus loob esikusse meeleoluka hämaruse.“



30 AASTAT
TAGASI

HORISONT 1/1991, LK 9

Jaanus Vainu jagab nõuandeid, millega tuleb välismaiseid elektroonikaseadmeid ostes arvestada:

„Rootsist toodud impulssvalimisega telefonid hakkavad Eestis tööle alles pärast väikest ümbertegemist. See on väga lihtne – aparaat tuleb lahti võtta ja numbritega klahvid tõsta ringi: 1 asemele

2, 2 asemele 3 jne kuni 0 asemel 1. Kui te ei soovi seadet avada või on klahvid järgalt fikseeritud, võib lihtsalt klahvide peale kleepida uued numbrid vastavalt ülaltoodud „nihkereeglile“. NB! Välismaa telefonipistik ei ühti meie pesaga (asendada võib kas pistiku või pesa).“



20 AASTAT
TAGASI

HORISONT 1/2001, LK 53

Seeneuurija Ain Raitviir kirjeldab Gröönimaal seenel käimist:

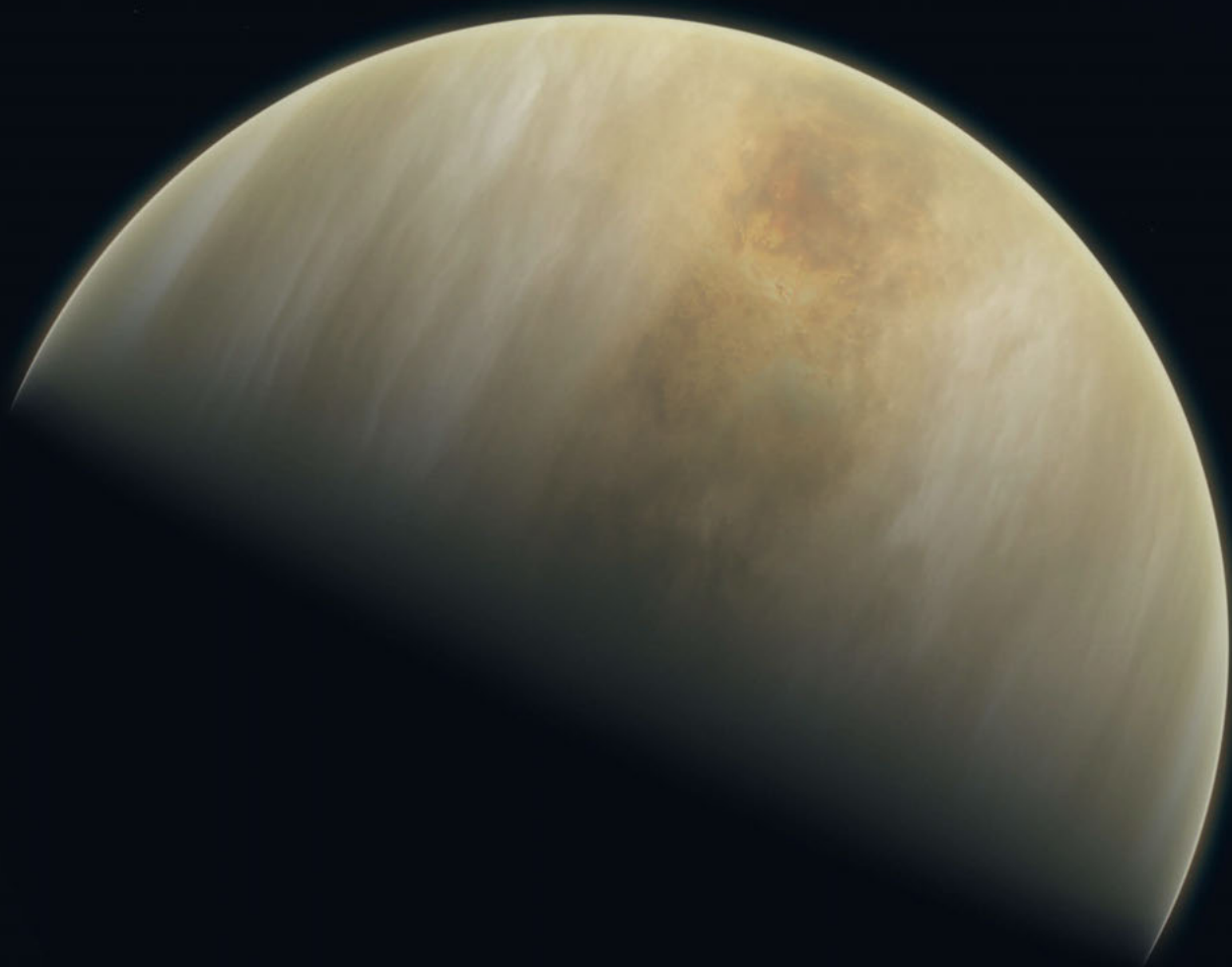
„Tavamõistus keeldub esimesel hetkel uskumast, et niisugusel jäisel ja külmal maal üldse seeni võiks kasvada. Aga ennäe, vaevast paarsada meetrit liustikust eemal katab maapinda tihe ja madal, napilt üle labajala ulatuv vaevakase polster, mille laikude vahel turritavad prisked lühikese jalaga kasepuravikud, õieti küll vaevakasepuravikud, sest tegemist on Eestis mitte esineva tavalisest kasepuravikust erineva liigiga. Laiemalt ringi vaadates selgub, et seeni on tegelikult ohtralt ja mitmekesiselt.“

MIHKEL KAMA

FOSFAAN VEENUSEL

Elumärk või eksitus?

Veenus on Maa sõsarplaneet. Kuna planeedi atmosfäär on happerikas ja pinnatemperatuur küündib süsinikdioksiidist tingitud tohutu kasvuhooneefekti tõttu üle 460 °C, ei ole Veenus elusorganismidele soodne paik. Ometi on lahvatanud elav arutelu mikroobse elu võimalikkuse üle Veenusel. Selle väitluse vallandas hiljuti avaldatud teadustöö, kus on esitatud tõendeid suure koguse võimaliku nn biomarkermolekuli fosfaani (PH_3) kohta Veenuse atmosfääris. Kas see kinnitab elu olemasolu naaberplaneedil?



ESO / M. KORNMESSER & NASA / JPL / CALTECH

Veenuse läbimõõt on meie koduplaneedi omast ainult 5% väiksem ning ta asub Päikest ümbritseva elukõlbliku tsooni (ingl *habitable zone*; kaugus tähest, kus Maa-laadse planeedi pinnal võib olla vedela vee olemasoluks sobiv temperatuur) sisemise serva lähedal, kuid tema geoloogiline minevik ja atmosfääri koostis on Maa omast kardinaalselt erinev. Kui maakera atmosfääri koostises on põhilised lämmastik (78,1%) ning hapnik (20,9%), siis Veenusel on ülekaalus süsihappegaas (96,5%) ning lämmastikku tunduvalt vähem (3,5%). Ometigi, kuna Veenuse atmosfäär on Maa omast ligi sada korda tihedam, on lämmastiku koguhulk Veenusel hoolimata tema väikesest suhtelisest sisaldusest ligi neli korda suurem. Tohtu süsihappegaasihulga tõttu vaevleb Veenus ränga kasvuhooneefekti ahelates, millest on tingitud tema ligi 500 °C pinnatemperatuur.

Ehkki vedela vee puudumise ja kõrge temperatuuri tõttu on elu Veenuse pinnal väga ebatõenäoline, on juba aastakümneid kestnud teaduslik arutelu selle üle, kas mikroorganismidele võiksid eluks sobida atmosfääri kõrgemad kihid, kus temperatuur läheneb Maa omale. Briti mikrobioloog Charles Cockell on neid probleeme käsitlenud 1999. aasta uuringus. Ta järeldas, et kuigi temperatuur on Veenuse atmosfääri ülemises osas sobiv ja veemolekulid saadaval, osutub happelisus ja ainevahetuse reguleerimine sealsetes tingimustes elu arengule suureks takistuseks. Kui need õnnestuks ületada, võiks atmosfääris leiduda teatud tüüpi ainevahetusega mikroorganismidele sobiv nišš.

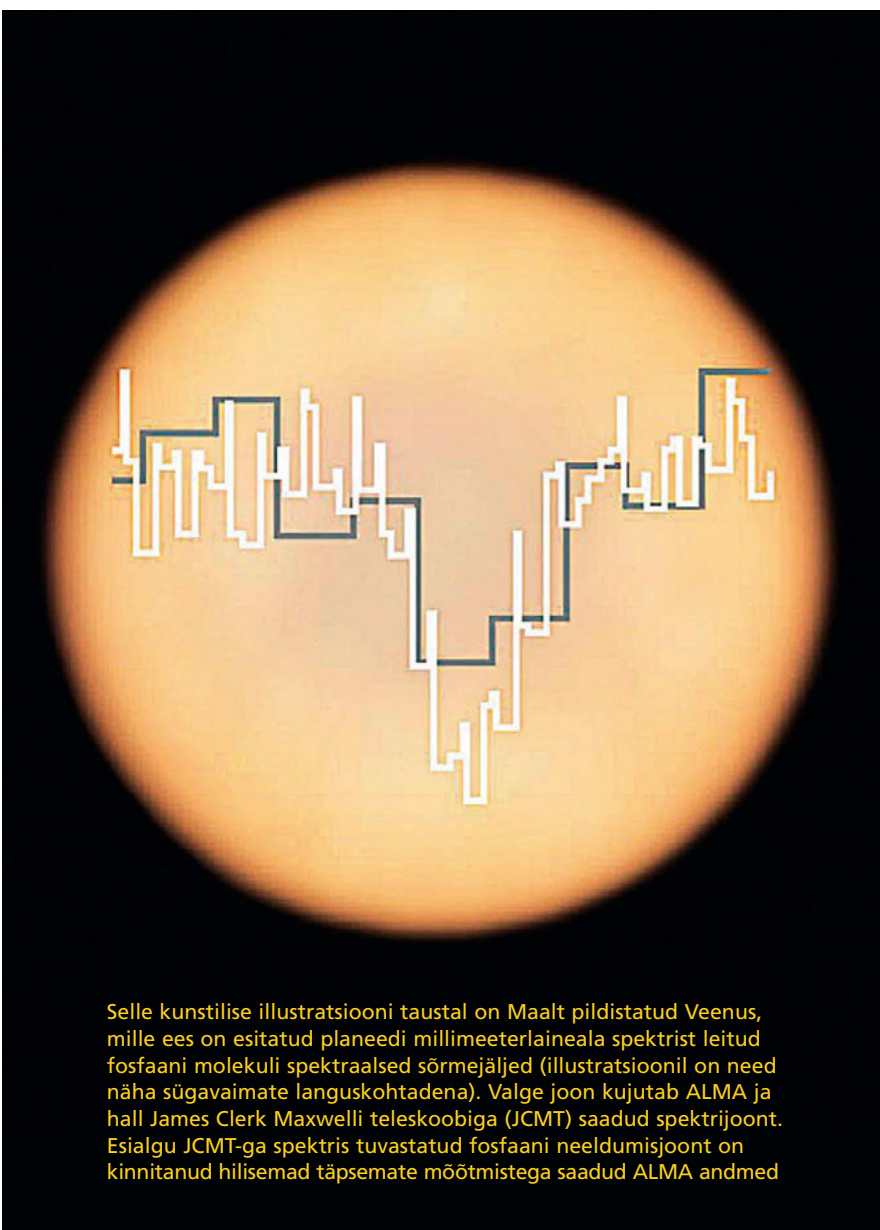
Fosfaan Veenusel: tõend elu kohta?

14. septembril 2020 andsid astronoomid eesotsas Cardiffi ülikooli professori Jane Greavesiga teada, et on leidnud Veenuse atmosfäärist fosfaanimolekuli spektraalse sõrmejälje. Esmapilgul on atmosfääri- ja geokeemia seisukohast ootamatu, et Veenuse oksüdeeritud atmosfääris ja mõnesaja kraadini küündivatel temperatuuridel võib leiduda suur kogus redutseeritud fosforit. Hiljutises väga põhjalikus artiklis analüüsis William Bains koos kolleegidega teadaolevaid atmosfääri-, geo- ja fotokeemilisi protsesse ega leidnud nende hulgast ühtki viisi, mil moel võiks PH₃ kogus Veenuse atmo-

sfääris tõusta vaadeldud tasemeni. Kusjuures analüüsitud protsessidega saavutatud PH₃ kogus oli mitu suurusjärku liiga väike. Seda artiklit eelretsenseeritakse praegu väljaandes *Astrobiology*.

Planeedil Maa on peamised fosfaaniallikad seotud elusorganismidega, eel-

Planeedil Maa on peamised fosfaaniallikad seotud elusorganismidega, eelkõige inimsivilisatsiooni keemiatööstusega ja mikroorganismide elutegevusega hapnikuvaestes keskkondades.



ALMA (ESO / NAOJ / NRAO) / GREAVES ET AL / JCMT (EAO)

kõige inimsivilisatsiooni keemiatööstusega ja mikroorganismide elutegevusega hapnikuvaestes keskkondades. Sellest lähtudes ilmus astrobioloogia vallas tegutseva kvantkeemiku Clara Sousa-Silva juhitud töörühmal 2019. aastal uurimistöö, kus Maa-laadse planeedi atmosfääris leiduvat fosfaani käsitati kui biomarkerit ehk elutegevuse märki. Ehkki selles uurimuses on peetud silmas eeskätt elu otsinguid eksoplaneetidel, andis see lisatõuke otsida fosfaani ka Veenuselt. Just seetõttu pälviski Jane Greavesi avastus eriti suurt tähelepanu ning, nagu edasi luges teada saame, ka omajagu kriitikat.



1981. aastal Veenusele jõudnud Nõukogude Liidu maandurilt Venera 13 saadud esimene värviline foto planeedi pinnast

Vaatlusandmete „agressiivne“ puhastamine

Esimised märgid fosfaanist leidis Greavesi töörühm 2017. aastal James Clerk Maxwelli teleskoobiga (JCMT) hangitud spektris. Lainepikkusel 1,123 millimeetrit asuv PH_3 pöördeolekute üleminek õnnestus kätte saada pärast keerukat andmeanalüüsi, millega vähendati instrumentaalse müra rolli, mudeldades seda kõrge, kaheksanda järguga polünoomina. Kuna signaal oli endiselt nõrk, taotleti uusi vaatlusi.

Uued andmed saabusid 2019. aastal Tšiilis Atacama kõrbes asuvalt millimeeterlainela interferomeetrilt ALMA. Taas oli signaali müra eest välja meelitamiseks tarvis spektrilt maha lahutada kõrge järguga polünoom (sedakorda koguni kaheksakümneenda järgu funktsioon), misjärel ilmus varem JCMT andmetest leitud PH_3 joon nähtavale ka ALMA vaatlustes. Millimeeterlainela vaatluste puhul on ebatavaline puhastada andmeid nii kõrge järguga polünoomide abil, tekib oht andmeid n-ö üle fittida ning kunstlikult vähendada müra huvipakkuva spektrilõigu ümber. Seejärel võib müra jätta olulise signaali mulje.

Niisiis oli ohtlikult „agressiivne“ andmetöötlus kesksel kohal nii JCMT kui ka ALMA-ga püütud signaali või-

mendamisel, kuid kahe eraldiseisva instrumendiga leitud sarnane signaal veenis autoreid ja anonüümseid retsense, et töö väärib publitseerimist mõjukas erialajakirjas Nature Astronomy.

Teadlased tutvustasid oma avastust ettevaatlikult, hoidudes ennatlikust järeldusest, et suur fosfaanikogus Veenusel on tingimata esimene tõend maavälise elu kohta. Ent loomulikult kajastati ajakirjanduses ja sotsiaalmeedias just seda võimalust kõige elavamalt. Samas teeb rõõmu, et pealkirjad, nagu „Kas Veenusel on elu? Teadlased leidsid planeedi atmosfäärist sellele viitava ühendi“ (Delfi Forte, 14.09.2020) või „Possible sign of life on Venus stirs up heated debate“ („Võimalik elumärk Veenusel tekitab tuliseid vaidlusi“; National Geographic, 14.09.2020), olid üpris tasakaalukad ega kiirustanud sensatsiooni jahtides rääkima Veenusel asuvatest tulnukatest.

Vulkaanidest pärit fosfaan

Üks fosfaani allikaid, mis pole seotud elusorganismidega, on vulkanism. Selle hüpoteesi järgi võib Veenuse vahel olla mõningane kogus fosfiide, mida vulkaanid paiskavad atmosfääri, kus need ühendid reageerivad väävelhappe või veega. Selle ahela ühe tulemina tekiks fosfaan. Ent esialgu pole tõendeid piisava fosfiidikoguse kohta Veenuse vahel. Samuti ei teki kirjeldatud protsessi mudeldamisel fosfaani küllaldases koguses, et selgitada Greavesi tulemusi. Küll aga on meie sõsarplaneeti uurinud Euroopa son-

dilt Venus Express tehtud mõõtmised viimastel aastatel elavdanud arutelu nähtava vulkaanilise tegevuse üle Veenusel.

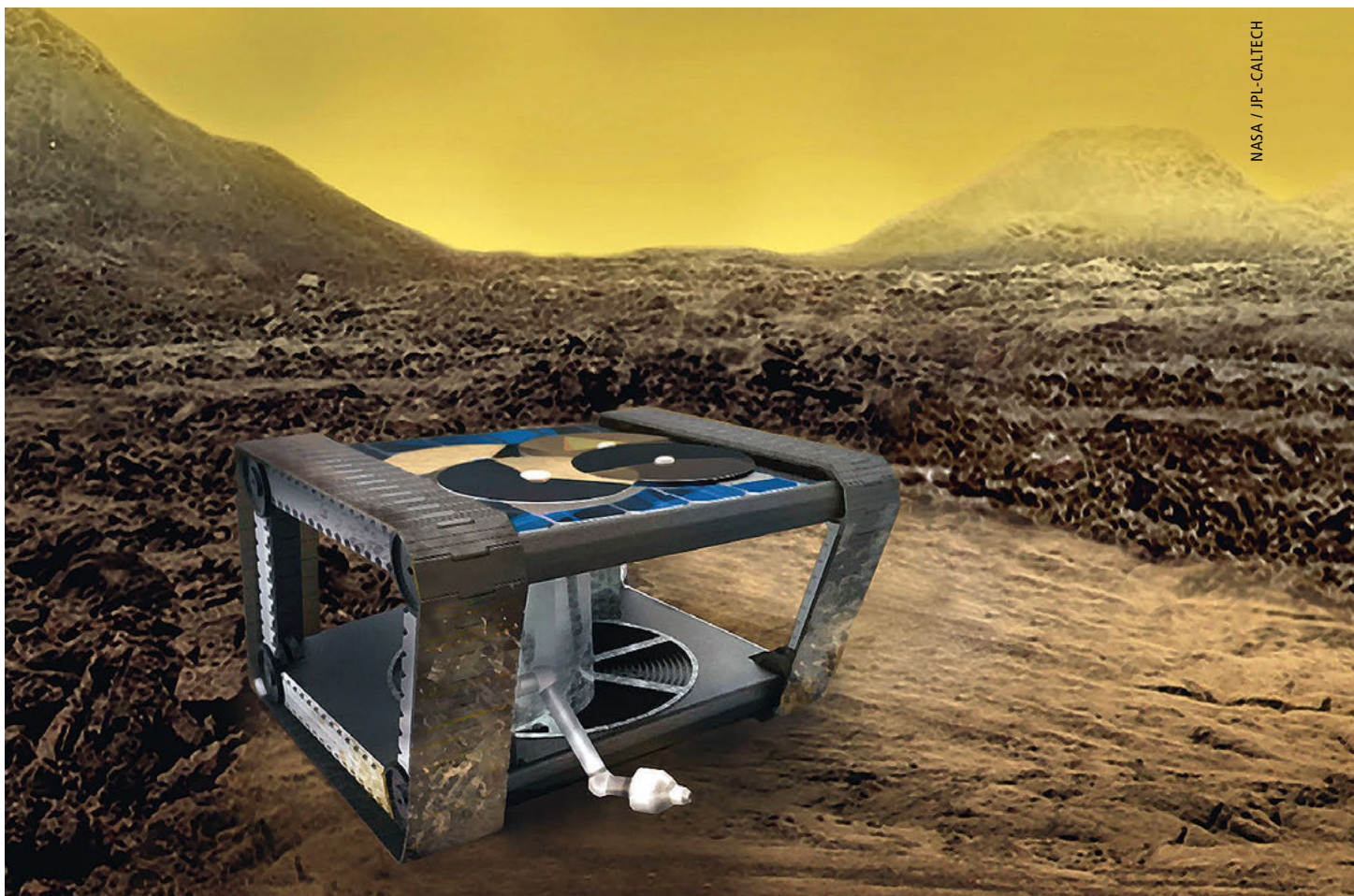
Öli valas tulle ka California polütehnilise ülikooli teadlane Rakesh Mogul, kes heitis värske pilgu 1978. aasta kosmosesondi Pioneer Venus andmetele. Ta leidis, et atmosfääri läbinud mass-spektromeetri näidud, millelt tuvastati ioniseeritud fosfor, olid kooskõlas fosfaani olemasoluga. Veelgi enam, Mogul väitis, et Pioneer Venuse mass-spektrid viitavad lämmastiku bioloogilises tsüklis osalevatele molekulidele Veenusel.

Greavesi töörühma arvutatud fosfaanikogust (u 20 miljardikku ehk 20 osakest miljardist) aluseks võttes on juba püütud maises biosfääris tuntud protsesside põhjal hinnata ka suure PH_3 -kontsentratsiooni saavutamiseks vajalikku elusaine massi Veenusel. Retseenseerimata kujul eeltrükiarhiivi arXiv üles pandud uurimistöös väidavad Harvardi ülikooli teadlased Manasvi Lingam ja Avi Loeb, et vaadeldud fosfaanikoguse saamiseks piisaks, kui Veenuse atmosfääris oleks biosfääri masstihedus väiksem kui Maal. Seda muidugi eeldusel, et Veenusel fosfaani tootvad mikroorganismid sarnanevad biokeemiliselt meie koduplaneedi omadega.

Kriitika: kas avastus on tõeline?

Kuna Greavesi rühma väidetava Veenuse fosfaanileiu tähendus oleks väga suur, asusid astronoomid ja planeediteadlased üle maailma selle vettpidavust viimase pisiasjani üle kontrolli-

1978. aasta kosmosesondi Pioneer Venus mass-spektrid viitavad lämmastiku bioloogilises tsüklis osalevatele molekulidele Veenusel.



Kunstniku nägemus Veenusel tuule jõul liikuvast kulgurist AREE

ma. Kaks peamist siiani kerkinud küsimärki puudutavad andmetöötamise meetodikat ning sõltumatute andmete põhjal saadud vastuolulisi tulemusi.

Leideni ülikooli astronoomid Ignas Snellen ja Michiel Hogerheijde, kes on eksoplaneetide atmosfääride uurimise ja ALMA eksperdid, kordasid Greavesi rühma andmetöötlust, kuid ilma eelduseta, et otsitava spektrijoone asukoht spektris on teada. Nad leidsid, et seda meetodit valesti rakendades võib müra signaale esile manada, seega võib PH_3 spektrijoon olla liialt usina andmetöötamise loodud miraaž. Võimalikele probleemidele andmete kvaliteedi ja töötamise viidanud veel kaks sõltumatut teadusrühma. Vaidlus areneb säärase tempoga, et ka nende analüüsid on internetis avaldatud ilma teadusmaailmas usalduse tempolina kehtiva eelretsensioonita, seega võib puudujääke ilmnedagi nii tööde selguses kui ka tehnilises korrektsuses.

Teine näiline kirstunael löödi Greavesi rühma avastusse täiesti teistsuguste seadmetega tehtud uurimistööga. Ameerika Ühendriikide kosmoseagentuuri NASA spektrograafia TEXES ja Euroopa kosmoseagentuuri sondil Venus Express asunud instrumendiga SOIR vaadeldi kesk- ja lähinfrapunakiirgust (vastavalt 4,5–25 ja 2,2–4,3 mikromeetrit). Aparaadid pakuvad niisiis ligipääsu teistsugustele spektrijoontele kui JCMT ja ALMA, mille amplituud on pigem kauginfrapuna- ja raadiokiirgus. Pierre Encrenaz arvutas TEXES-i andmete põhjal koos kaasautoritega PH_3 -koguse ülempiiri Veenuse atmosfääris. See osutus JCMT ja ALMA andmetest välja kaevatud signalist neli korda väiksemaks. Veelgi suurem probleem kerkis belglase Loïc Trompet' juhitud Venus Expressi andmete analüüsi järgi: fosfaani ei leitud, selle sisalduse ülempiir on koguni sada korda väiksem kui Jane Greavesi rühma leitud väidetav 20-miljardikuline kontsentratsioon.

Ehkki Veenusel vaadeldud PH_3 spektrijoone kohta ei ole praegu rahuldavat selgitust ning eri andmed viitavad eri järeldustele, ootab meid vähemalt üks avastus andmetöötamise nüansside, geo- ja atmosfäärikeemia või koguni esimese maavälise biosfääri kohta.

Veenuse fosfaanileiu autorid on vahepeal avaldanud veel kaks artiklit, milles lükkavad hoolikama analüüsi abil ümber mõned andmete töötlemise kohta tõstatatud küsimused ning selgitavad põhjalikult, miks nad ei näe probleemi ka fosfaani spektrijoonega kattavas värveldioksiidi joones.

Niisugune teaduslik pingpong võib tekitada tänapäeva „tõejärgses“ ühiskonnas mulje, et kõik on vaieldav, ja

tõstatada küsimuse, kas isegi teaduses pole midagi kindlat. Tegelikult on tegemist suurepärase näitega teadusliku protsessi toimimise kohta: kaalutakse erisuguseid andmeid ja väiteid, analüüsitakse kriitiliselt üksteise töid, ajapikku aga selgub tõeliselt usaldusväärne teadmine ehk teaduslik tõde.

Edasi – tagasi Veenusele!

Selleks et selgitada täpsemalt välja Veenuse atmosfääri koostis ja võimalikud elumärgid, ei saa üle ega ümber vajadusest uute sondide ja orbitaaljaamade järele. NASA kaalub praegu kahte võimalikku projekti: DAVINCI+ ja VERITAS. Neist esimene on orbiiter, mis heidaks Veenuse atmosfääri kerakujulise sondi. Sond määraks Veenuse pinnale langedes üksikasjalikult gaaside koostise. Teine aparaat on puhtalt orbiiter. Mõlemad kuuluvad nelja kandidaadi hulka, mida NASA vaeb praegu järgmise Discovery-kategooria projektikonkursil. Arvestades 2020. aasta

viimastel kuudel üles kerkinud suurt teaduslikku ja avalikku huvi Veenuse atmosfääri uurimise vastu, näib tõenäoline, et valituks osutub DAVINCI+. Reaalsus selgub 2021. aasta lõpuks. Varem on Discovery egiidi all tööle seatud näiteks revolutsiooniline eksoplaneetide avastamise kosmoseteleskoop Kepler.

Tulevikumuusika valda kuuluva test Veenuse uurimise projektidest on kindlasti üks põnevamaid kulguri prototüüp AREE (*Automaton Rover for Extreme Environments* ehk vabas tõlkes automaatkulgur ekstreemsete keskkondade jaoks), mille põhiline arendaja on Jonathan Saunders NASA allasutuses Jet Propulsion Laboratory. AREE projekt kuulub n-ö analoogtehnoloogia valdkonda, selle keskne idee on vähendada vajadust keerukate mootorite, akude ja digitaalelektronika järele, mis Veenuse tohutus kuumuses ja happelises atmosfääris kergesti hävinevad. Selle asemel sarnaneb AREE

idee pigem Hollandi kunstniku Theo Janseni *Strandbeest*'ide põhimõttega, mille järgi kasutatakse mootorita edasilükkumiseks tuult ja gravitatsiooni. Säärast tüüpi kulguritest on juba valminud prototüübid, mida NASA toel katsetatakse Veenuse tingimusi imiteerivates laborites.

Ehkki Veenusel vaadeldud PH₃ spektrijoone kohta ei ole praegu rahuldavat selgitust ning eri andmed viitavad eri järeldustele, ootab meid ühel või teisel viisil vähemalt üks avastus. Olgu see siis andmetöötluse nüansside, geo- ja atmosfäärikeemia või koguni esimese maavälise biosfääri kohta.

 **Mihkel Kama** (1984) on astrofüüsik, Tartu observatooriumi tähefüüsika kaasprofessor ja Londoni ülikooli kolledži lektor. Teda huvitab elu teke ja levik universumis, uurinud planeetide keemilise koostise lähteid planeeditekke keskkondades ning astrofüüsikalise tolmu mikrofüüsikat.

LAHEMAA PÄRIMUSKOJA MUSTA PÄSSIKU TÕMMIS

Must pässik on juba rahvapärilises aktiivses kasutuses olnud ning selle järjepidev tarbimine annab kehale energiat, tõstab loomulikku vastupanuvõimet haigustele, reguleerib seedimist ning toetab keha loomulike protsesside tasakaalukat toimimist.

Meie tõmmises ei sisaldu alkoholi ja see on valmistatud vaid looduslikult kasvanud mustast pässikust.

Pakume tummist ja tõhusat pässiku tõmmist 0,5- ja 1-liitristes pudelites.

Saadame pakiautomaatidesse üle Eesti. MITU ON SOODSAM!

Musta pässiku tõmmisest ja toimest lähemalt: **www.passik.ee**
 FB: passikEST • tel 5595 9817
parimuskoda@parimuskoda.ee

Hooli oma lähedastest, kingi neile tervist turgutav musta pässiku tõmmis.



Vixen

Vixen Mobile Porta A70Lf

Ø70 mm, F=900 mm.

Lihtne üles panna,

kerge kasutada!

Algajale ideaalne.

364 €



**Võta julgelt
ühendust**

Ostueelne ja -järgne
nõustamine
eesti keeles.



Bresser AR-102/600 EQ-3

Võimas apertuur

ekvaatorilisel monteeringul!

Ø=102 mm, F=600 mm

Must süsinik-disain,

kaks okulaari, punatäpp otsija.

Suurim suurendus kuni 200x,

võimalus mugavalt

ühendada

peegelkaameraga.

Kerge kokku panna,

kerge kaasä võtta.

369 €



Mikroskoop Biolux NV

Suurendus 20–1280x.

Kohver ja vajalikud tööriistad,

PC okulaar (1280x720 px),

pealt- ja altvalgustus,

peennihikuga slaidihoidik

Sobilik lapsele ja koolile!

149 €



Stereomikroskoop Analyth STR 10x-40x

Suurendus 10x, 20x, 40x

Toide AA patareidelt, USB kaabliga

või vooluvõrgust.

Putukad, kahjurid, mineraalid, margid,

mündid, trükkplaadid jne

239 €



Biolux LCD Touch HDMI

Uus puutetundliku

ekraaniga mikroskoop,

mille pildi saad otse

ekraanile kuvada

(mikro-HDMI)!

Suurendus 30x–1125x

5 Mpix CMOS sensor

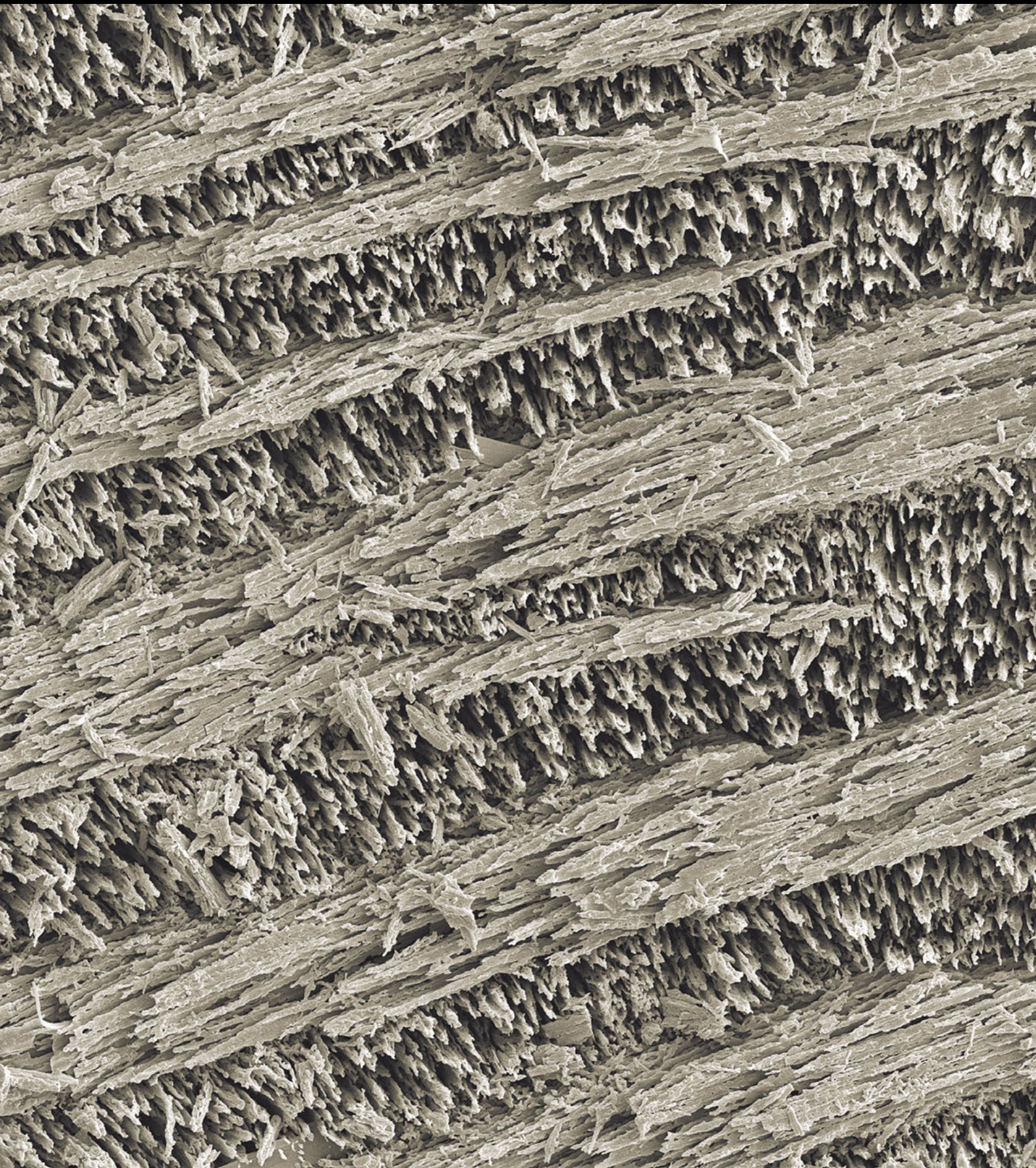
299 €

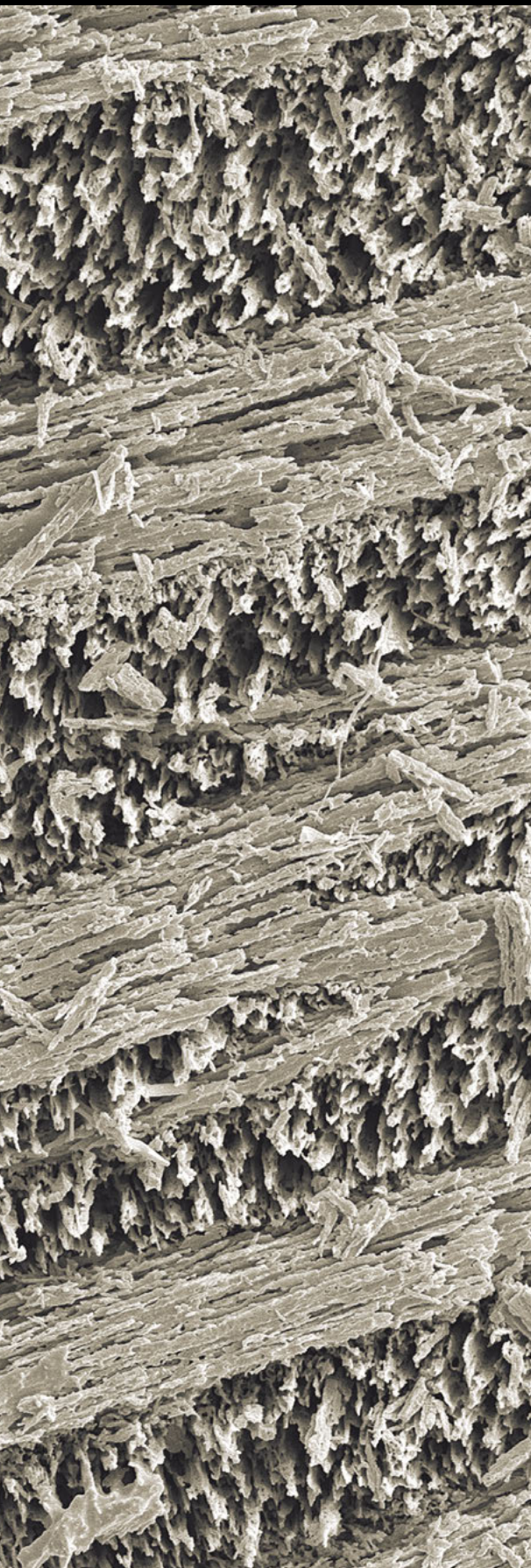
E-pood: teleskoop.ee

Helista: **528 9895**

Kirjuta: taevatoru@teleskoop.ee

facebook.com/teleskoop.ee





OLEV VINN

Olev Vinn

Miotseeni rõngussi lubikest

Biomineralisatsiooni uuringud on tänapäeval kiiresti arenev teadusvaldkond, mis hõlmab mitut teadusharu ja muutub üha tähtsamaks. Varasemal ajal olid selgrootute skeleti ja biomineralisatsiooni uuringud keskendunud peamiselt molluskitele ja käsijalgsetele; vähem on olnud vaatluse all sammalloomad. Ent nende kõrval on ookeanis, eriti parasvöötme meredes, väga oluline kaltsiumkarbonaati moodustav loomarühm – lubiskeletti ehitavad rõngussid, peamiselt serpuliidid. Pikka aega on serpuliidide biomineralisatsiooni mehhanismi peetud väga erinevaks molluskite ja käsijalgsete bioloogiliselt kontrollitud lubiainese sadestusviisist. Veel hiljuti oli nende karbonaatse skeleti moodustumise ja ehituse kohta äärmiselt vähe teavet.

Varem arvati, et serpuliidide koidad koosnevad lubjagraanulitest ja koidad ehitatakse valmis samamoodi, nagu loetakse seina. Selle tulemusena peaks kõikidel serpuliididel olema koja seinastruktuur ühtlane ja suhteliselt sarnane. Tegelikult on vaid väheste serpuliidide koidad niisuguse ehitusega. Samamoodi kui molluskitel on paljudel serpuliididel keerukad erineva suunatusega mitmekihilised koidad.

Serpuliidide biomineralisatsioon sarnaneb paljus molluskite omaga. Nagu enamiku mereliste selgrootute skeletid on ka serpuliidide kojastruktuurid alates nende tekkest permi ajastul (299–251 miljonit aastat tagasi) pidevalt arenenud. Esimesed serpuliidide skeletid olid lihtsa ehitusega, ühekihilised ja koosnesid aragoniidist. Varaseimad orienteeritud mikrostruktuuriga serpuliidid kujunesid juura ajastul (199–145 miljonit aastat tagasi) ja umbes samal ajal ilmusid ka esimesed kaltsiitse kojaga serpuliidid.

Kõrvaloleval pildil, mis on tehtud skaneeriva elektronmikroskoobi abil, näeme miotseeni (23–5,3 miljonit aastat tagasi) vanuse *Spiraserpula* koja kaltsiidikristalle, mille suunatus eri kihtides on isesugune. Niisugune kihiline ehitus tagas kojale suurema vastupidavuse kui ühetaoline struktuur.

Tartu ülikooli geoloogiaosakonnas on biomineralisatsiooni uuringud olnud tähtsal kohal juba viimasel paarikümnel aastal. •

Olev Vinn (1971) on Tartu ülikooli ökoloogia- ja maateaduste instituudi paleontoloogia kaasprofessor.



Tambet Teesalu täppis- ja nanomediitsiini laboris bakterikultuuriga, mida kasutatakse bakteriofaagide paljundamiseks

NÜTIKAD NANORAVIMID TULEVIKU VÄHITERAAPIAS

FOTOD: LAURI KULPSOO

Kümmekond aastat tagasi avastas vähibioloog Tambet Teesalu uuendusliku viisi, kuidas viia nanoosakesse pakitud vähiravimit otse kasvajakoldesse, nii et patsiendi ülejäänud organism oleks ravimi laastavate kõrvaltoimete eest kaitstud ja ravimi mõju varasemate teraapiatega võrreldes tõhusam. Sellel meetodil põhinevat vähiteraapiat katsetatakse praegu ravimiuuringu teises faasis Austraalias ning loodetavasti selgub lähiaastail, kas see jõuab kliinilisse kasutusse, et vähipatsientidele leevendust tuua. Praegu töötab Tambet Teesalu Tartu ülikooli bio- ja siirdemeditsiini instituudis nanomeditsiiniprofessorina ja juhib täppis- ja nanomeditsiini laboratooriumi, kus otsitakse ja proovitakse uusi võimalusi, kuidas nanotehnoloogia abil inimkonda muserdavaid raskeid haigusi seljatada. Professor Teesaluga vestles nanomeditsiinist ja vähiravi valdkonnast Horisondi toimetaja Helen Rohtmets-Aasa.

Mis on nanomeditsiin?

Nanomeditsiin on kiiresti arenev valdkond, mis kasutab nanoosakesi, et suurendada ravimite efektiivsust ja parandada diagnostikat, ühesõnaga meditsiinilistel eesmärkidel. Need osakesed on väga väikesed: kümnest kuni tuhande nanomeetrini. Näitlikustades: tüüpiline nanoosake on juuksekarva diameetrist umbes tuhat korda väiksem. Seda, milleks me neid osakesi kasutame, võiks aga võrrelda seljakoti rakendustega: nii nagu seljakotti saab pakkida kõiksuguseid asju, saab igasuguseid asju, näiteks ravimeid ja kontrastaineid, pakkida ka nanoosakesse. Ja seda selleks, et saavutada lihtsustatult öeldes kahte asja: kaitsta nanoosakesse pakitud aineid keha eest ja teistpidi, kaitsta keha neisse osakesesse pakitud toksiliste laadungite eest.

Kui võtta näiteks vähiravi, siis ei ole kemoterapeutikumid, mida on vähiravis juba pikki aastaid kasutatud, eriti selektiivsed ja nii kaasneb nende tarvitusega hulk kõrvalmõjusid: nad mõjutavad toksiliselt paljusid kudesid üle kogu keha, ja vähkkoesse endasse jõuab neist vaid väga väike osa, üldjuhul alla ühe protsendi manustatud doosist. Kui aga pakkida ravim nanoosakesse, siis saab keha nende toksiliste ühendite eest kaitsta ja vähendada kahjustusi kudedes, mis ei ole ravimi märklaud.

Samas on vaja kaitsta ka ravimit meie keha eest, sest sageli on ühendid, mida me nanoosakesse paneme, väga labiilsed ja tundlikud meie vereringes olevate ensüümide suhtes. Nanopakkimine aitab ravimit kaitsta, kuni see oma märklaudkoosse jõuab. Nanomeditsiini suurim väljakutse on aga töötada välja viise, mis võimaldavad suunata nanoosakesi otse kasvaja- või mõnda muusse haiguskoldesse.

SELLES NUMBRIS: TAMBET TEESALU

Kas võib siis öelda, et nutikate nanoravimite puhul on tegu pigem uuendusliku pakendusviisiga, mis võimaldab juba olemasolevat ravimit tõhusamalt haiguskoldesse viia?

Just, täpselt nii. Näiteks võetakse mõni kliinilises kasutuses olev tõsiste kõrvalmõjudega ravim või siis näiteks ravim, mis on jõudnud ravimiuuringutes juba kolmandasse faasi, kuid on seal toksilisuse tõttu läbi kukkunud. Nanopakkimine võib selle ravimi uuesti kasulikuks muuta.

Igal ravimil on niinimetatud terapeutiline aken, mis tähendab vahet selle ravimi efektiivse ja toksilise doosi vahel. Näiteks vähi korral on see aken tihti väga ahtake, mis tähendab, et vähivastase toime saavutamiseks tuleb ravimit patsienti süstida kogustes, mis on väga lähedal rasketele toksilistele mõjudele. Nanotöö eesmärk ongi enamasti see aken laiemaks venitada, et saavutada ravimi efektiivsus ilma ränkade kõrvalmõjudeta.

Millistele haigustele nanomeditiiniis praegu põhitähelepanu pööratakse?

Praegu on nanomeditiini kuumim teema vast uue koroonaviiruse vaktsiinid: nii Pfizer-BioNTechi kui ka Moderna SARS-CoV-2 vaktsiinid on nanopõhised ja koosnevad mRNA-ga laaditud lipiidsetest nanoosakestest. Pikemaajaline nanomeditiini fookus on aga vähiravil. Kolmas nanomeditiini valdkond, milles ka meie oleme aktiivsed, on närvisüsteemihaigused.

Nii närvisüsteemihaigustel kui ka kasvajatel on hulk füsioloogilisi eripärasid, mille tõttu on nende kolletesse raske ravimeid viia. Näiteks ümbritseb meie aju hematoentsefaalbarjäär, mille ülesanne on kaitsta aju vereringes olevate toksiliste ühendite eest. Füsioloogiliselt on see barjäär meile äärmiselt tähtis, aga kui näiteks soovime viia ajju dementsusvastast ravimit, siis ei pääse see ravim 99,9 protsendil juhtudest sellest barjäärist läbi. Ainsaks väljapääsuks jääb süstida ravimit patsiendile otse ajju, aga kes tahaks, et talle midagi ajju süstitakse. Loomulikult eelistaks patsient, et ravimit süstitaks veeni või manustataks suu kaudu.

Vähkkasvaja korral takistavad ravimite kasvajakoldesse tungimist kasvajaveresoonte eripärad ning toimiva lümfisüsteemi puudumine. Selle tagajärjel tekib soliidtuumorites kõrge interstitsiaalne rõhk, mis tähendab sisuliselt seda, et ravimid peavad kasvajasse jõudmiseks ujuma justkui vastuvoolu, sest vähis on surve, mis neid eemale tõrjub. Teiseks on soliidtuumorites – näiteks kõhunäärmevähis, mida ka meie uurime – palju rakuvaheainet. See on justkui tsement, mis ümbritseb vähirakke ja samas takistab ravimil neisse rakkudesse tungimist.

Nende logistiliste ülesannete lahendamine ongi nanomeditiini võtmeküsimus. Meil ei ole ikka veel häid viise, kuidas viia nanoravimeid valikuliselt sinna, kuhu me tahame. Ja nende viiside otsimisega meie labor iga päev tegelebki.

Siinkohal tuleb mängu avastus, mille tegite kümmekond aastat tagasi veel USA-s töötades. Leidsite koos Ameerika kolleegiga meetodi, kuidas nanoosakesse pakitud ravimit nutikalt vähirakkudesse suunata. Palun kirjeldage lühidalt, milles see meetod seisneb!

Nanomeditiini suurim väljakutse on töötada välja viise, mis võimaldavad suunata nanoosakesi otse kasvaja- või mõnda muusse haiguskoldesse.

Meie töö aluseks on asjaolu, et veresooned ei ole kehas ühtaolised, vaid erinevad sõltuvalt sellest, millises organis või haiguskoldes nad asuvad. Kuna ravimid jõuavad enamikul juhtudel haiguskoldesse läbi veresoonte, siis avavad sellised veresoonte eripärad võimalusi ravimite täpselt kohale viimiseks.

Soome juurtega Ameerika teadlase professor Erkki Ruoslahti uurimisrühmas, kuhu ma viieteist aasta eest tööle läksin, uuriti veresoonte mitmekesisust elusloomadel skriinigumeetodiga, milles kasutatakse veresoonte uurimiseks bioloogilist nanoosakest – bakteriofaagi ehk bakteriviirust. Sellise meetodi, niinimetatud *in vivo* faagidisplei jaoks kasutatakse bakteriviirust (bakteriofaagi T7), mis sarnaneb mõõduktelt nii tüüpilise imetajaid nakatava viiruse kui ka kliinilise nanoosakesega. Faagi genoomi muudetakse nii, et selle pinnavalgu küljes hakkaksid avalduma juhuslikud peptiidijärjestused.

Tulemuseks on terve kollektsioon bakteriofaage, niinimetatud faagiraamatukogu, kus on kokku umbes miljard faagi, millest igaühe pinnal on eri peptiid. Sellises raamatukogus leidub peptiide, mis on võimelised seonduma ükskõik millega: eri metallidest ja plastidest kuni komplekssete biomolekulideni. Kui me võtame nüüd näiteks kasvajaga hiire ja süstime selle faagiraamatukogu looma vereringesse, toimub selektsioon: kui faagi pinnal olev peptiid tunneb ära unikaalse molekuli, mida leidub peamiselt vähi veresoontes, siis hakkavad sellised faagid vähikoos akumulēeruma. Sisuliselt on tegemist kasvajate „postiindeksite süsteemi“ väljaselgitamisega.

2005.–2008. aastal tegime kolleeg Kazuki Sugaharaga sellise faagiraamatukogudega palju katseid eri vähimudelitel, peamiselt eesnäärme-, pankrease- ja rinnavähki kandvate hiirtega. Kõige paremad asjad juhtuvadki tavaliselt nii, et sa ei tööta päris üksi, vaid paarikaupa kellegagi, kellega saad hüpoteesi läbi arutada, vaielda, konstruktiivselt kritiseerida. Neid skriine tehes ja tulemusi arutades leidsime peptiidjärjestuse, niinimetatud C-end Rule- ehk CendR-järjestuse, mis lihtsustatult öeldes avab veresoonte väravad: suurendab ajutiselt veresoonte läbilaskvust.

Järgmiseks jõudsime kasvajaselektiivse CendR-peptiidini – panime sellele nimeks iRGD –, mille mõjul suureneb veresoonte läbilaskvus selektiivselt ainult kasvajakoes. See peptiid seondub kõigepealt kasvaja veresoontel avalduvate retseptorvalkude integriinidega, lõikub eriliste molekulaarsete kääride abil ja seondub seejärel neuropiliini-nimelise CendR-retseptoriga. Viimane seondumine põhjustabki vähi-veresoonte suurenenud läbilaskvust poole tunni kuni tunni aja jooksul.

Ja mõistsite, et seda teed kaudu võiks ravim vähki pääseda?

Algul nägime, et kasvajakoes hakkab akumulēeruma faag, millel avaldub iRGD-peptiid. Hiljem tekkis hüpotees, et kui manustada peptiidiga koos kontrastainet või ravimit, mis



Nanoosakeste kaardistamine hiire koelõikudel

muidu nii-öelda ülesvoolu ujudes vähki ei pääse, siis võivad need hakata samamoodi vähis akumuleeruma. Ja selgus, et peptiidiga koos manustades sai tõepoolest suurendada kõikide meie katsetatud ravimite ja kontrastainete transporti vähkkoesse vähemalt kaks korda ja mõnel juhul koguni kümneid kordi.

Kui nüüd mõelda, et lihtsa peptiidiga koosmanustamise abil on võimalik ravimi transporti kasvajasse mitukümmend korda tõhustada, võimaldab see ravimidoosi kümneid kordi vähendada ja vabaneda paljudest kõrvalnähtudest. Või siis vastupidi, olla endiselt kõrvalnähtude talutava piiri lähedal, aga saavutada hoopis parem terapeutiline efektiivsus.

Koosmanustamise korral on suur pluss asjaolu, et ravim ei ole vaja keemiliselt muuta. Kui me suudame näidata iRGD-peptiidi aktiivsust ravimiuuringus ühe ravimikombinatsiooni jaoks, on hiljem võimalik kasutada seda peptiidi universaalse ravimivõimendajana juba paljude kliinilises kasutuses olevate vähiravimite puhul.

Kui kaugele on sellega jõutud?

iRGD-peptiidi arendab kliiniliselt USA-s asuv San Diego ravimiarendusfirma Cend Therapeutics Inc., olen üks selle asutajatest ja teadusnõukogu liige. Kliiniline ravimiuuring pankreasevähi patsientidel on praeguseks jõudnud teise faasi, milles vaadatakse, kas meie leitud peptiid võimendab

koosmanustamisel ühe juba heakskiidetud ravimikombinatsiooni vähivastast toimet. Tegu on pika ja täpselt reguleeritud protsessiga. Kliinilistele uuringutele eelnes aastatepikkune prekliiniline töö; esimene faas kestis poolteist aastat, teine võtab ilmselt umbes kaks või kaks ja pool aastat ning sellele järgneb kolmas faas.

Ravimiuuringu esimeses faasis on fookus ravimi toksilisusel, eesmärk on olla kindel, et ravim ei põhjusta soovimatuid kõrvalnähte. Tegelikult hakatakse üldjuhul juba selles faasis vaatama, kuidas patsientide organism sellele ravimile vastab võrreldes ajalooliste andmetega. Pankreasevähi patsientide positiivne ravivastus meie kasutatud ravimikombinatsioonile on ajalooliste andmete põhjal umbes 25 protsenti. Kombinatsioonis peptiidiga nägime ravivastust üle 50 protsendil juhtudest. Väga paljulubav! Samas peab olema ettevaatlik, sest patsiente oli uuringu esimeses faasis vähe, pisut üle 30. Kui tõesti tuleks välja, et iRGD võimendab standardravi efektiivsust kaks korda, on tegemist väga olulise ja tuhandeid patsiente mõjutava edasiminekuga.

Kõige paremad asjad juhtuvadki tavaliselt nii, et sa ei tööta päris ükski, vaid paarikaupa kellegagi, kellega saad hüpoteese läbi arutada, vaielda, konstruktiivselt kritiseerida.

TAMBET TEESALU

- Sündinud 24. jaanuaril 1969 Kuressaares
- Lõpetas 1986. aastal Tartu 10. keskkooli
- 1991. aastal lõpetas Tartu ülikooli bioloogiateaduskonna
- 1993. aastal kaitses Helsingi ülikoolis magistritöö geneetikas
- 1995–1999 doktoriõpingud Helsingi ülikoolis ja osaliselt San Raffaele meditsiiniuuringute instituudis Itaalias Milaanos
- 1999. aastal kaitses Helsingi ülikooli arstiteaduskonnas doktoritöö „Molecular mechanisms of mouse trophoblast invasion“ („Hiire trofoblasti invasiooni molekulaarmehhanismid“)
- 1999–2002 Helsingi ülikooli arstiteaduskonna viroloogiakateedri järel doktor
- 2002–2005 Tartu ülikooli arstiteaduskonna närvikliiniku neurobioloogia vanemteadur
- Alates 2005. aastast Sanford Burnham Prebyse meditsiiniuuringute instituudi (La Jolla, California, USA) teadur, vanemteadur ja alates 2018. a külalisprofessor
- 2012–2018 Tartu ülikooli arstiteaduskonna üld- ja molekulaarpatoloogia instituudi (2012–2013), seejärel biomeditsiini instituudi (2013–2015) ning alates 2016. aastast bio- ja siirdemeditsiini instituudi külalisprofessor
- 2015. aastal kaasasutav ravimiarendusfirma Cend Therapeutics (La Jolla, California, USA) ja olnud sellest ajast saadik tegev ettevõtte teadusnõukogus
- Alates 2018 Tartu ülikooli bio- ja siirdemeditsiini instituudi nanomeditsiini professor
- Alates 2018 Santa Barbara California ülikooli nanomeditsiini keskuse külalisprofessor
- 2011. aastal pälvinud Susan G. Komen for Cure (USA) auhinna ja 2017. a teadustöö „Kullerpeptiidide väljatöötamine sihtmürgistatud vähiraviks“ eest Eesti riikliku teaduspreemia arstiteaduse alal
- Abielus, poeg ja kaks tütart

Millised teemad on praegu vähiravis veel aktuaalsed? Kuidas teie labor neisse panustab?

Kuumim valdkond vähiravis on praegu immunoteraapia. See on huvitav ja suure potentsiaaliga, sest immuunravi puhul me ei räägi sellest, et patsientide elumust natuke pikendada või kannatusi vähendada, vaid jutt on inimeste terveksravimisest. Terveks saab paraku aga ainult osa patsiente, mis tekitab küsimuse, kuidas aidata ülejäänud kahte kolmandikku või kolme neljandikku, kes immunoteraapiale ei allu. Üks võimalus võiks olla kasutada meie peptiide selleks, et muuta immunoloogiliselt külmi vähke kuuma.

Mida see tähendab? Niinimetatud külmade vähkide korral ei tunne immuunsüsteem vähirakke ära ega võitle nendega, mistõttu saab vähk vohada ja levida üle keha. Külma-des vähkides on kindlad rakupopulatsioonid, mis aktiivselt võitlevad sissetuleva immuunvastuse vastu. Küsimus on nüüd selles, kas me suudame oma peptiide kasutades immuunsüsteemi alla suruvate rakkude käitumist muuta.

Kui ma selles valdkonnas tööle hakkasin, siis me rääkisime palju lihtsalt vähiselektiivsetest kullerpeptiididest. Nüüd on fookuses aga juba kullerpeptiidide versioon 2.0. ehk siis vähikoesisene täppisteraapia. Vähis on meie seisukohast ju nii halbu kui ka häid rakke. Näiteks osa rakke blokeerib immuunsüsteemi võimet kasvajalisi rakke kontrollida, samal ajal kui teised rakud püüavad vähki välja tõrjuda. Me ei taha enam saata vähki üldist toksilist ravimit, mis tabab mõlemaid, nii häid kui ka halbu rakke, vaid püüame ajada asja vähi sees peenemaks ning tabada ainult üht või teist rakupopulatsiooni, et seda siis vajaduse järgi kas tugevdada või alla suruda. Lisaks on fookuses ka vähi rakuvahe-aine ehk see betoon, milles vähirakud peituvad.

Samas ei ole vähiravi sugugi ainus valdkond, millega tegelete.

Vähi kõrvale on nüüdseks tõesti tekkinud hulk teisi suundi. Oleme töötanud platsenta ja naha selektiivsete kullerpeptiididega, samuti on oluline märklaud olnud aju, ja uurimistemasid on muidugi veel. See oli ka põhjus, miks nimetasime paari nädala eest meie labori ümber täppis- ja nanomeditsiini laboriks. Selline nimi kirjeldab meie töö olemust paremini kui senine vähibioloogia labor.

Meie labor on interdistsiplinaarne: siin töötavad bioloogid, keemikud, biokeemikud, farmakoloogid ja meil on hea koostöö mitmete teiste ülikooliüksustega. Näiteks oleme teinud aastaid tihedat koostööd klinitsistidega: me võime küll õppida hästi ravima hiiri, aga on oht, et patsientidele ei ole sellest mingit abi. Seetõttu püüame juba oma töö suhteliselt varajases faasis kontrollida, kas meie hiires leitud peptiidid seonduvad ka inimese kasvajatega. Selleks saadetakse meile kasvajapatsiendist võetud koeproovid, millel saame peptiidi seondumist testida. Ja kui seondumine toimub, siis annab see meile hoogu, näitab, et selle asjaga tasub edasi töötada.

Kliinikumis on mitu rühma, kellega meil on tihe koostöö. Näiteks närvikliiniku kirurgide Toomas Asseri ja Tõnu Rätsepaga, onkoloogiakliinikus Olav Tammikuga, patoloogidega ja neid inimesi on veel. Mulle tundub, et suurepärase kliinilise koostöö võimalused on üks Eesti tugevusi. Näiteks USA-s oleks samasugust koostööd klinitsistidega kindlasti võrratult raskem teha.

Mulle meeldib meie töös see, et me ei tea kunagi, kuhu see võib meid viia. Hea näide on eelmisel aastal avastatud seos uue SARS-CoV2 viiruse ja varem mainitud CendR-peptiidide vahel. Nimelt avaldasime koos Helsingi, Müncheni ja Bristol viroloogidest kolleegidega juhtivas teadusajakirjas Science uuringu, kus näitasime, kasutades meie laboris aastate jooksul tekitatud reagente, et CendR-järjestused mängivad olulist rolli uue koroonaviiruse infektsiooniprotsessis. See avastus avab uusi ründepunkte võitluses viirusega.

Tulite omal ajal ülikooli õppima bioloogiat. Miks just bioloogiat ja kuidas jõudsite nanomeditsiini juurde?

Omaval ajal mõtlesin pikalt, kas minna õppima bioloogiat või hoopis metsandust, mis tundus toona loodusmehelikum suund. Peale jäi bioloogia ja ülikoolis hakkas mind kohe alguses paeluma molekulaarbioloogia. Suur võimalus avanes, kui sain pärast ülikooli lõpetamist minna Soome Mart Saarma instituuti üheksakuulisele biotehnoloogiakursuse-



Tambet Teesalu oma kabinetis, taustaks pere pesamuna joonistused ja perepildid

le. See oli Eestis üleminekuaja algus, 1991. aasta. Tegin seal nii kõvasti tööd, kui vähegi suutsin, ja siis hakkasid järjest avanema ka võimalused, kuhu edasi minna.

Doktorantuuri ajal uurisin Itaalias ja Soomes hiire embrüogeneesi jooksul aset leidvat rakkude invasiooni ja kude ümberkorraldumist: protsesse, mis sarnanevad nendega, mis leiavad aset vähkkasvajate puhul. Seejärel naasin Tartusse ja töötasin mõned aastad professor Asseri rühmas Tartu närvikliinikus vanemteadurina. Siis otsustasin end proovile panna Ameerikas ja see oli ülihea otsus. Sealne keskkond oli ülimalt motiveeriv, tekkis tunne, et kõik on võimalik.

Kõige selle taustal olen ma aga endiselt bioloog. Lihtsalt minu ettevalmistus ja lähenemine nanomeditsiini valdkonnale annavad loodetavasti komplekti vahendeid, millega lahendada selle valdkonna põhiline probleem: ravimite täppiskohaleviimine.

Kiitsite USA-s valitsenud töökeskkonda. Mis selle nii eriliseks tegi?
San Diego eeslinnas La Jollas asuv Sanford Burnham Prebyse meditsiiniuuringute instituut, kus ma töötasin, põhineb täielikult järel doktorantide uurimistööl. Kui inimene läheb järel doktorantuuri ühte maailma juhtivasse laborisse, siis ta teab, et ta ei lähe sinna raha teenima. Ta teab, et peab ennast tõestama ja et tal on selleks vaid mõned aastad. Aga kui sa lähed heasse rühma, siis on sul ka peaaegu piiramatud võimalused. See tähendab, et sa töötadki kogu aeg nagu hull, olenemata kellaajast või nädalapäevast. Ilmselt oleks raske töötada niimoodi eluaeg, aga need neli-viis aastat on see võimalik. Ja kui sa oled rühmas, kus on veel kümme kuni kakskümmend inimest, kes kõik elavad vaid töö nimel, on igal öhtul kella kümne-üheteist ajal laboris ja räägivad ainult teadusest, ka lõunapausi ajal, siis viib see paratamatult põnevate tulemusteni.

Ma kindlasti soovitan noorteadlastel minna mõneks

ajaks Eestist välja ja mitte lihtsalt kuhugi välja, vaid tippkohtadesse. Kui vaadata teadusmõtte arengut ja läbimurreteni viinud artikleid, siis on teaduses selgelt olemas dünaamiad. On juhtfiguurid, hargnevad perekonnad ja koostöövõrgustikud. Väljas käies saad võimaluse end näidata ja omaks saada, seejärel on võimalik ka Eestist jätkata väga hea teaduse tegemist ja osaleda sellistes perekonnavõrgustikes, eriti praegusel Zoomi-ajastul.

Eesti maine on selgelt tõusuteel. Juba ainuüksi selle aja jooksul, mis ma Eestis tagasi olen olnud, ehk vähem kui kümne aastaga, on siinse teadustöö kvaliteet tohutult muutunud. Meil on suur hulk väga häid rühmi, kes avaldavad teadustöid mainekates kohtades, ning mujalt tahetakse järjest enam siia tulla. See on suur muutus. Eesti teaduse frondi tulek on muljet avaldav.

Elate perega maal ja peate talu. Kuidas talutöö teaduse tegemisega kokku klappib?

Elame Tartust 40 minuti kaugusel, kus meil on suur ja kena põlistalu ning hulk koduloomi. Üks meie sõber, kes meil varatalvel külas käis, ütles, et kõik näeb välja nagu filmis „Eia jõulud Tondikakul“: oli lihtsalt üks ilus vaikne öhtu, langes vaikset lund, hobused hirnusid ja lambad kutsusid mind määgides öhtust kaera andma.

Rõõmu on palju, toidulaud on oma kätega kaetud ja läbi mõeldult korraldades töö konti ei murra. See talu on mulle nagu võlumaa, kus ennast laadida, ja ma ei tunne, et maal toimetamine aja mõttes kuidagi teadusega konkureeriks. Pigem on see heade mõtete kogumise koht: rutiinset käelist maatööd tehes tulevadki just eriti head mõtted. Boonuseks on, et talutöö annab võimaluse ilma ametlikult treenimata ennast heas vormis hoida. Kunagi tahtsin minna metsandust õppima, aga praegune elukorraldus on isegi parem: saan tööl teha põnevat teadust ja olla sellele lisaks looduses, nii palju kui süda lustib. •

Kaasasündinud süüfilis

Eestis on kesk- ja varauusaegsete linnakalmistute päästekaevamiste käigus enim leitud süüfilise tunnustega täiskasvanute skelette. Kuid vaid üksikud neist on kaasasündinud ehk kongenitaalse süüfilise juhtumid. Kaks terviklikku lapseluustikku on leitud Tartust.

Süüfilis on enamasti sugulisel teel leviv haigus, mida põhjustab spiraalikujuline bakter *Treponema pallidum*. Tõbe iseloomustab kolm staadiumi: esmane, teisene ja kolmandane süüfilis. Kaasasündinud süüfilise korral annab rase süüfilisehaige haiguse edasi lootele platsenta kaudu. Kongenitaalsel süüfilisel eristatakse kolme etappi: loote, varajane ja hiline kaasasündinud süüfilis. Haigus kahjustab mitut elundit, sealhulgas luid ja hambaid. Luud nakatuvad süüfilisega lümfisüsteemi ja vereringe kaudu. Kohtades, kus lümfisooned või -sõlmed on luudega ühenduses, näiteks reieluude, sääre-, pind-, rang-, küünarvarre-, õlavarre- ja kodarluude kaugmiste otste juures, leidub ka rohkem haigustunnuseid.

Kesk- ja varauusaegsete linnakalmistute uuringute käigus leitakse tihti süüfilise tunnustega täiskasvanute skelette. Neid ei ole küll palju, ent siiski tunduvat rohkem kui näiteks leepre- või tuberkuloosikahjustustega luid. Näiteks maa- kirikuaedadest (Kose) ja külakalmistutelt (Kaberla) on teada ainult üksikud süüfilisejuhtumid. Veelgi haruldasemad on kaasasündinud süüfilisega lapse luustikud. Enamasti ei ole vanalt või noorelt surnute luustikel näha tõve tundemärke, kuna need ilmuvad luudele alles pikema aja jooksul. Kongenitaalse süüfilisega skeletid on haruldased juba seetõttu, et tihti hukkub loode neljandal-viiel aastal raseduskuul või selle varases järgus.

2008. aastal leiti üks kaasasündinud süüfilisega 7–11-aastase lapse matus Tartu toomkiriku päästekaevamiste käigus ja teine 7–13-aastase alaealise luustik 2014. aastal Püha Jakobi kalmistult. Mõlemad leitud matused pärinevad tõenäoliselt varauusajast, 17.–18. sajandist. Luuliste muutuste ja laste vanuse põhjal saab järeldada, et haigus oli jõudnud kaasasündinud süüfilise hilisesse staadiumisse. Ilmnes kaks peamist haigusnähtu: luuümbrise põletik ja gummoosne osteomüeliit, mis olid enamasti kahjustanud sääre- ja reieluid, seejärel küünarvarreluid ja koljut.

Leitud lastel olid reie- ja sääreluudel klassikalised süüfilise tunnused: ettepoole kaardunud toruluud. Kaasasündinud süüfilisele omaselt olid kõige rohkem kahjustatud jäsemete pikad toruluud, kuid haiguskoldeid leidis ka aba- ja



FOTO: KRISTEL ROOG

Tartu toomkirikust leitud lapseluustiku reieluudel oli tugevasti kahjustatud keskosa ja kaugmine ots



FOTO: MARTIN MALVE

Süüfilisele iseloomulikud tunnused Tartu Püha Jakobi kalmistult leitud lapse õlavarreluudel

rangluul. Mõlemal alaealsel olid haigus- kolded näo- ja ajukoljul (ülalõua-, sarna- ja kiiluluul). Toomkirikust leitud luustikul olid nii üla- kui ka alalõualuul Mulberry molaarid (ingl *mulberry molars*), s.o koe mittetäielikust moodustumisest tingitud defektid esimestel tagapurihammastel. Hammaste väärarengud mängivad haiguse diagnoosimisel suurt rolli, eriti arheoloogilises materjalis, kuna hambad säilivad paremini kui luud ning seetõttu saab nende abil määrata kongenitaalsel süüfilisil. Teisel lapsel hammaste kahjustusi ei tuvastatud.

Süüfilise leviku kohta minevikus on võimalik teavet saada üksnes osteoarheoloogiliste uuringute abil. Tõenäoliselt on süüfilisejuhtude hulka alahinnatud, kuna luudel nähtavaid muutusi leidub ainult 10–12% juhtumitest. Viimased DNA-uuringud lubavad oletada, et süüfilis oli siinmail levinud juba 15. sajandil ning 18. sajandiks oli see üks enim levinud haigusi Eestis. •

 **Martin Malve**, Tartu ülikooli arheoloogia- osakonna osteoarheoloog

Kuidas sündis Oot-Oot Stuudio uus diivanvoodi **FOLD**



Vastab disainer Joonas Torim



Miks luua uus diivanvoodi, kui turul on juba niigi palju valikut?

Tõesti, maailmas on juba väga palju diivanvoodideid, aga kliendid üha küsisid, et millal meie valikusse mõni ilmub. Saime aru, et turult on puudu diivanvoodi, kus oleks mugav istuda, hea magada ning näeks sealjuures ka hea välja. Neid kolme omadust korraga saavutada pole kuigi lihtne.

Kirjelda Foldi disaini lähteülesannet.

Enamasti on diivanvoodid maani raamiga, ehk ilma jalgadeta. Meie soov oli luua midagi, mis mõjuks õhuliselt ja elegantselt. Kõrgetel jalgadel diivan, kus oleks ka päriselt mugav istuda. Kuid sama tähtis oli see, et magada oleks samuti hea, ja et diivan käiks voodiks lihtsalt ja kergelt ning süsteem oleks vastupidav.

Mis oli diivanvoodi arendamisel kõige suurem väljakutse?

Kõik oli suur väljakutse! Esiteks sobiva lahenduse leidmine. Valmis mehhanismid olid liiga nõrgad ja otsustasime spetsiaalselt oma metallraami toota. Heade proportsioonide loomine osutus parajaks katsumuseks, sest me ei soovinud istumismugavuses ja praktilisuses järelandmisi teha. See kõik võttis kaua aega, aga tasus ennast siiski ära!

Mis on sinu jaoks selle diivani kõige tähtsamad omadused?

Neid on palju! Kuid esiteks see, et sellel on ka päriselt hea istuda! Teiseks tugev ja vastupidav metallraam. Nii istumis- kui ka magamisosas kasutame keerdvedrusid, nii nagu päris voodi madratsitelgi. Magamisosas on 2 meetrit pikk, nii et mahuvad ära ka

pikad inimesed ja laius on 140 cm, mis on näiteks kattemadratsite standardmõõt. Kuid kogu funktsionaalsuse juures näeb Fold välja nagu tavaline diivan – õhuline, kaunis ja kutsuvalt pehme.

Kuidas tunda ära head disaini?

Siis, kui sa ei kõhkle! Ja siis, kui midagi pole valesti! Kõik ei saa olla kunagi õigesti, sest see on suhteline, aga hea disain on see, kuid midagi pole valesti.

Diivan Fold on kodumaise Oot-Oot Stuudio värskeim disain, mis on ühtlasi stuudio esimene diivanvoodi. Võimalik on valida sadade värvitoonide ja viie erineva jaladisaini vahel. Vaata lisa oot-oot.com või külasta Oot-Oot Stuudio salongi, mis asub Tallinnas, Rävala pst 7.





SILVER TÜRK

VIIES ELEMENT BOOR JA TERVIS

ALAMY / VIDA PRESS

USA California osariigis Boronis asuv Rio Tinto booraksikaevandus on maailma suurim avakaevandus

Perioodilisussüsteemi viies element on boor. Erinevalt paljudest teistest keemilistest elementidest ei ole boor tähtede toodang. Boor on tekkinud kosmiliste kiirte mõjul ja supernoova plahvatustes; see on universumis küllaltki haruldane. Tänu booriühendite heale vesilahustuvusele on boor siiski mõnesse maailma paika kontsentreerunud nii, et see on suhteliselt hästi kättesaadav.

Boorikaevandused asuvad Loode-Türgis, Hiinas Liaoningi provintsis ja USA-s, kus kaevanduslinn ongi saanud nime kaevandatava järgi: Boron. Booril on ka „oma“ vääriskivi: turmaliin. Boori roll rakueelse ja rakulise elu tekkes on oluslik nagu elu tekke teema isegi. Taimedele on boor hädavajalik mikroelement. Eksperiment pärmiga lubab arvata, et boor ei ole seentele vajalik. Loomse elu tarbeks ei ole boori hädavajalikkus tõestatud nii selgesti kui selle kasulik toime. Piltlikult öeldes pole praegu küllalt tõendusmaterjali väitmaks, et rott sureb boorita ära. Samas on piisavalt selge, et rotile on elu booriga parem kui boorita.

Boorhappe vastuoluline ajalugu meditsiinis

Meditsiinis ja toiduainetööstuses on kõige tähtsam boorhape või selle sool booraks. Ajaloo vältel on boori ja booraksit seepidi kasutatud mitut moodi. Booriühendite ajalugu ulatub Vana-Kreekasse. 20. sajandi alguses ja teise maailmasõja ajal oli boorhape tähtis säilitusaine, praegu ei ole boorhape toiduainetööstuses aktuaalne. Näiteks 20. sajandi alguse Briti impeeriumis oli lubatud lisada kuni 0,25% boorhapet kohvikooarele, aga mitte piimale, kuna piima tarvitatakse tavaliselt suures koguses. 19. sajandi lõpu Mercki manuaalis oli boorhappel mitu meditsiinilist rakendust. Mõni neist on levi-

BOOR MATERJALITEADUSES

Materjaliteaduses on boor tähtis element. Samamoodi kui süsinik ja lämmastik võivad boori väikesed aatomid suurendada sulamite kõvadust ja struktuuri sidusust, kui need paigutuvad suurte metalliaatomite vahele. Nii nagu paar protsenti süsinikku muudab raua teraseks, teeb paariprotsendiline boorilisand vasest terase tugevusega metalli. Kõrge sulamistemperatuuri poolest on boor keemiliste elementide esikümnes. Kõvaduselt jääb boor teemandile napilt alla, aga ta ei hakka kõrgel temperatuuril terases lahustuma. Nõnda sobib boor terase töötlemiseks paremini kui teemant. Kuigi süsiniknanotorud on tugev materjal, hävib selle struktuur kuumas gaasileegis. Samas võib boornitriidist nanotorudest koosneva materjali leegis heledalt hõõguma ajada, aga see ei mineta siiski oma struktuuri.

Klaasitööstuses saab booriühendite abil klaasi, mis kannatab järske temperatuurimuutusi (labori- ja köögiklaas) või pörutusi (nutitelefonide kaitseklaasid).

Booriühendid täiendavad sõjatööstuses keraamiliste soomuste materjalide valikut. Üks peamiselt boorist koosnev keraamiline materjal, alumiiniummagneesiumboriid $Al_{0,75}Mg_{0,75}B_{14}$, on ebahariliku struktuuriga: alumiinium seob boorist 20-küljelisi täringuid (ikosaeedrid), mille vahel olevaid õõnsusi täidavad paari-kaupa asetsevad magneesiumiioonid. See materjal on suhteliselt odav, sobib soojuspaisumise koefitsiendi poolest kokku terasega (pinna katmiseks), on väga kulumiskindel, libedam kui teflon ja juhib päris hästi elektrit. Töö käib mass-tootmise optimeerimise nimel, selle abil püütakse saada paremaid rootoreid, pumпасid, kirurgilisi instrumente ja ka näiteks arvutitööstuse seadmeid, mis n-ö ketravad ja koovad kulla nii peeneks pitsiks, et selle nägemiseks on vaja elektronmikroskoopi.

Boor on tähtis element ka tuumafüüsikas, sest suudab kinni püüda aatomituumi lõhkuvaid neutroneid. Seetõttu kasutatakse boori kontrollvarrastes, mille otstarve on taltsutada tuumatuld. •

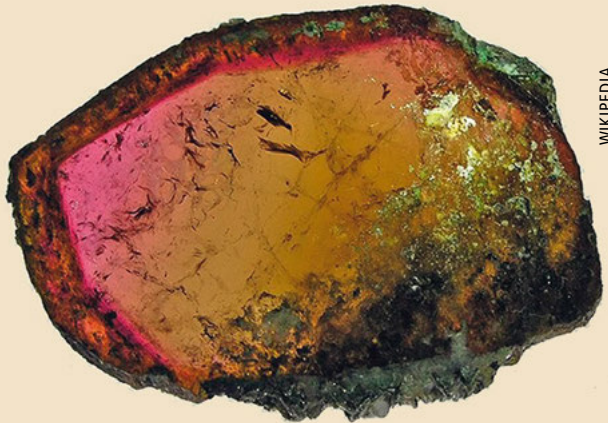


Booraksi kristallid. Booraks tekib soolaste veekogude, näiteks järvede ja kõrbealuste, soolade aurustumise ajal. See on peamine boorhappe allikas ja laialdaselt tarvitatav booriühend, mida kasutatakse teatud klaasisortide (näiteks tulekindla ja optilise klaasi) tootmisel, seebis ja vannisoolades, kosmeetikavahendites, ilmutites, nahatööstuses, väetistes, puidu ja tekstiili tuleohutusevahendina, metallurgias ning perboraatide lähteainena

VIDA PRESS / ALAMY

MITMEVÄRVLINE POOLVÄÄRISKIVI

Mitmed juveliiride kasutatud vääriskividest sisaldavad boori. Sinhaliit ja serendiibiit on saanud oma nime Sri Lanka sanskriti- ja araabiakeelse nimetuse järgi. Kõige tuntum boori sisaldav mineraal on turmaliin, milles leidub eri proportsioonis metallioone. Tema keemiline struktuur on suhteliselt vaba. Samal põhjusel on turmaliinid värvuselt väga mitmekesised: rauarikkamad on mustad või tumesinised, aga liitium võib anda helesinist tooni ning magneesium kollast. Kunstnike ja kivimikogujate seas on turmaliin hinnatud just vaheldusrohke poolest, kivi ise võib olla mitmevärviline, näiteks võib ta meenutada arbuusi: üks pool on roheline, teine pool roosa ning vahepeal riba värvitut turmaliini. Ameerika Ühendriikide juveliirid löid 1912. aastal sünnikivide tabeli. Nii sai oktoobrikuu sünnikiviks turmaliin. •



Turmaliin on hinnatud poolvääriskivi, kuna seda leidub mitmes värvitoonis, isegi üks kivi võib olla mitmevärviline

nud tänapäevalgi, näiteks tarvitus silmatilkade koostisosana, osa on läinud ajaloo prügikasti, näiteks kasutus epilepsia ravis.

Pärast teist maailmasõda leiti epilepsia ravis ebatõhusa boorhappe asemele uued arstimid. Booriuuringutes keskenduti eelkõige materjaliteadusele, tuumatehnoloogiale ja katseloomade mürgitamisele, seejuures jäid meditsiinilised aspektid ja orgaaniline keemia tagaplaanile.

Boori mürgisus

Boorhape on toimiv putukamürk, selles pole kahtlust. Inimestel on mürgistuse tekkeks vaja suuri koguseid: kuhjata teelusikatäis tekitab mürgistuse, peotäis tapab.

Boorhappe mürgisust võib võrrelda keedusoola omaga. Keedusoola kohta on teada, et see ei pruugi kõige paremini sobida kõrgvererõhktõve all kannatajatele. Seevastu boori kohta saadi 1904. aastal vabatahtlikke kaasanud uuringus teada, et pool grammi boorhapat päevas hakkas tekitama kõhuvalu ja -lahtisust.

Uuemad uuringud kinnitavad varasemat teadmist, et pikka aega kasutatud suured annused mõjuvad laboritõttide sigimisorganitele halvasti. Ühtlasi on tõendatud, et suuremad kogused – sellised, millega üritati vanasti epilepsiat ravida – on mürgised. Boori toksilisuse kohta on tehtud küllaldaselt uuringuid.

Kui boorhapat või booraksit tarvitada soolaga võrreldavates kogustes pikka aega seespidi, tekivad ebasoovitavad kõrvaltoimed. Eestis on üle 4,5% booraksisisaldusega tooteid hakatud pidama ohtlikuks; nende tarvitust peetakse vajalikuks ainult mõnel kutsealal. Ent USA-s on booraksi väikese toksilisuse tõttu ettekirjutustest loobutud. Äge boorimürgistus ilmneb

Eestis on üle 4,5% booraksisisaldusega tooteid hakatud pidama ohtlikuks; nende tarvitust peetakse vajalikuks ainult mõnel kutsealal.

täiskasvanud inimesel siis, kui süüa ühekorraga üks gramm boori (umbkaudu teelusikatäis boorhapat) päevas, lastel tekib mürgistus mõistagi väiksemate annuste korral. Kui päevane kogus on ligikaudu 375 mg, hakkab avalduma boori krooniline toksilisus.

Peetakse tõenäoliseks, et boor võib organismis konkureerida joodiga, mistõttu booriküllus võib suurendada joodipuuduse ohtu. Seda aitab ennetada soola jodeerimine (enamasti tehases) ja mereandide tarvitamine. Tähtis on teada, et väikelapsed ja raske neerupuudulikkusega inimesed on suurte boorikoguste suhtes tundlikumad. Seetõttu tuleb putukamürke ja puidukaitsevahendeid hoida laste eest; imikutele mõeldud toodetesse enam boorhapat säilitusainena ei lisata.

Ent näiteks 1970. aastatel pruugiti Austraalias imetavatele emadele mõeldud toodet, mis sisaldas rohkesti boorhapat. Seda toodet sisse söönud väikelapsed sattusid boorimürgistusega haiglasse. Seejärel reageerisid rahva tervise kaitsele asunud poliitikud veidi üle ning boor kuulutati 1981. aastal mürgiks, olenemata kogusest. Seda laadi mõtlemine ei ole kadunud ka tänapäeval eeskujulikuna tunduvates riikides, kus on suur lugemisoskus, laialdaselt levinud internet ja valitud rahvaesindajatel põhinev riigikord. Näiteks kulunud aprillinaljana levis maailmas laialt algatus keelustada divesinikmonooksiidid (vee keemiline nimetus, H_2O). 2007. aastal läks sellega tõemeeli kaasa üks Uus-Meremaa parlamendiliige ning 2011. aastal pidasid peaaegu pooled Soome parlamenti kandideerinuist vajalikuks see ühend ära keelata.

Boor on kasulik mikroelement

Praeguse seisuga ei ole Euroopa tervisehoiuamet ja maailma terviseorganisatsioon veel sätestanud boori soovituslikku annust, kuid kindlaks on määratud selle ohutu ülempiir: 10 mg päevas. Ohutu piirnorm on küll varuga, aga ka teaduse seisukohalt on selge, et suuremate annuste tarvitamisel pole mõtet. Pigem võiks imestada selle üle, et boorhape ja selle naatriumi sool on justkui ainsad „õiged“ ühendid siinpool Atlandi ookeani. Tõenäoliselt on asi selles, et nõnda on korralduslikult lihtsam kui hakata kõiki võimalikke ühendeid eraldi läbi vaatama.

Teaduskirjanduse andmetel on

boor kui mikroelement selgelt kasulik ja kõrvaltoimeteta. Türgis on piirkondi, kus vee boorisaldus on suur (kuni 29 mg/ml), kuid Euroopa Liidus on maksimaalne lubatud kontsentratsioon 1 mg/ml. Pinnase ja vee suur boorisaldus ei ole avaldanud sündidele ega laste arengule negatiivset mõju. Türgi teadlased on teinud kindlaks, et piirkondades, kus vesi on boorirohke, haigestuvad naised vähem emakakaelavähki, USA teadlased on märganud samasugust seaduspära eesnäärmevähi riskimarkeri PSA-taseme kohta. Terviseuuringu järgi oli boorikaevurite veres boorisaldus küll üle normi, aga verepildis ega suguelundites ei leitud negatiivseid muutusi.

Epidemioloogiauuringute põhjal kaasneb napilt boori sisaldava toiduga nigelam immuunsüsteem, suurem surumus, osteoporoos ja vähenenud vaimne suutlikkus. Muu hulgas viitab vaimse võimekuse vähenemisele uuring, mille siht oli välja selgitada, kuidas mõjub inimesele väikese boorisaldusega toit (0,25 mg boori / 2000 kcal) ja sama toit (liha, kartul, piim, riis, leib)

koos boorilisandiga. Boorilisandit saanud rühma liikmetel olid osavuse, lühimälu, pikaajalise mälu ja isegi tähelepanu näitajad paremad.

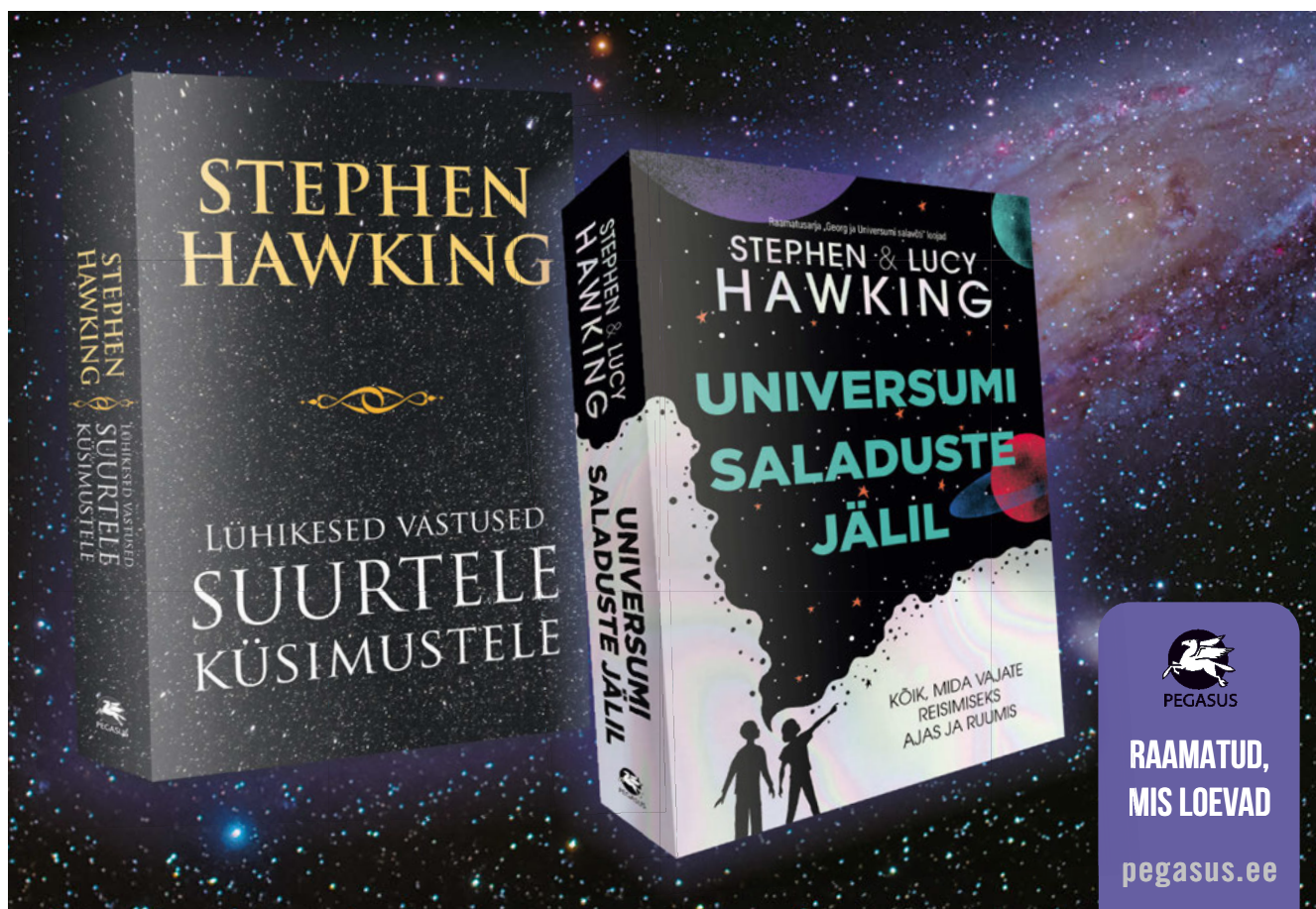
Boori toimet südame-veresoonkonnale on vähe uuritud, aga esialgsel andmetel mõjub boori tarvitamine soodsalt mitmele verepildi arvnäitajale, nagu halva HDL-kolesterooli tase. Boori mõjust ajule on samuti liiga vähe teada, kuid paaris uuringus on ilmnenud, et see parandab mälu nii rottil kui ka inimesel. Neid teadustulemusi tuleb siiski pidada esialgseks. Ehkki teadmised boori toimemehhanismide kohta on lünklikud, on selgunud, et boor takistab D-vitamiini ja kaltsiumi kadu, vabastab suguhormoone siduvalt valgult suguhormoone ehk testosterooni (rohkem meestel) ja östradiooli (rohkem naistel), soodustab kollageeni tootmist ja luude korashoiu eest vastutavate rakkude normaalset talitlust. Südame-veresoonkonda ja aju puudutavate võimalike soodsate toimete kohta on teadmised veel napimad.

Boor on eriti tähtis skeleti-lihassüsteemile

Kõige tähtsam on siiski mõju luudele ja liigestele. Suurfirmade toel ei ole boori kohta kogunenud andmeid aetud läbi seadusloome kadalipu, aga teaduskirjandusest saab lugeda väga selget seisukohta, et boor mõjub liigestele ja luudele soodsalt. Austraalias väikese boorisaldusega piirkonnas töötanud kirurgid kogesid, et boori toidulisandina tarvitanud inimeste luid oli raskem lõigata.

On tehtud loomkatse, kus rotid jaotati kahte rühma ja neile söödeti kaheksa nädala jooksul toidulisandit: esimesele rühmale anti tavapärast luude tihendamiseks mõeldud D-vitamiini ja kaltsiumi, teisele rühmale boori ja fluori segu. Seejärel mõõdeti surmatud rottide luude tugevust reie- luude murdmise meetodil. Teise rühma rottide luid oli raskem murda. See uuring on ainult üks kümnekonnast loomkatsest, mille kinnitusele muudab boor luud tugevamaks.

Boraat ei tee juba välja kujunenud verevarustusest ja ainevahetusest



hambaemali fluoriidi kombel enam tugevamaks, aga parandab sülje puhverdusvõimet. See võiks seletada, miks ei muutunud katseloomade hambad lisaboori manustamise tõttu tugevamaks, kuid inimeste kahjustatud hammaste uuringus leiti lagunenud hammastest anomaalselt vähe boori.

Peale selle on booril oluline toime kõhrele. On ilmnenu, et piirkondades, kus inimesed saavad toidu ja veega päevas 1 mg või vähem boori, esineb kõhre kulumist 20–70% juhtudest. Ent piirkondades, kus boori saadakse 3 mg kuni 10 mg, tuleb kõhre kulumisjuhtumeid ette alla 10%.

Väikeses katses, kus osales kakskümmend inimest, uuriti kaheksa nädala vältel 6 mg boorhappe mõju ja võrreldi seda platseeboga. Platseebost sai abi üks inimene kümnest, boori saanutest viis inimest kümnest. Teises uuringus anti arthroosihaigetele kaheksa nädala jooksul kord päevas 6 mg boori. Pärast uuringut ei vajanud kaks kolmandikku haigetest enam valu-ega põletikuvastaseid ravimeid ning kolmveerandil patsientidest paranes liikuvus ja paindumus; raskematest haigetest said abi ligikaudu pooled.

Boor joogives ja toidus

Nii booripuuduse kui ka kroonilise toksilisuse tagajärgede tõttu on tähtis jälgida boorisaldust joogives. Eestis on boorisaldus joogives kohati väike, kuid mõnes paigas ületab norme. Boori kõrgeim lubatud määr joogives on 1 mg/l, maailma tervishoiuorganisatsiooni soovituslik piirnorm on alla 0,5 mg/l. Ajakirja Eesti Loodus 2005. aasta aprillinumbris on kirjeldatud normidest suuremat boorisaldust neljakümnes Eesti veevargis. 2013. aastal leidis terviseameti andmetel selliseid veevärke kolm. Suuremates veevarkides on kasutusele võetud puhastusseadmed. Näitena võib tuua Virtsu, kus pöördosmoosil põhinev seade eemaldab veest liigse boori.

Rohkem boori leidub taimses toidus (kompleksühendites sahhariidide-

Omaduste põhjal võib boorist kujuneda uus D-vitaamiin ehk oluline tervise-parandaja, mille kahjulikke toimeid on tublisti ülehinnatud ning kasulikke toimeid liiga kaua alahinnatud.

BOOR PÕLLUMAJANDUSES

Põllumajanduses pruugitakse vesilahustuvaid booriühendeid väetisena. Mikroelementidele omaselt on seejuures vaja kasutada mõistlikku kogust: mitte liiga vähe ega liiga palju. Põllumajanduses on booripuudus üks tõenäolisemaid mikroelementide vajakajäämisi, aga see oleneb asukohast (Eestis ja Põhja-Euroopas üldse ei ole pinnas kuigi booririkas, aga Lääne-Eestis on kohati põhjavees boori rohkem kui piirnormidega lubatud), mulla tüübist (happelises ja liivases mullas on boori vähe) ja viljeldavast taimeliigist (näiteks raps ja õunapuu on boori suhtes nõudlikumad kui teraviljad).

Boorhappel on majanduslik tähtsus ka putukamürgina. Meega segatud boorhape on tasapisi, aga kindlalt ja tõhusalt (üksiti täiesti looduslik) toimiv mürk, mille abil saab lahti tarakanidest ja sipelgatest. Booriühendid on Eestis tarvitusel puidukaitsevahendite ja mikroväetiste koostises.

Boori on võimalik kasutada ka toodete kontrollimisel. Nimelt on booril kaks isotoopi, ¹⁰B ja ¹¹B, mille osakaal on maailma eri piirkondades isesugune. Nende isotoopide suhte abil saabki teha kindlaks näiteks veini või kohvi päritolu. •



Hibiskuseteed on hea booriallikas

ga), kogus oleneb pinnase boorisaldusest (väljaspool Lääne-Eestit on see väike). Loomses ja tugevalt töödeldud toidus on boori napilt. Suhteliselt palju boori on puuviljades (ka siidris), eriti viinamarjades, muu hulgas rosinaates ja veinis. Jättes kõrvale puuviljadest valmistatud kääritatud joogid, on Euroopa Liidu 10-milligrammist piirnormi lihtne ületada ka hibiskuseteed juues: piisab, kui juua alla poole liitri.

Toiduga seotud, aga siiski mõnevõrra teistsugune on olukord toidulisanditega. Euroopas võib toidulisandites booriallikana kasutada booraksit või boorhapet, päevase kogusena on luba-

tud kuni 10 milligrammi, minimaalset ja soovituslikku kogust ei ole kehtestatud. Boor kui toidulisand võiks parandada inimeste elukvaliteeti, suurendades skeleti vastupidavust koormusele ja ajahambale. Omaduste põhjal võib boorist kujuneda uus D-vitaamiin ehk oluline tervise-parandaja, mille kahjulikke toimeid on tublisti ülehinnatud ning kasulikke toimeid liiga kaua alahinnatud. •

 **Silver Türk** (1980) on meditsiinidoktor, Adeli rehabilitatsioonikeskuse füsioterapeut ja Boor Eesti OÜ juhatuse liige.



FOTO: HERKKI ERICH MERILA

EWERT SUNDJA MUUSIK JA HELILOOJA

Eks minu eriala ja teadust ole suhteliselt keeruline seostada. Samas, ka ühe popploo kirjutamine võib mõnikord paras teadus olla: milline on parajasti aktuaalne akordijärgnevus, millised on kuumad saundid või millisel sekundil peaks refrään algama, et raadiokuulaja kanalit ei vahetaks jne.

Lapsepõlvest meenuvad sõnaga „teadus“ kõige eredamalt vist Endel Lippmaa ja kahekroonisel olnud Karl Ernst von Baer. Ei oskagi täpselt öelda, miks. Või tegelikult oskan ikka: kahekroonisega sai alguses päris palju magusat osta ja seda, et Baer oli kuulus Eesti juurtega teadlane, korraliti ka piisavalt tihti. Lippmaad aga näitas ikka televiisorist, kui oli vaja midagi teadusteemalist kommenteerida.

Sellesse või veidi hilisemas perioodi jäävad ka minu „tea-

duslikud“ katsed Coca-Cola ja Mentosega ning fooliumpaberisse keeratud pakitäie tikuotstega, tagajärjeks korralik keemiline reaktsioon: plahvatus trammirataste või haamri all ja villis näpud. Kuid küllap tuleb oskus teadust iga päev enda ümber hoomata siiski vanusega.

Suure tehnikahuvilisena on mul olnud juba varasest east kirk autode, arvutite ja muude vidinate vastu. Hollandis elavalt tädimehelt saime üheksakümnendate esimesel poolel arvuti Commodore 64. See oli üle kümne aasta vana, aga oma suurepärase graafika ja helivõimekusega tegi see ikkagi enamikule toona ringelnud 286 tüüpi arvutitele silmad ette. Kirjutasin sellel esimesed lihtsad rakendused Basicu keeles, joonistasin piksel piksli haaval rastergraafikas pilte ja kasutasin algelisi muusikaprogramme. Midagi jäi sellest vist ka külge: arvutite kinni- ja lahtikruvimine, riistvaraliste komponentide vahetus ja tarkvara seadistamine pakub mulle siiani teatavat imelikku rahuldust.

Mulle meeldib, kui asjad saavad korda ja töötavad optimaalselt. Olen tänini oma tutvusringkonnas n-ö arvutiabi-meest, kellele helistatakse, kui mingisugune infotehnoloogiline mure vaevab. Paraku on viimasel ajal neid murekõnesid vähemaks jäänud, sest enamiku seadmete kodune remont on tehtud peaaegu võimatuks. (Paar kuud tagasi sain siiski võimaluse vahetada ära tütre iPhone'i esiklaas, pärast edukat sooritust oli uhke tunne: seda ma polnudki varem teinud.)

Sirvisin seda juttu kirjutades ka eelmisi selle rubriigi lugusid ja silma jäi Tiit Pruuli mõte panna ajalehtedesse horoskoopide kõrvale ka astronoomialehekülg. Kohustuslikus korras on seda raske teha, aga ideetasandil kirjutan sellele kahe käega alla. Kuigi internetis on praegu olemas põhimõtteliselt terve maailma teadus, vajab tavainimene selles infomüüris navigeerimisel ilmselt juhust. Kõlan ilmselt vanamoeliselt ja kindlasti ei soovi tsenseeritud muusikat, kuid siiski võib siin tõmmata paralleeli helikunstiga. Praegu võib lamemaalane avalikus ruumis süüdimatult oma rumalust eksponeerida ja kõõgis salvestav teismeline ühe klikiga oma esimesed katsetused kõigile avalikuks teha. Keelata seda ei saa ega tohiks, aga mingid filtrid võiks ehk siiski olla ... See on väga keeruline situatsioon.

Veidral kombel ei sattunud ma teismelisena Jules Verne'i teoseid lugema, alles eelmisel suvel viskasin perega puhkusele minnes seljakotti raamatu „20 000 ljööd vee all“ ja olen äärmiselt üllatunud, millise futuristiga oli tegu. Usun siiani, et kõik, mida inimesed on võimelised välja mõtlema, on võimalik ka ellu viia, varem või hiljem. •

MERI KUI INIMMÕJUTATUD KESKKONNA ETALON

Linnastumise mõjusid maismaa elusorganismidele on lihtne näha ja ära tunda. Elektriposti otsas pesitsev toonekurg on osa meie maastikest – kodune ja iluski. Muutused toimuvad aga ka mere sügavustes, näiteks võivad merekeskkonda tunduvalt rikastada naftapuurtornid ja tuulepargid. Iseküsimus, kas sellise rikastumise poole tasub tingimata püüelda.

Olen Saksa uurimislaeva pardal keset Põhjamerd, kusagil Suurbritannia ja Norra vahepeal. Taani rannikul ilmes-tasid meremaastikke tuulepargid, ent siin on igal pool sadu miile lagedat vett. Siiski kerkivad silmapiiri tagant aeg-ajalt esile naftat ja gaasi pumpa-vad platvormid. Emapilgul üksikud, kuid tegelikult on neid sadu.

Ehkki uurimislaev on suur, muutub mereelu pärast esimest nädalat üks-luiseks. Vaheldust pakub regulaarsete traalpüükidega põhjakihtidest välja ammutatav kirev liigirikkus, mis pa-neb loodusteadlasel silma särema.

Järjekordne teaduspüük toob traali-kotti paarsada kilo kalu. Teadlased, kes selgitavad välja kalastiku liigilist koosseisu, võtavad mitmesuguseid proove ja teevad analüüse, ootavad trümmis, et laevamehed saagi luugi kaudu sisse hiivaksid. Ootan koos teis-tega ja tunnen, kuidas luugi avanedes paiksub koos kaladega laevaruumi-

desse justkui pahvakas nafta- või masuudihaisu. Terve laev haiseb korra-ga nagu õlitöötlemistehas. Uuritavate kalade kohta pannakse kirja nii tun-tud kui ka tundmatuid haigusi, leidub naha- ja maksakasvajaid.

Puurtornid korallrahudeks

Evolutsioon on sadade miljonite aasta-te jooksul kujundanud inimese ja teis-te loomade (sh kalade) kehasid selli-selt, et organism tunneb pikka aega keskkonnas leiduvad mürgid ära ja suudab nende toimet mitmesuguste keemiliste reaktsioonide abil vähen-dada ja neid kehast väljutada. See on põhjus, miks me alkoholi juues või tänaval autode heitgaase sisse hinga-tes – muidugi evolutsiooni seisukohalt mõistlikes kogustes – ära ei sure.

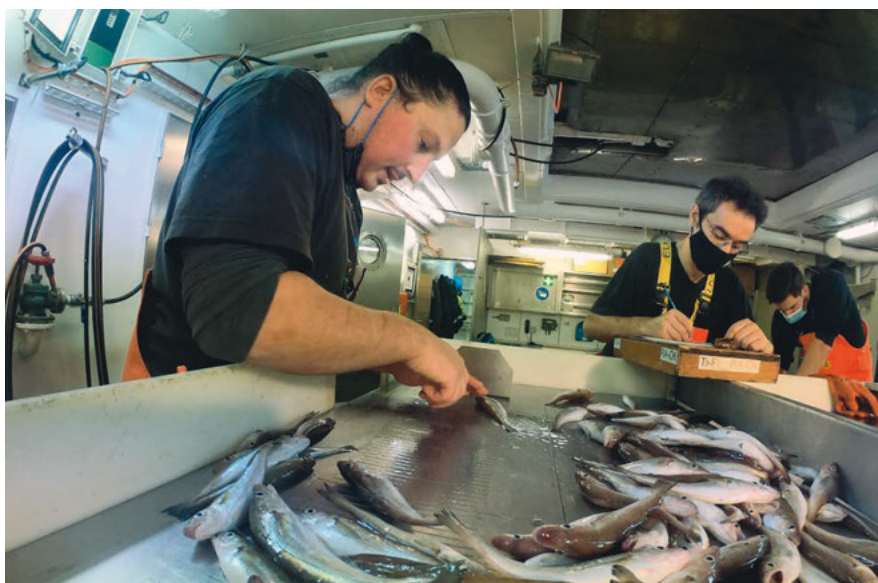
Needsamad mehhanismid kaitse-vad ka mereelustikku, kes on valinud elupaigaks naftaplatvormide lähedu-se: raskmetallid isoleeritakse spet-

siaalsete valkude, metallotioniinide abil, et nende halba mõju vähenda-da ja naftas leiduvad toksilised süsi-vesinikud muudetakse mitmesugu-seid funktsionaalrühmi lisades pare-mini vees lahustuvaks (biotransfor-matsioon), et neid saaks kehast välju-tada. Niisiis, haigustest hoolimata ei mineta mereloomad sigimisvõimet ja saavad üldjoontes eluga hakkama.

Paradoksaalsel moel on nii tuule-parkidest kui ka naftamaardlatest saa-nud omamoodi merekaitsealad, kus on keelatud kalapüük ja laevaliiklus, mis pole seotud puurtornide teeninda-misega. Nõnda toimivadki tornid uuds-ete biotoopidena, veealuste inimtek-keliste riffidena, kuhu kinnituvad tai-med, korallid ja selgrootud, kellele muidu n-ö tühjas meres elupaika ei leiduks. Nad panevad aluse rikkalikule kohalikule ökosüsteemile, kuid sellise elupaigaga käivad kahjuks kaasas nafta ja gaasi pumpamisest tingitud lekked, puurauku tehes tekkinud reos-tunud ja merepõhja ladestatud setted, müra, vibratsioon jms.

Puurtornid on elustiku ligimeeli-tajatena teada-tuntud fenomen. Sestap algatati Mehhiko lähel mõniküm-mend aastat tagasi programm „Rig-to-reef“, mille käigus ei monteerita vanu naftapuurtorne enam lahti, kuna see on kallid ja keerukas, vaid uputatakse ja jäetakse inimtekkeliste riffidena keskkonda rikastama. Nõnda toimida on lihtsam ja odavam. Win-win, võib ilmselt öelda, sest sel juhul ei lisandu kuigi palju uut reostust ega negatiiv-set inimõju.

Kõnealuse programmi raames on uputatud sadu tegevuse lõpetanud naftaplatvorme. Nende mõjusid seira-tes on selgunud, et nad annavad uute elupaikadena olulise panuse kalastiku mitmekesisusse. Sellegipoolest pole rahvusvaheliseks paisunud programm keskkonnakaitsjate vastuseisu tõttu leidnud heakskiitu kõikjal maailmas, näiteks California osariigis ja Põhja-meres. Keskkonnakaitsjad leiavad, et rig-to-reef justkui välistaks tootja vastu-tuse ja tähendaks, et too ei pea enda loodud looduskeskkonna kahjustusi kõrvaldama.



RANDEL KREITSBERG

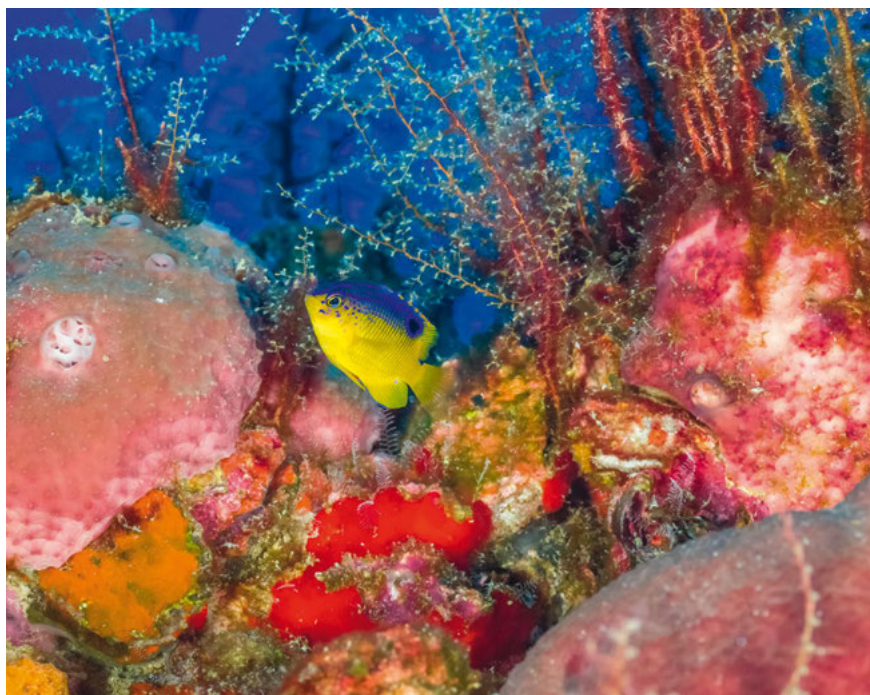
Teadlased loendavad saaki Saksa teaduslaeval Walther Herwig III. Iga traali esimesed 50 kilo tuleb isendi täpsusega kirja panna ja kaaluda. Pildil on teadlaste käed töös täis Põhjameres arvuka merlangiga (*Merlangius merlangus*). 2020. aasta detsembris toimunud ekspeditsioonil püüti kalu muu hulgas tuuleparkide lähivetest, mis osutusid erakordselt kalarikkaks

Veealused linnad keset „elutut“ avavett

Üks on kindel: ka veekeskkond urbaniseerub, üksiti siinsamas Läänemeres. Siingi leidub naftapuurtorne, rääkimata tuuleparkidest ja kalakasvandustest. Meresügavustest oma nišši otsivaid koralle, tõruvähke, vetikaid ja kalu võib niisiis õigustatult võrrelda elektriposti otsas pesitsevate toonekurgede ja kortermajade katustel elavate kajakate ja tuvidega. Samamoodi kui prügimägedel toituvad kajakad käivad merekalad sumpkasvanduste kõrval sumbast välja pudisevat toitu noppimas. Võib arutleda, kas selline veealune urbaniseerumine on ka ilus või soovitatav, kuid kindlasti on see efektiivne: seda mõõdetakse loomariigis järglaste saamise kaudu ja see on tähtis.

Paratamatult jääb esmapilgul mulje, nagu oleks toksiliste kemikaalidega elustikku mürgitav ja neid samas ahvatlev naftapuurtorn inimese loo-

Ka veekeskkond urbaniseerub, üksiti siinsamas Läänemeres: siingi leidub naftapuurtorne, rääkimata tuuleparkidest ja kalakasvandustest. Meresügavustest oma nišši otsivaid koralle, tõruvähke, vetikaid ja kalu võib niisiis õigustatult võrrelda elektriposti otsas pesitsevate toonekurgede ja kortermajade katustel elavate kajakate ja tuvidega.



VIDA PRESS / ALAMY

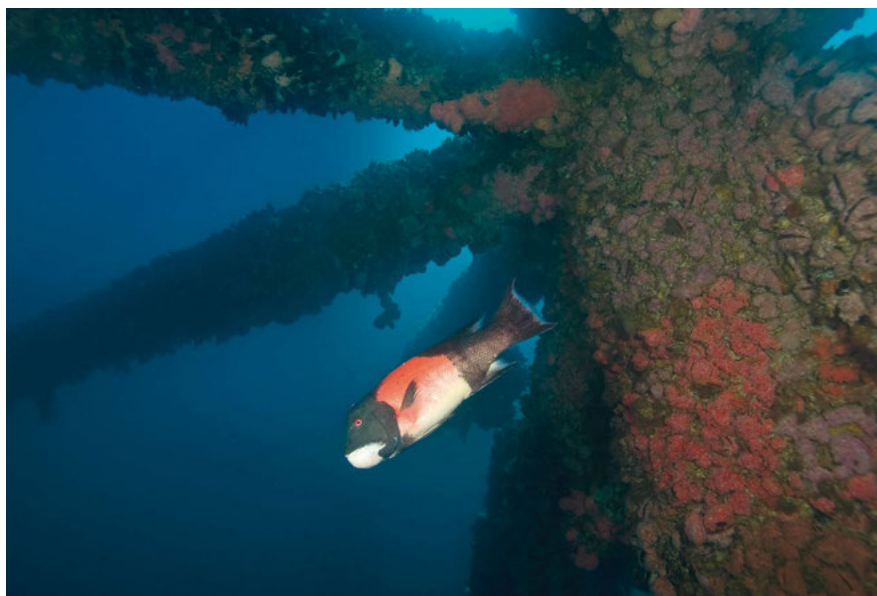
Programmi „Rig-to-reef“ raames uputatud vanad naftaplatvormid on aluseks uutele inimtekkelisele veealustele rifikooslustele. Veealused struktuurid kattuvad kiirelt mitmesuguste loomadega – isegi sedavõrd, et nende juurde tehakse merebioloogia huvilistele sukeldumisretki mereelu tundmaõppimiseks

dud ökoloogiline lõks. Seesuguse lõksu klassikalised näited on põllumajandusmaastikud, mis meelitavad ligi maas pesitsevaid linde, kelle pojad hiljem põlluharimise käigus hukkuvad. Või siis olukord, kus ookeani liivasel rannaribal koorunud kilpkonnajärgsed, kes on harjunud leidma tee ookeanini taevatähtede sära järgi (valel pool var-

jab kaldatimestik osaliselt taeva), juhitud kaugete linnatulede kumast ja lõpetavad oma esimese elupäeva tihnikus eksinuna või maanteel autoratade all.

Peibutava, kuid ohtliku mulje jätab ka puurtorn, kuid üksnes pealiskaudselt vaadeldes. On tõenäoline, et puurtornide reostusest ja teistest häiringutest põhjustatud valikusurve on väiksem kui võimalus leida mitmekesisest elupaika keset „elutut“ ja „tühja“ avavett ning sellistest inimtekkelistest „kaitsealadest“ liigid pigem võidavad.

Meri on urbaniseerunud: pidevalt muutuv ja arenev nagu maismaakeskkonnadki oma muutliku kliima ja lisanduvate liikidega. Ohustatud, kuid tuleb toime. Õnneks on sellest aru saadud ja hakatud, kuigi hiline misega, agaralt merealad planeerima, et merepõhi ühtäkki ei sarnaneks lennukiaknast nähtavate Euroopa maastikega: ruudulise lapiteki, mis on justkui joonlauaga mõõdetud ja siledaks lükatud. Paraku on detailsetelt merakaartidelt näha, et väga palju meil sellisest lapitekest enam puudu ei ole. •



VIDA PRESS / ALAMY

Naftaplatvormide varjus leiavad pelgupaiga ka mitmed pelaagilised ehk avavee kalaliigid, kes püsivalt neid alasid ei asusta. Akustiliste uuringute järgi varjuvad kalad platvormide alla eelkõige öisel ajal ning hoiduvad põhjalähedastes veekihtidesse

Randel Kreitsberg (1983) on Tartu ülikooli ökotoksikoloogia teadur, kelle teadustöö keskmes on keskkonnareostus ja selle mõju elusorganismidele, eeskätt kaladele.

BOSONID, FERMIONID JA IGAONID

Meie kolmemõõtmelises maailmas on kahte tüüpi osakesi: fermionid, mis üksteise seltsi ei salli, ja seltsiva loomuga bosonid. Kahemõõtmelise maailma osakeste loomaaed on aga palju rikkalikum, näiteks peale mainitute leiame sealt tujuka iseloomuga igaonid. Eksootilised igaonid võivad meil aidata luua töökindlaid kvantarvuteid.

Kõik meile tuntud elementaarosakesed jagunevad kahte liiki, mis toimivad eri moodi. India füüsiku Satyendra Bose järgi nimetatud bosonid armastavad üksteise seltskonda: ühes ja samas kvantolekus võib olla palju bosoneid. Raadiolaines või laserikiires on koos palju sama lainepikkusega fotoneid, mis kõik võnguvad ühes taktis. Ent itaallase Enrico Fermi järgi nime saanud fermionid on bosonitele vastupidi individualistid: ühes kvantolekus võib olla korraga ainult üks fermion.

Tänu fermionide sellisele omadusele on olemas Mendelejevi tabel. Kõik ühe aatomi elektronid tõmbuvad positiivselt laetud aatomituuma poole, kuid seltsimatu loomuse tõttu ei mahu nad kõik sellele võimalikult lähedale, vaid peavad paiknema hulga keerulisemalt. Seepärast ongi keemiliste ühendite mitmekesisus uskumatult suur. Osakese teeb bosoniks või fermioniks tema spinn: poolarvulise spinniga – nt $\frac{1}{2}$ nagu elektronil – osakesed on fermionid, täisarvulise spinniga – nt 1 nagu fotonil – aga bosonid.

Võimalusi on rohkem, kui läheme kolme asemel kahte ruumimõõtmesse. Selgub, et kahemõõtmelises maailmas võib osakese spinn olla suvaline. Nobelist Frank Wilczek on säärasele osakesele andnud inglise keeles nimeks *anyon*, mis tuleneb sõnast *any* 'iga'. Eesti keeles võiks sellise osakese nimetus olla *igaon*. (Me ei taha ju neid ajada segamini keemiast tuntud anioonidega!) Osake, mille spinn pole ei pool-ega täisarvuline, ei käitu mitte nagu fermion ega boson, vaid keerukamalt.

Üritades seda mõista, peame teadma, et kvantmehaanika ei ütle meile kindlalt, kus osake asub, vaid annab ainult tõenäosuse leida selle asupaik. See ei näita mitte meie teadmatust asjade „tegelikust“ seisust, vaid säära-

ne meie maailm ongi. Veel on meil vaja teada, et kahel ühesugusel osakesel ei ole võimalik põhimõtteliselt vahet teha. Kaks tilka vett näevad mikroskoobi all välja erinevad, aga kaht elektroni on võimatu eristada.

Kui küsime, kust võiks järgmisel hetkel leida kahte ühesugust osakest, ütleb kvantmehaanika meile, et ei saa kuidagi vahet teha, kumma osakese me ühest või teisest kohast leiame. Peame arvesse võtma mõlemad võimalused. Kuidas neid aga omavahel kombineerida? Kui mõlema võimaluse panused omavahel liituvad, on meil tegu bosonitega; ent kui maha lahutuvad, siis fermionidega (vt jooniseid). Kui vahetame osakesed uuesti omavahel ära, jõuame algseisu tagasi.

Kui hakkame omavahel ära vahetama kahte igaoni, tuleb algseisu jõudmiseks teha rohkem vahetusi. Näiteks kahte igaoni spinniga $\frac{1}{3}$ tuleb teineteise ümber keerutada kolm korda, et taastuks algne olukord. Igaonid mäletavad omavahelist liikumist!

See kõik on huvitav, kuid skeptiline lugeja võib nüüd küsida, miks peaks meid huvitama hüpoteetilised osakesed, mis eksisteerivad kahemõõtmelises fantaasiamaailmas. Meie vanas heas maailmas on ju teatavasti kolm ruumimõõdet. Skeptikute rahustamiseks on meil kaks argumenti. Esiteks, palju avastusi on tehtud just seetõttu, et mõni teadlane on olnud piisavalt hull ja lasknud kujutlusvõimel lennata, mõelnud loovalt. Võrdlus väljamõeldud maailmadega aitab mõista meie oma maailma erilisust.

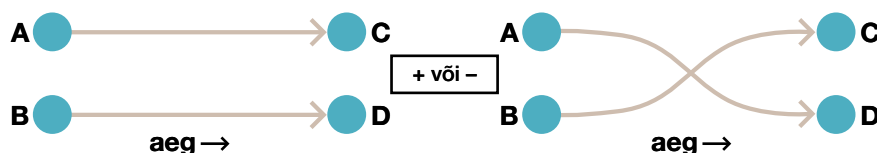
Igaonid ei ole mõistagi päris osakesed, sest nad elutsevad ainult materjali sees, mitte tühjas ruumis. Kuid omas maailmas on nad piisavalt „päris“.

Teiseks, füüsikas võime leida palju nähtusi, mida saab kirjeldada võrranditega, kus on kaks ruumimõõdet. Näiteks trumminahka, millel mõni rokkar soolot põristab, saab kirjeldada võnkuma kahemõõtmelise kilena. Kõige tuntum kahemõõtmeline kvantsüsteem on aga metall, mille pinnal esineb välise magnetvälja mõjul nn Halli kvantefekt. Sellises materjalis hakkavad juhtivuselektronid käituma nagu kahemõõtmelised tegelased. Edwin Halli „lapikmaailmas“ tegutsevad ka meie loo peategelased igaonid. Tegu ei ole mõistagi päris osakestega, sest nad elutsevad ainult materjali sees, mitte tühjas ruumis. Kuid omas maailmas on nad piisavalt „päris“.

Seda, et kahe ruumimõõtmega maailm on üsna eriliste omadustega, hakati mõistma 1970. aastatel. Siis selgitasid füüsikud välja, et vähem kui kolme ruumimõõtmega „maailmades“ ei ole iseeneslikke faasisiirdeid. Faasisiire on füüsikas selline nähtus, kus aine mingi omadus muutub kiiresti, nagu külmumine, magneetumine, ülijuhtivuse teke/kadu. Nii näiteks ei ole kahemõõtmelises maailmas ülijuhte. Üllatuslikult tegid füüsikud Michael Kosterlitz ja David Thouless selgeks, et kahemõõtmelises maailmas eksisteerivad hoopis uutmoodi kvantfaasisiirded (avastus pälvis 2016. a Nobeli auhinna).

Ilmneb, et kahemõõtmeline ruum on keerulisem kui kolmemõõtmeline. Kirjutisele lisatud joonisel on näidatud, kuidas erinevalt kolmemõõtmelisest lapsest ei saa kahemõõtmelise maailma lapsed kuidagi hüppenööriga hüpata. Kui me räägime igaonidest, siis seal on selleks nõõriks osakeste liikumistekonnad aegruumis ehk maailmajooned (vt joonisel hüppenööri hüpajatele järgnevat osa). Kui maailmajooned on ühtemoodi patsi punutud, ei saa neid kahemõõtmelises maailmas – erinevalt kolmemõõtmelisest –

Põimuvad maailmajooned ja igaonid

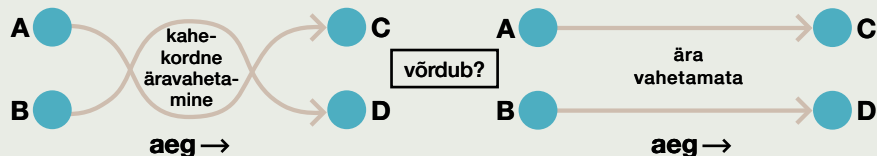


Milline on tõenäosus, et kaks eristamatut osake (näiteks kaks elektroni või kaks footonit), mis asuvad punktides A ja B, jõuavad punktidesse C ja D?

Kvantmehaanika järgi peame arvesse võtma kõik võimalused, mis annavad sama lõpptulemuse.

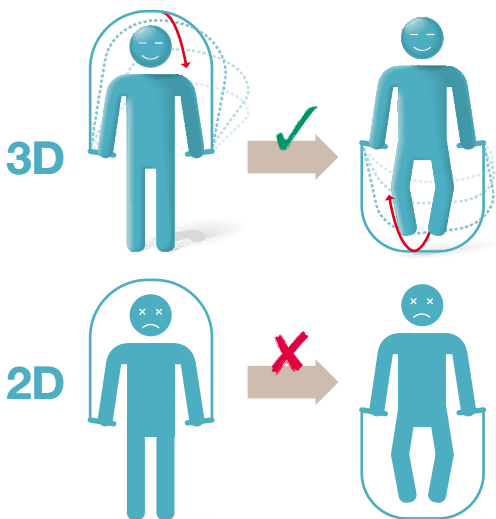
Võimalused jagunevad kahte klassi: ühel juhul jõuab punktis A olnud osake punkti C, teisel juhul punkti D.

Kui osakesed on bosonid, nagu foton, siis need panused liituvad omavahel, kui fermionid, siis lahutuvad.

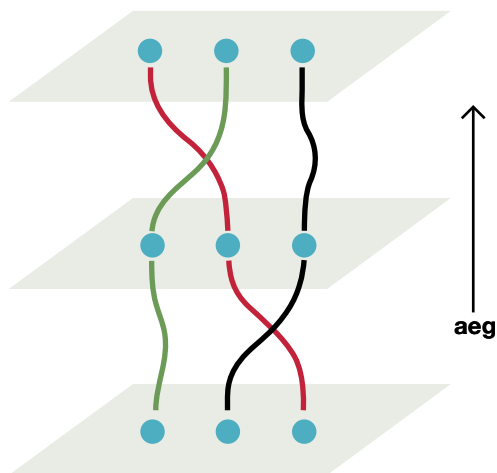


Kui osakesed omavahel kaks korda ära vahetada, saab sellise kahekordse vahetuse trajektoori kolmes ruumimõõtmes (ja ühes ajamõõtmes) lihtsalt lahti sõlmida. Et kõik oleks kooskõlas, saab osakeste ühekordse äravahetamise korral tulla sisse ainult kordaja kas $+1$ või -1 , kuna $1 \times 1 = -1 \times -1 = 1$. Esimene võimalus annab fermionid ja teine bosonid.

Kuid kahes ruumimõõtmes (ja ühes ajamõõtmes) ei ole võimalik trajektoore lahti sõlmida. See annab rohkem võimalusi ja tulemuseks on igaonid.



Kolmemõõtmeline laps saab hüppenõõriga hüpata, kahe mõõtmeline aga mitte. Samamoodi ei anna lahti põimida igaonide trajektoore kahemõõtmelises ruumis.



kuidagi lahti harutada. Kahemõõtmelises maailmas takerduvad maailmajooned osakeste vahetamisel üksteise taha. Sellest tulenevadki igaonide harjumatud omadused meie, kolmemõõtmeliste tegelaste jaoks.

Kas igaonidest võiks olla ka prakti-

list tulu? Arvatakse, et neid saab tulevikus ära kasutada kvantarvutites. See on niisugune arvutusmasin, kus kasutatakse ära mikromaailma (kvant)veidrusi, ennekõike osakeste omavahelist (kvant)põimitust. Häda on aga selles, et kvantpõimitus kaob kohe, kui kvantarvutis arvutusi toimetavaid osakesi tabab kasvõi üliväike häiritus väljastpoolt (mäletate ju Schrödingeri kassi, kes kasti avamisel peab kas surema või elama). Füüsikud on näidanud, et sellised osakesed nagu igaonid on palju tõhusamalt kaitstud igasuguste häirituste eest, mida keskkond paratamatult põhjustab. Igaonide olemust kaitsevad nende erilised omadused: juhuslik

soojusliikumine maailmajoonte patsinaljalt läbi ei löika! Neid kasutavat – seni veel unistuste masinat – kutsutakse seetõttu topoloogiliseks kvantarvutiks. •

Andi Hektor (1975) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi vanemteadur; tema teadustöö põhisuunad on osakeste füüsika, astroosakeste füüsika, kosmoloogia, kosmilised kiired ja andmete adus.

Kristjan Kannike (1978) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi vanemteadur, keskendunud osakeste füüsikale, kosmoloogiale ja varajase universumi füüsikale.

Füüsikud on näidanud, et sellised osakesed nagu igaonid on palju tõhusamalt kaitstud igasuguste häirituste eest, mida keskkond paratamatult põhjustab.

Rahhiit: „kehva toidu ja halva õhu tagajärg“

Paljudele keskealistele meenub lasteaiapäevilt ärevus, mis tekkis siis, kui kasvatatädi lapsed rivvi kamandas, et anda kõigile sama lusikaga ebameeldivat „rohtu“ – kalamaksaõli. Praegu on asi lihtsam, sest õli on kapslitesse suletud.

Tursamaksast saadav õli kuulus väidetavalt juba viikingite toidusedelisse. 18. sajandil kasutati seda juba ka ravimina, esialgu välispidi, sajand hiljem aga seespidi. Edaspidi tarvitati tursamaksaõli imerohuna paljude tõbede vastu. Ju siis olid A- ja D-vitamiini puudusest tingitud hädad küllaltki levinud.

Ohtlik lastehaigus

Keskendugem siin neist viimasele – D-vitamiinile, mida leidub inimorganismis kahes vormis: ergokaltsiferooli (vitamiin D₂) ja kolekalsiferoolina (D₃). Hormoonina toimivat D-vitamiini saame toiduga (kalarasv, munad, pärm), kuid oleme võimelised seda ka ise oma nahas ultraviolettkiirguse toimel kolesteroolist sünteesima.

D-vitamiin on organismile vajalik selleks, et omandada fosforit ja kalt-

siumi – mõlemad elemendid on olulised luude tugevdamiseks. D-vitamiini puudust seostatakse paljude tõbede ja sündroomidega, sh teist tüüpi diabeedi ja kõrgvererõhktõvega. Tuntuim D-vitamiini vaegusest põhjustatud haigus on rahhiit, mis on eriti ohtlik kasvueas lastele, sest pärsib luustiku väljakujunemist. Enim on rahhiiti 3–18 kuu vanustel lastel. Täiskasvanute puhul kasutatakse terminit „osteomalaatsia“ ehk „luupehmunus“.

Peeter Hellati 1913. aastal ilmunud esimeses põhjalikus eestikeelses organismi toimimist käsitlevas raamatus „Tervise õpetus“ (sealt on pärit ka siinse artikli pealkiri) on kirjeldatud rahhiidi tuntud sümptomeid: o- ja x-jalgust. Rahhiidist annavad märku ka koljulõgemete aeglane kokkukasvamine ja hulk liigestel avalduvaid sümptomeid, mis on lastearstidele hästi tuntud. Kui laps ei saa ravi, võib kasv pidurduda, häirub hammaste areng ning võimalikud on mitmesugused luustikudeformatsioonid ja vaimne alaareng.

Inglise töbi

Rahhiidi esmakirjeldajaks peetakse kreeka arsti, günekoloogia ja sünnitusabi isa Soranost Efesosest: ta mainis deformeerunud luudega lapsi juba meie ajaarvamise alguses. Iseseisva haigusena kirjeldati rahhiiti siiski alles 1645. aastal Inglismaal. Peatselt mõisteti sedagi, et tegemist ei ole nakkushaiguse ega vanematelt lastele üle mineva hädaga.

Tööstusrevolutsiooni ja linnastumise käigus kujunes rahhiidist suur nuhtlus. Peeter Hellat on kirjutanud, et rahhiidisümptomitega lapsi kohtab „linnades ja ka maal, kus vaene rahvas elab“. 19. sajandil põdes rahhiiti usutavasti koguni 80% Inglismaa lastest. Neil, kes surid enne pooleteiseaastaseks saamist – ja neid ei olnud vähe! –, olid peaaegu kõigil selle tõve sümptomid. Paljudes keeltes tuntaksegi rahhiiti „inglise tõvena“. Kreekaakeelne *rachitis* (*rhakhis* 'selg(roog)') on tuletatud 17. sajandil haiguse ingliskeelsest nimest *Rickets*, mille algupära on ebaselge.

Rahhiidi põdemine kujutas suurt ohtu vaesematest oludest pärit naistele, sest tõve tõttu võisid deformeeruda vaagnaluud ja ka luuline sünnituskanal. Raskematel juhtudel muutis see võimatuks loomuliku sünnitamise. Sellistel puhkudel püüti ema päästa sündiva lapse eemaldamisega läbi sünnituskanali, mis oli lapsele hukatuslik. Räägime 19. sajandist, ajast, mil keisrilõige ei olnud veel levinud, rases-tumisvastaseid vahendeid taunivad moraali jutlused võtsid aga juba hoogu. Tänapäeval saavad meditsiiniloolased sarkastiliselt märkida, et samal ajal kui ühiskonnas tänitati preservaatiivide tarvituse teemal, seisnes meditsiini pakutud mõistlik raseduse ärahoidmise alternatiiv sündiva lapse tapmises ...

Ka praegusajal on D-vitamiini puudus üks enneaegsete sündide ja rasedustoksikoosi riskitegureid ja keisrilõike näidustusi.



Kalamaksaõli pudel 1970. aastatest

EESTI TERVISHOIMUUSEUM



D-vitamiini puudusest on vasakul ja paremal seisva lapse luud pehmenenud ja deformeerunud võrreldes normaalselt arenenud lapse omadega pildi keskel

WIKIPEDIA

„Päikesevannidest“ „päikesetilkadeni“

Ehkki rahhiidi seoseid halbade elutingimustega tajuti juba ammu, kulus otsese põhjuslikkuse leidmiseks omajagu aega. Teed näitas teadlastele rahvameditsiin, kus kalamaksaõli oli ime-ravimi staatuses. Tulemuse toonud uuringuid suunas Briti valitsus, kelle tellimustööd täitev Edward Mellanby tõestas 1913. aastal, et rahhiidi sümptomeid saab kaotada katseloomadele tursamaksaõli andes. Samal ajal avastati tursamaksaõlist aine, mida hakati hiljem nimetama A-vitamiiniks, ja esialgu peeti just seda rahhiidi ravimiks. Alles 1922. aastal tõestati, et rahhiiti ei ravi mitte A-vitamiin, vaid hoopis üks teine ölis leiduv oluline komponent – vitamiin, mis avastati neljandana ja sai seega tähestikulises järjekorras tähiseks D.

Rahhiiti on peetud ka „halva õhu“ haiguseks. On oletatud, et rahhiidi suur levik 19. sajandi Inglismaal ei olnudki tingitud niivõrd vitamiinivae-sest toidust, kuivõrd saastunud atmosfäärist: suduse õhuga tööstuslinnades ei jõudnud päikesevalgus inimesteni.

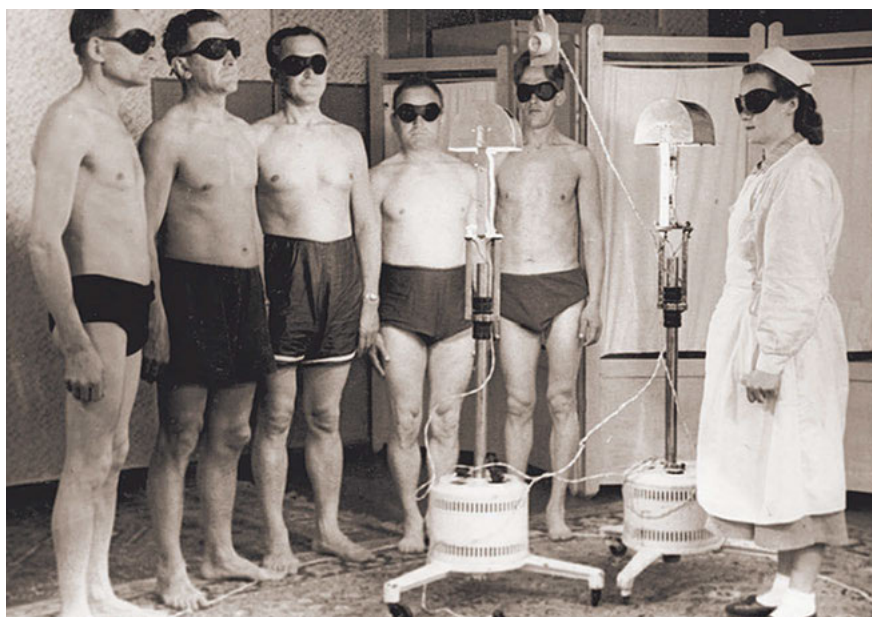
Saksa lastearst Kurt Huldsky

D-VITAMIIN JA NAHAVÄRV

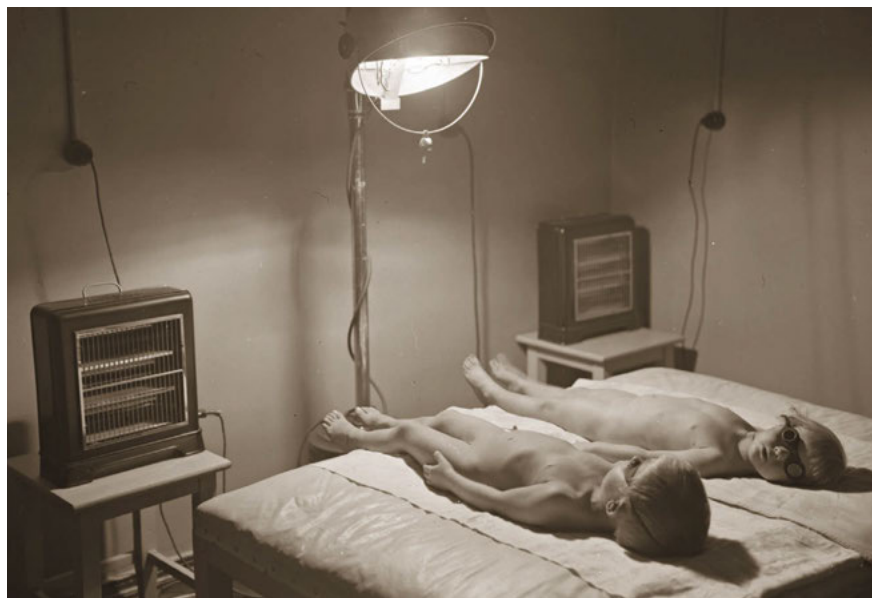
Inimese võime ise päikesevalguse toimele D-vitamiini sünteesida on etendanud olulist osa Maad asustavate rahvaste nahavärvi kujunemisel. Võib eeldada, et alginimesed olid tumeda nahaga. Nahas sisalduv melaniin kaitses neid Aafrikas liiga intensiivse ultraviolettkiirguse eest (teame, et see võib tekitada nahavähki). Õiges koguses on päikeseikiirgust aga vaja D-vitamiini tootmiseks. Nii saidki Aafrikast vähem päikeselistesse piirkondadesse rännanute hulgas eelise need, kelle nahas oli vähem ultraviolettkiirgust kinni pidavat melaniini. Ajapikku kujunesid välja heleda-nahalised põhjarahvad. Siin peitub ka põhjus (peale suhtelise vaesuse), miks tänapäeval on Euroopas ja Põhja-Ameerikas rahhiidi riskirühm eelkõige tumedanahalised.

Sama loogika seletab, miks rahhiiti on rohkem rahvastel, kelle kombe-ruumis on tavaks oma keha katta (eriti siis, kui nad on rännanud vähem päikeselistesse maailmajagudesse).

Ent D-vitamiini vaegust võib tekitada ka liigne UV-kaitsega kreemide tarvituse ja mis tänapäeval kõige tavalisem, toas „arvutis istumine“.



Täiskasvanute valgusravi. NSV Liidus valmistatud UV-lampide süsteemi oli ette nähtud kasutada inimestel, kes töötasid polaarjoonest põhja pool vähesel loodusliku valguse oludes



Valgusravi protseduur emade nõuandlas Tallinnas Laial tänaval

hakkas rahhiiti põdevaid lapsi tehisvalgusega ravima juba 1918. aastal. Saksamaal, kus rahhiiti oli samuti laste seas üldlevinud, arvati „päikesevanne“ aitavat paljude hädade vastu. Alles 1925. aastal mõistsid teadlased, et päikesevalguse mõjul on organism võimeline D-vitamiini ka ise nahas sünteesima. Edaspidi sai kvartslambi tekitatud osoonilõhnast ja mustade klaasidest prillidest veel üks seik, mida lasteaiast meenutada.

1920. aastatel hakati ultraviolettkiirgusega töötlemata ka toiduaineid, et tekitada neis D-vitamiini. Töödeldud piim, kaerahelbed jms levisid laialt. Üldise elujärje ja keskkonnatingi-

muste paranemise kõrval oli see ilmselt üks olulisi tegureid, miks rahhiidi rasked vormid pärast teist maailmasõda arenenud maailmast taandusid. Siiski tuleb teatavas vanuses lapsi (aga ka täiskasvanuid, nt taimetoitlasi) endiselt jälgida ja anda neile vajaduse korral toidulisandeid. D-vitamiini puudus võib tekkida näiteks ainult emapiima saavatel lastel, sest rinnapiimas ei leidu seda vitamiini piisavalt. Evolutsioon on niimoodi korraldanud, et rinnalapsed peaksid saama iga päev mõned minutid päikese käes olla. •

✍ Ken Kalling, meditsiiniajaloolane

URMAS LIPS

MITMEKIHILINE MEREUURIMINE

2005. aasta 13. juulist pärit satelliidipilt
Gotlandist. Veeõitsengu tõttu on saart
ümbritseva mere keeriseline pinnakiht
hästi nähtav
NASA

Miks merd uuritakse? Inimestel on läbi aegade olnud huvi teada saada, mis on merede taga, mis on peidus nende pinna all ning millised on ookeani ja merede kui keskkonna ja ökosüsteemi toimimise seaduspärasused. Peale loodusteadusliku huvi on tänapäeva mereuuringud ajendatud üha enam süvenevatest keskkonna-probleemidest, et merd saaks kasutada jätkusuutlikult. Murekohti on palju, alates üleilmsetest kliimamuutustest ja vähenevast elurikkusest kuni kohaliku tähtsusega reostusjuhtumite ja mõne üksiku liigi või elupaiga hävimiseni.

Et saada majanduslikke hüvesid, oleme aegade jooksul kasutanud merd kui loodusvara, näiteks püüdnud kala, rakendanud neid laevateedena ja energia tootmiseks. Sama soovime teha ka tulevikus ja ühtlasi lihtsalt nautida merd kui looduskeskkonda. Muutusi meres ongi vaja uurida seetõttu, et osata teaduspõhiste otsustega mere heale käekäigule kaasa aidata. Sestap on loomulik, et Eesti mereteadus ja teadlaskond on tugevad.

Millised avastused või uued teadmised on ümber kujundanud meie arusaama ookeanide ja mere muutlikkusest? Mida huvitavat mereteadlased praegusajal uurivad? Algul oli meresõidu ja merede tundmaõppimise eesmärk avastada uusi maid ja nende rikkusi. Hiljem hakati maadeavastajate ekspeditsioonidesse kaasama teadlasi. Muu hulgas tegid meresõitjad vaatlusi ilma ja mere seisundi kohta. Nende tähelepanekute põhjal ilmus nüüdisaegse okeanograafia ja meremeteoroloogia isaks peetava Matthew Maury sulest 1855. aastal „Maailmamere füüsikaline geograafia“. Selles teoses on kirjeldatud meretuulte ja -hoovuste seaduspärasusi.

Info kogumine selle kohta, mis on merepinna all, st ookeanipõhjas ja veesambas, sai alguse uurimisläveva Challenger ekspeditsiooniga aastatel 1872–1876. Sel uurimisretkel mõõdeti paljude ookeanipiirkondade sügavust ja analüüsi veeproove. Nõnda leiti, et vees lahustunud soolade suhteline sisaldus on kogu maailmameres peaaegu ühesugune. Avastus võimaldas kõikide lahustunud soolade analüüsimise asemel mõõta merevees ainult kloriidide sisaldust ja määrata selle põhjal soolsust.

Teadusekspeditsioonidel on tavaliselt selged eesmärgid, kuid sageli kujuneb retkel tehtud mõõtmistest tähtsamaks mõni esmapilgul kõrvaline tulemus. Näiteks Norra maadeavastaja Fridtjof Nanseni uurimisretkel pandi pidevalt kirja andmeid tuule ja asupai kohta ning see andis materjali, mille põhjal sai formuleerida tuultest tingitud mere pinnakihi triivhoovuste teooria. Nn Ekmani teooria järgi on tugeva ja püsiva tuule mõjul avaookeanisi merepinnal tekkinud triivhoovus suunatud põhjapoolkeral 45 kraadi tuule suunast paremale ja lõunapoolkeral 45 kraadi vasakule.

Teooriat ajendas sõnastama arusaam, et selliste suure mastaabiga triivhoovuste dünaamikas mängib olulist rolli maakera pöörlemisest tingitud Coriolisi jõud. Vahel on mõtetetulemused nii ootamatud, et neid peetakse mõõtmisvigadeks ega võeta arvesse. Nii juhtus esialgu näiteks mõõtmistega, mis näitasid, et Atlandi ookeanis Kanaari basseinis on umbes 1000 m sügavusel vesi soolasem ja soojem kui 500 m sügavusel. Hiljem, kui temperatuuri ja soolsuse vertikaalseid profile hakati registreerima suurema täpsusega, saadi aru, et tegu on Vahemerest välja voolanud sooja ja soolase veemassiga, mis võib ookeanis kuude jooksul läätsekujulise keerisena edasi eksisteerida just 500 kuni 1500 m sügavusel.

Ookeanidünaamika mõistmine

Kiirgusvoo erinevus ekvaatori ja pooluste vahel ning globaalsed tuultesüsteemid koos maakera pöörlemisega määravad suuresti püsihoovuste mustreid ookeanis. Kuid väga suur osa liikumiste energiast on nn mesomastaapsetes keeristes, millel on tähtis roll sooja ja soola (ka muude ainete) ülekandes ning horisontaalses segunemises. Mesomastaapsed keerised avastati, tehes ookeanis korrapärasel uurimisalade võrgustikul uurimislaevadelt mõõditusi. 1970. aastatel tehti Eesti mereteadlaste osalusel kindlaks, et need keerised on ka Läänemeres.

Atmosfääris on sama laadi nähtused tsüklonid ja antitsüklonid, st ulatuslikud keerised, mis kujundavad meie ilma. Nüüdisajal on ookeani- ja merekeerised satelliidipildidel hästi nähtavad: ookeanis on keeriste ulatus ligikaudu 100 km, Läänemeres umbes 20 km. Öhu või vee paneb liikuma rõhu erinevus piirkondade vahel. Keeristes on horisontaalne rõhugradient ja maakera pöörlemisest tulenev Coriolisi jõud enam-vähem tasakaalus.

Viimase poole sajandi jooksul on hakatud ookeani dünaamikat, arengukäiku üha paremini mõistma tänu matemaatilisele modelleerimisele ja kaugseirele. Numbriliste mudelitega oskame tänapäeval suure täpsusega ennustada mere veetaset ja tormide põhjustatud üleujutusi rannikualadel. Keerulisem on modelleerida neid nähtusi, mille puhul etendab olulist osa veesamba kihistumine. Vahe on selles, et veetaset saame ennustada piisavalt täpselt, arvestamata merevee tiheduse erinevusest tulenevaid mõjusid liikumisele, st liikumised on barotroopsed. Selleks et imiteerida vertikaalse stratifikatsiooni kujunemist ja selle muutusi, sh barokliinsusega seotud keeriseid ja fronte ning vertikaalset ja horisontaalset segunemist, on vaja suure täpsusega numbrilisi mudeleid ja võimsaid arvuteid. Mesomastaapsetes protsesses tõlgendavate mudelite abil kirjeldatakse nii ookeani kui ka Läänemere dünaamikat. Tänu järjest suuremale täpsusastmele on selgunud, et ka mesomastaabist väiksema ulatusega liikumiste muster on väga mitmekesine.

Teadusekspeditsioonidel on tavaliselt selged eesmärgid, kuid sageli kujuneb retkel tehtud mõõtmistest tähtsamaks mõni esmapilgul kõrvaline tulemus.

Numbriliste mudelitega oskame tänapäeval suure täpsusega ennustada mere veetaset ja tormide põhjustatud üleujutusi rannikualadel.

Nii nende mudelite kaudu kui ka suure lahutusega satelliidipildidelt on näha tunduvalt väiksema haardega keeriseid, spiraalseid ja triibulisi struktuure, nn submesomastaapseid nähtusi.

Veesamba segunemine ja kihistumine

Veesamba vertikaalset segunemist põhjustavat turbulentsi vaadeldakse väikestes mastaapides (alla meetri) kolmemõõtmeliselt isotroopsena (igas suunas samade omadustega). Mesomastaabi ja isotroopse turbulentsi vahele jääb hulk nähtusi ja protsesse, mis kannavad edasi liikumise energiat ja mängivad rolli nii kihistumise kujunemises kui ka horisontaalses ja vertikaalses segunemises. Neid submesomastaapseid protsesse arvestamata ei olnud võimalik usaldusväärselt hinnata kevadise fütoplanktoni vohamise ehk veeõitsengu algust ega intensiivsust. Põhjus oli selles, et arvestamata jäid mere pinnakihi aset leidvad horisontaalsest tiheduse gradiendist mõjutatud liikumised, mis soodustavad vertikaalse kihistuse teket ning millel on planktoni arvukuse kahekordistumise (päev-kaks) sarnane ajamastaap.

Selleks et kirjeldada ja usaldusväärselt mudeldada mere kihistuse kujunemist ja biogeokeemiliste protsesside dünaamikat, on hädavajalik arvestada kõiki protsesse ja nende mõju.

Mis kasu on sellest, kui mõistame hästi veesamba kihistumist? See võimaldab usaldusväärselt mudeldada mere bioproduktiooni ja sellega seotud toitainet, sh süsinikuringet, ning uurida eutrofeerumist, näiteks selgitada, kuidas liiguvad eri piirkondade vahel toitainetarud ning voog läbi piirikihtide: vesi-setted ja vesi-õhk. Samuti on kihistumise tugevus tähtis nii ookeanis kui ka Läänemeres väikese hapnikusisaldusega või hapnikuvaegusega tsoonide kujunemisel. Hapnikuvaeguse algpõhjus on merepõhja settinud orgaanilise aine lagunemine. Samas, miks mõnel hilissuvel tekib Liivi lahe põhjalähedases kihis hapnikuvaegus, aga teisel aastal ei teki? Mis juhtub tulevikus, kui kliimamuutuste



Tallinna tehnikaülikooli uurimislav Salme Lennusadamas

tõttu juba praegu nähtavad ilmingud süvenevad? Kaugseirega, näiteks satelliitide abil, ei saa kuigi hästi näha, mis toimub merepinna all. Järelikult tuleb uute teadmiste nimel koguda veesambast mõõtmisandmeid samamoodi nagu eelmisel sajandil, s.o uurimislavade, või rakendada uusi tehnoloogiasid.

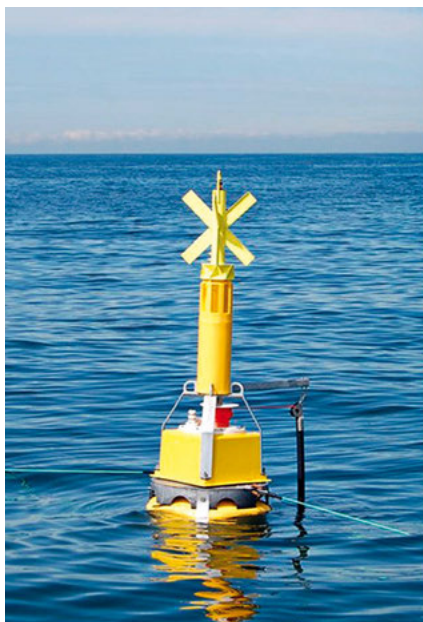
Andmekorje evolutsioon

Miks ei ole submesomastaapsete protsesside uurimises tänini tehtud suuri edusamme, kuigi ülitäpsetes mudeltemustes ja kõrglahutusega satelliidipildidel on nendega seotud mustrid näha? Siin on takistuseks olnud vastavaid aja- ja ruumimastaape käsitlevate mõõtmistehnoloogiate puudumine.

Praegu võib endiselt väita, et peamised mereuuringute vahendid on uurimislavad. Asjakohase aparatuuri ja laboritega laevadelt saab veesamba ja merepõhja ning nende füüsikaliste ja keemiliste omaduste kohta, aga ka näiteks mikroorganismide, ohtlike ainete ja mikroprügi jaotuse kohta kõige usaldusväärsemaid andmeid.

Praegu võib endiselt väita, et peamised mereuuringute vahendid on uurimislavad. Asjakohase aparatuuri ja laboritega laevadelt saab veesamba ja merepõhja ning nende füüsikaliste ja keemiliste omaduste kohta, aga ka näiteks mikroorganismide, ohtlike ainete ja mikroprügi jaotuse kohta kõige usaldusväärsemaid andmeid.

Millised uued vahendid võimaldavad merekeskkonnast tunduvalt rohkem andmeid koguda? Üha rohkem kasutatakse fikseeritud või triivivaid poisid ja profileerijaid ning mere pinna või veesambas liikuvaid seadmeid, näiteks allveeliugureid. Samuti rakendatakse kaugjuhitavaid seadmeid, mida pukseerib uurimislav, või näi-



Profileerivad poijaamad, mille otstarve on registreerida keskkonnaparameetrite vertikaalseid jaotisi ja edastada andmeid reaalajas (parempoolse seadme on Eestis arendanud firma Flydog)

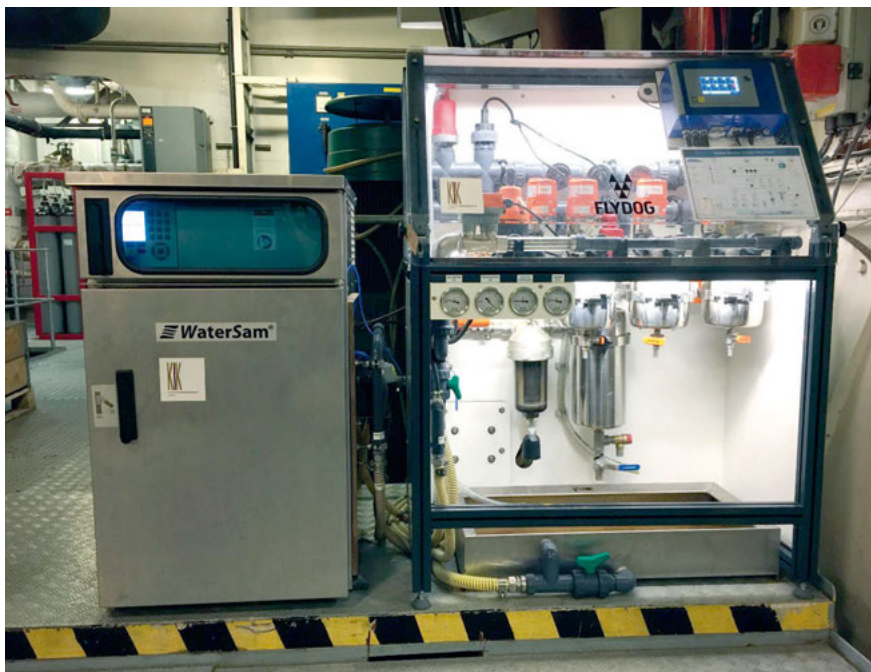


Tallinna tehnikaülikooli meresüsteemide instituudis kasutusel olev allveeliugur MIA

TTÜ MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

Reisilaevad koos nende paigutatud läbivoolusüsteemidega on väga head mõõteplatvormid, sest need liiguvad regulaarselt sadamate vahel.

Uurimislaevaga ei ole võimalik merel väga pikalt mõõtmisi teha, kuna see on kallis. Reisilaevad koos nende paigutatud läbivoolusüsteemidega on väga head mõõteplatvormid, sest need liiguvad regulaarselt sadamate vahel ja koostöös laevafirmadega on kulud väga väikesed. Nii on Tallinna ja Helsingi vahel pidevmõõtmistega kirjeldatud apvellingute ehk süvaveekergete dünaamikat ning nendega seotud submesomastaapseid nähtusi, mille tagajärjel muutuvad mere pinnakihi temperatuuri, soolsuse, toitainete ja planktonikoosluste jaotused.



V. KIKAS

Planktoni ja toitainete liikumine veesambas

Pinnakihi tehtavad mõõtmised ei kirjeldada nähtusi kolmemõõtmeliselt. Siin tulevad appi profileerivad jaamad, mis on fikseeritud või triivivad vabalt, ja veesambas iseliikuvad seadmed. Automaatjaamad, mis registreerivad klorofüllit ja hapniku jaotust veesambas, ei anna ainult infot füüsikaliste protsesside kohta: muu hulgas oleme nende jaamade abil selgitanud fütoplanktoni vertikaalset liikumist veesambas. Niisugune liikumine võimaldab planktonil omastada suvel toitaineid mere pinnakihi allpool, toetades nõnda produktsiooni valgusküllas pinnakihi.

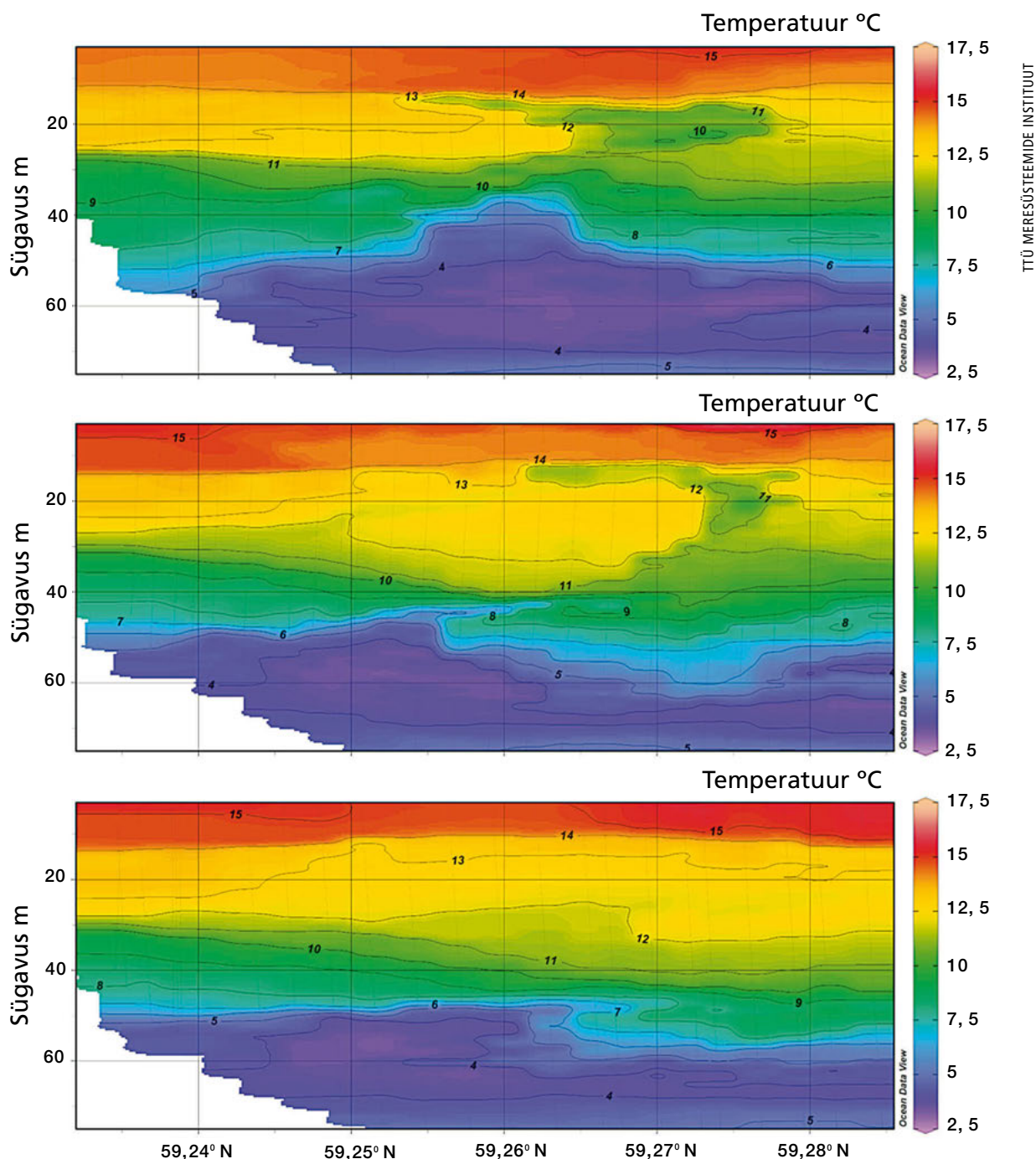
Eestis on välja arendatud ja rajatud süsteeme, kus andureid kandev profileeriv seade on ühendatud poi või põhjajaamaga, mille kaudu saab mõõtmiste režiimi seadistada ja andmeid reaajas edastada. Üks selline seade on alates 1. märtsist 2016 teinud pea-aegu pidevalt mõõtmisi Keri saare lähedal ja andnud väärt andmeid Soome lahe keskkonnaseisundi, sh süvakihi hapnikutingimuste muutuste kohta. Aastal 2020 samas fosfaatide sisaldust registreerinud automaatseade võimaldab hinnata hapnikusisaldusest sõltuvat fosforivoogu setetest veesambasse. See on üks põhjusi, miks Läänemeri ikka eutrofeerub, kuigi toitainete kane maismaalt on viimastel kümnenditel vähenenud.

Allveeliugurid ehk *glider*-id on iseliikurid, mida on võimalik ookeanis saata kolme-neljakuulisele, ent suhte-

teks reisi- ja kaubalaevadele paigaldatud läbivoolusüsteeme. Mitme sellise vahendiga või nende mudelitega saab praegu tutvuda Lennusadamasaare mere-muuseumi näitusel „Unseen Oceans. Läänemeri maailmameres“.

Eestis on pukseeritavaid seadmeid kasutatud 1970. aastate lõpust ja läbivoolusüsteeme alates 1980. aastatest. Esimesi profileerivaid jaamu on rakendatud alates 2009. aastast ja allveeliugureid 2014. aastast. Submesomastaapseid nähtusi, millega on seotud ka

näiteks fütoplanktoni biomassi merepinna-alused maksimumid, on registreeritud 1990. aastast saadik. Kui kasutada uurimislaevalt pukseeritavaid või laeva aeglasel käigul korduvalt sondeeritavaid seadmeid, saame väga hea pildi mesomastaapsetest ja ka väiksema ulatusega struktuuridest ja nähtustest veesambas. Sel moel on kirjeldatud protsesse, mis kaasnevad Vahe-mere vee levikuga Atlandi ookeanis ja Põhjamae vee levikuga Läänemeres Gotlandi süvikus.



Joonisel on ligikaudu 12-tunnise sammuga registreeritud temperatuurijaotised, millel on näha külmemat ja soojemat vett kandvate submesomastaapsete intrusioonide dünaamika ja segunemine

liselt madalas Läänemeres kuni kuu kestvale uurimisretkele. *Glider* liigub ette antud punktide vahel, liueldes veesambas alla ja üles, registreerides temperatuuri, soolsuse, klorofüllit, hapniku ja hägususe vertikaalset jaotust.

Tallinna tehnikaülikoolis rakendatav allveeliugur (Teledyne Slocum G2 MIA) võib sukelduda kuni 200 m sügavusele. Sonari abil tunneb ta ära merepõhja ning suudab vältida sellega kokkupõrget. Jõudnud veepinnale, kontrollib liugur oma asukohta, edastab andmed, võtab vastu uued juhised ja

liigub edasi. Kui mõne aja vältel lühikeste ajavahemike järel sama trajektoori korrata, saab liuguriga kirjeldada suhteliselt väikese ulatusega (kuni 1 m paksuse ja 100–200 m laiusega) nähtusi ja nende seaduspärasusi suurema mastaabiga struktuuride või dünaamika taustal.

Loodetavasti teevad edaspidi suure osa mõõtmistööst ära kaugjuhitavad või autonoomsed seadmed, kuid uurimislaiavad on endiselt asendamatud, et neid vette lasta ja hooldada või teha töid, mis nõuavad laborianalüüsi otse

merel. Autonoomsete seadmete korral peaksid kõik pidama silmas veel üht asjaolu: merel kohates ei maksa neid puutuda ja nende tööd segada. Meil on juba mitu seadet kas tormide pärast või inimese abiga (näiteks otsasõidu tõttu) kaotsi läinud – need on vaja üles leida ja merest välja tuua. •

Urmas Lips (1960) on merefüüsik, Tallinna tehnikaülikooli meresüsteemide instituudi professor; keskendunud Läänemere seisundi uurimisele.

Näitused Lennusadamas



AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

UNSEEN OCEANS

Tundmatu ookean

17.10.2020—25.04.2021

LÄÄNEMERI MAAILMAMERES

The Baltic Sea in the World Ocean

17.10.2020—30.06.2021



Eesti
Meremuuseum
Estonian
Maritime Museum

LENNUSADAM
SEAPLANE HARBOUR

85
1935-2020



TARTU
ÜLIKOO

TAL
TECH



VEETEED E AMET



EESTI
GEOLOOGIA TEENISTUS



KESKKONNAINVESTEERINGUTE KESKUS



Eesti Teadusagentuur
Estonian Research Council



MOTOR

KVARK



RED HAT

TMD

#säastaläänemerd
#unseen oceans

VELLE TOLL

Inimene soojendab kliimat

NASA

Rahvusvahelisest kosmosejaamast tehtud foto läbi Sahara kõrbe voolavast Niilusest. Kliima soojenemine muudab veeringet Maal: niisketes piirkondades sademete hulk suureneb ja kuivemates kahaneb

autoriõigus MTÜ Loodusajakiri

Inimtekkeliste ja looduslike tegurite kiirgusliku kliimamõju saab mõõtmiste järgi küllaltki täpselt välja arvutada. Teaduslikud tõendid on ühesed: globaalne soojenemine on inimtekkeline. Sajandi lõpuks võib maailma keskmine õhutemperatuur kerkida mitme kraadi võrra. Selleks et soojenemist pidurdada, tuleb jõuliselt vähendada inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkoguseid, mis on seni ainult kasvanud.

Kliima kui energiatasakaal

Üleilmne kliima on määratud energiatasakaaluga kliimasüsteemis neelduva päikesekiirguse ja Maalt kosmosesse kiiratava soojuskiirguse vahel. Inimtegevus nihutab kliimasüsteemi tasakaaluolekust välja. Inimtekkelised kasvuhoonegaasid, eelkõige süsihappegaas, neelavad soojuskiirgust ja meie planeet kiirgab seetõttu maailmaruumi vähem energiat, kui ise Päikeselt saab.

Säärase energia akumulatsiooniga, mida on kõige lihtsam mõõta aluspinnalähedase õhutemperatuuri tõusuga, kaasnevad suured kliimasüsteemi muutused. Soojenemine jätkub, kuni Maalt lahkuva soojuskiirguse hulk muutub taas võrdseks Päikeselt saabuva kiirguse omaga. Tööstusrevolutsioonielise ajaga võrreldes on globaalne keskmine õhutemperatuur praeguseks juba üle ühe kraadi tõusnud. Soojenemise tugevus erineb piirkonniti. Eriti kiiresti on soojemaks muutunud Arktika, aga ka Läänemere piirkond soojeneb globaalsest keskmisest tunduvalt kiiremini.

Inimtegevus soojendab kliimat, looduslike tegurite roll on väike

Teaduslikud tõendid on ühesed: tööstusrevolutsioonijärgne globaalne soojenemine on inimtekkeline. Antropogeensete ja looduslike tegurite kiirgusliku kliimamõju saab mõõtmiste järgi küllaltki täpselt välja arvutada. Viimase saja aasta kaks põhitegurit on inimtekkelised kasvuhoonegaasid ja õhku pihustunud mikroskoopilised vedelad ja tahked saasteosad ehk atmosfääri aerosoolid.

Olulisemad antropogeensed kasvuhoonegaasid on süsihappegaas, metaan, naerugaas ja osoon. Need gaasid põhjustavadki atmosfääri kasvuhooneefekti, soojendades seeläbi kliimat. Aerosoolid on näiteks sulfaadid, nitraadid ja põlengute suits. Aerosoolid peegeldavad rohkem päikesekiirgust maailmaruumi tagasi ja muudavad ka pilvi heledamaks, jahutades sedakaudu kliimat. Aerosoolide jahutav mõju korvab siiski ainult väikese osa kasvuhoonegaaside soojendavast mõjust.

Tuhandete ja miljonite aastate jook-

Alates aastast 1950 ei ole loodustegurite mõju kliimamuutustes hõlmanud üle kümnendiku kasvuhoonegaaside mõjust.

sul on Maa kliima muutunud looduslike tegurite tõttu. Ent viimasel sajandil on nende soojendav mõju olnud väike võrreldes inimtekkelise omaga. Alates aastast 1950 ei ole loodustegurite mõju kliimamuutustes hõlmanud üle kümnendiku kasvuhoonegaaside mõjust.

21. sajandil soojenemine jätkub

Võrreldes tööstusrevolutsioonielise ajaga tõuseb globaalne keskmine õhutemperatuur 21. sajandi lõpuks 1,5 kuni 5,5 kraadi olenevalt inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitest. Kui soojaks kliima täpselt kujuneb, oleneb eelkõige inimtegevuse mõjust atmosfääri koostisele. Paraku me ei tea täpselt, kui palju kasvuhoonegaase inimkond veel atmosfääri paiskab.

Ühtlasi ei ole selge, kui tundlik on Maa kliima kasvuhoonegaaside heite suhtes, sest me ei mõista veel täielikult, kuidas kliimasüsteem toimib. Üks oluline tegur on soojenemisega kaasnevad muutused pilvisuses. Selle teadmatuse tõttu ei pruugi kõige pessimistlikum kliimastsenaarium täide minna ka siis, kui emissioone oluliselt ei piirata. Ent samas võib soojenemine olla kardetust tugevam ka kasvuhoonegaaside hulka piirates. Kõike arvesse võttes on siiski selge, et kliimarisikid on suured, kui kasvuhoonegaasiheide märkimisväärselt ei vähene.

Kliimateadlaste hinnangul ei pruugi varsti enam olla võimalik piirata globaalset soojenemist alla 1,5 kraadi, sest nüüdseks atmosfääri paisatud kasvuhoonegaaside soojendav mõju ei ole veel täielikult ilmnenu. Isegi kui inimkond lõpetaks kasvuhoonegaaside heite päevapealt, siis soojenemine jätkuaks, kuni saavutatakse energiatasakaal päikesekiirguse ja soojuskiirguse vahel.

Kliimamuutused ei seisne ainult õhutemperatuuri tõus

Õhutemperatuuri tõus ja sagenenud kuumalained on kõigest üks energia akumulatsioonilise ilmingutest Maa kliimasüsteemis. Suurem energiahulk kliimasüsteemis põhjustab muutuse kõigis atmosfääriprotsessides: mõned muutused on suuremad ja juba praegu tuntavad, ent mõned on veel vaevumärgatavad. Kui kasvuhoonegaaside heidet olulisel määral ei piirata, kerkib ookeanide veetase sajandi lõpuks meetri võrra ja sellega kaasnevad ranniku- ja piirkondades suuremad üleujutused.

Veeringe muutub. Niisketes piirkondades suureneb sademete hulk kuni mitukümmend protsenti ja kuivemates kahaneb samavõrra. Sagenevad paduvihmad. Mitmes piirkonnas võivad aset leida suuremad muutused atmosfääritsirkulatsioonis. Järgmistel sajanditel need suundmused oodatavasti jätkuvad. Paratamatult põhjustavad niisugused muutused kliimasüsteemis biosfääri häiringuid.

Kliimamuutuste mõjud

Inimlik oleneb otseselt biosfääri toimimisest. Kliimamuutused mõjutavad juba praegu ökosüsteeme maismaal ja ookeanis. Järgmistel kümnenditel võib kliimamuutustest saada elupaikade kao kõrval suurim ökosüsteemide häirija, sest paljudel liikidel on keeruline kohaneda üha kiirenevate muutustega. Need avaldavad otsest mõju inimeste toidulauale ja joogiveele. Negatiivsed mõjud on kõrbestumine, erosioon ja põllukultuuride saagikuse vähenemine. Mandriliustike sulamine ja üleujutused vähendavad omakorda puhta joogivee kättesaadavust.

Maailmamere taseme tõusuga tekib suur üleujutuse risk Kagu-Aasias ja mujal. See mõjutab sadu miljoneid inimesi. Globaalse soojenemise otsene mõju inimtervisele avaldub näiteks suurenevas kuumastressijuhtumite arvus ja nakkushaiguste levikumustrite muutuses. Üleujutused, toidu- ja veepuudus ning teised probleemid võivad ajendada ulatuslikku inimrännet ja konflikte.

Heitmete tekke tegurid

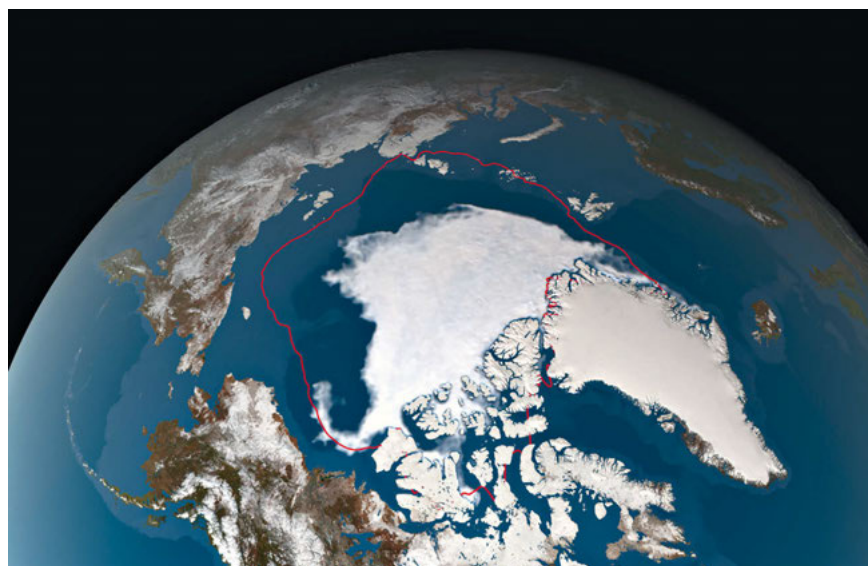
Kui kliimamuutusi suudetaks tõhusalt leevendada, saaks globaalse soojenemise hoida sellisel tasemel, millega suudame kohaneda. Selleks et soojenemist pidurdada, peab inimtekkeline süsihappegaasiheide vähenema. Siht on saavutada süsinikuneutraalsus: olukord, kus inimtegevuse tagajärjel õhku paisatud süsihappegaas püütakse kinni või seotakse.

Süsihappegaasi heitkogused olenevad neljast tegurist: rahvaarvust, sise-majanduse kogutoodangust inimese kohta, energiatoodangust majandus-

Eriti kiiresti on soojemaks muutunud Arktika, aga ka Läänemere piirkond soojeneb globaalsest keskmisest tunduvalt kiiremini.



Kliimamuutustega sagenevad äärmuslikud ilmastikuolud. 2019.–2020. aastal üle kogu maailma palju tähelepanu pälvinud ja nii loodusele kui majandusele ulatuslikku kahju tekitanud Austraalia maastikupõlengutele aitasid kaasa eelnevad rekordilised kuumalained



Arktika kiire soojenemise tõttu on viimastel aastakümnetel kadunud ligikaudu pool Põhja-Jäämere jääkattest. Punase joonega on pildil piiritletud jääkatte keskmine minimaalne ulatus aastail 1981–2010, selle sees on näha jäätumise ulatus septembris 2020

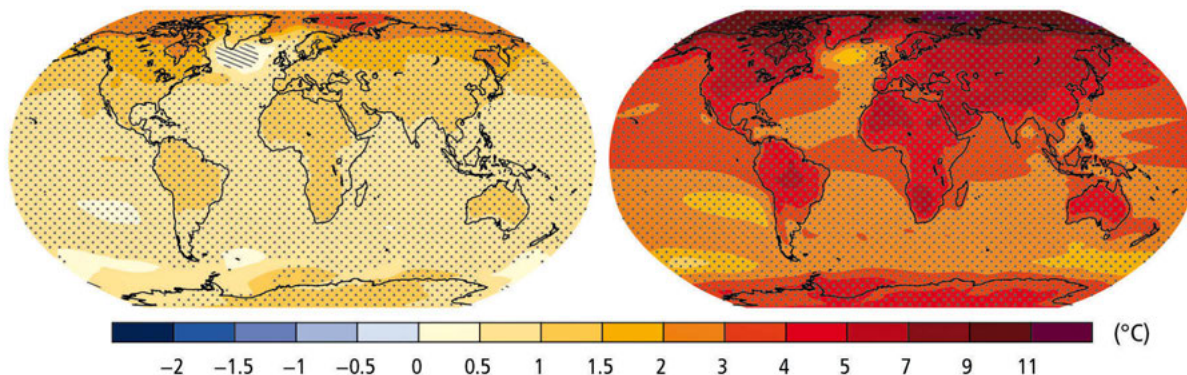
CLASSY MELISSA / WIKIPEDIA

NASA

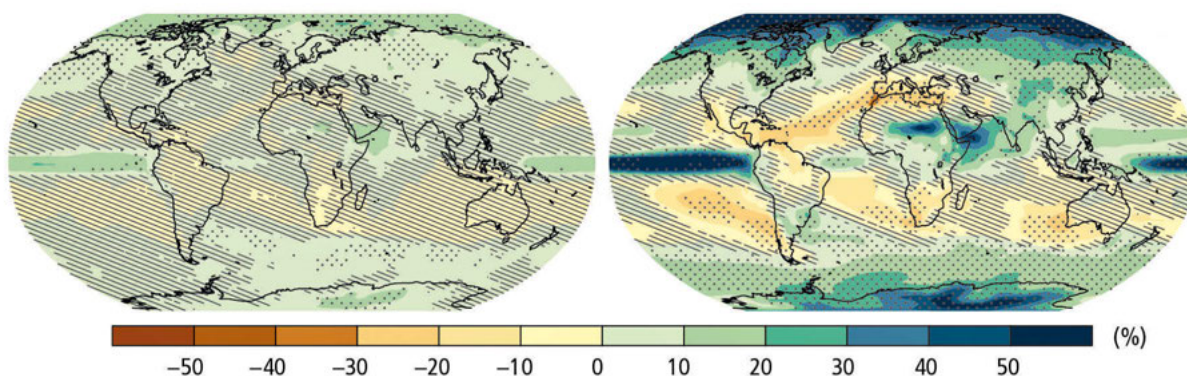
KESKMISE PINNATEMPERATUURI MUUTUS

Optimistlik emissioonistsenaarium
(keskmine globaalne temperatuur tõuseb
2100. aastaks 0,3–1,7 °C)

Pessimistlik emissioonistsenaarium
(keskmine globaalne temperatuur tõuseb
2100. aastaks 2,6–4,8 °C)



KESKMISE SADEMETE HULGA MUUTUS



Kui palju kerkib aluspinnalähedane õhutemperatuur sajandi lõpuks, oleneb eelkõige antropogeensest kasvuhoonegaasiheidest. Kui seda heidet ei suudeta tunduvalt vähendada, tõuseb õhutemperatuur suurtel laiustel viis kuni kümme kraadi. Soojenemisega kaasneb veeringe intensiivistumine: pessimistliku stsenaariumi järgi muutub sademete hulk paljudes regioonides mitukümmend protsenti

Maailma rahvastiku arv on saja viiekümne aastaga kuuekordistunud ja inimkond tarbib praegu 18 korda rohkem energiat. Tuleb silmas pidada, et energia tarbimine ei saa lõputult kasvada.

toodangu kohta ja süsihappegaasiheidest energiatoodangu kohta. Enim on emissioonide kiirenevat kasvu mõjutanud rahvaarvu ja majanduse kasv. Maailma rahvastiku arv on saja viiekümne aastaga kuuekordistunud ja inimkond tarbib praegu 18 korda rohkem energiat.

Selleks et maandada kliimariske, on mõeldavaim toota süsinikuneutraalset energiat. Ühtlasi tuleb silmas pidada, et energia tarbimine ei saa lõputult kasvada. Nüüdisajal toodetakse 85% energiast fossiilkütustest:

kivisöest, naftast ja maagaasist. Taastuvenergia tarvitusele seavad piiranguid kasutatava maa pindala ning päikesepaneelide, tuulegeneraatorite ja energia ülekande- ja salvestustehnoloogia tarbeks kuluvad loodusvarad. Siiski ületab päikese- ja tuuleenergia tootmise potentsiaal praeguse summaarse energiatarbe, arvestades ka mitmesuguseid füüsilisi piiranguid.

Globaalsed katsumused

Tõenäoliselt suurim kasvuhoonegaasiheidete piiramise proovikivi on senisest tõhusam rahvusvaheline koostöö. 2019. aasta detsembris avaldatud Euroopa roheline kokkulepe on küll suur samm edasi, kuid praegu ei ole eri riigid seadnud kaugeltki piisavaid sihte, saavutamaks Pariisi kliimalepingu eesmärki hoida soojenemine alla kahe kraadi.

Kliimamuutused on seotud paljude teiste globaalprobleemidega, nagu elurikkuse kadu, toidu- ja joogivee nappus, sotsiaalne ebavõrdsus ning rahvastiku ränne. Küsimus on, kuidas neid probleeme lahendada ja saavutada üleilmne rohepöörde.

Koroonaviiruse leviku takistamiseks kehtestatud piirangute tõttu ka hanes süsihappegaasi heide 2020. aasta kevadel 17%. Kuna süsihappegaas püsib atmosfääris sadu aastaid, ei mõjuta säärane ajutine heite vähenemine kuigi palju CO₂ kontsentratsiooni atmosfääris ega suuda pidurdada soojenemist. Et peatada globaalne soojenemine, tuleb süsihappegaasiheidet järjekindlalt vähendada. •

Velle Toll (1987) on Tartu ülikooli füüsika instituudi atmosfäärifüüsika kaasprofessor, uurib inimtegevuse mõju Maa kliimale.



Mullu 17. septembril Eestit räsitud ning tuhanded kodud elektrita jätanud sügistorm Aila Paljassaare rannas

TIIT VAASMA JA EGERT VANDEL

Liivaterad turbas reedavad mineviku tormisuse

Eestimaa rannikul ei ole harvad juhud, kus tugevad tuuled on murdnud hektarite jagu metsa ja tormilained uhtunud ära liivaranna. Ka meie ilusad luitemaastikud ei räägi muust kui tuulte tahutud maast.

Looduse kätetööd ei pea me ilusaks, kui sellega kaasneb inimeste kaotus ja kahju taristule. Paraku võivad tormid põhjustada kohutavaid kataastroofe. Ega Eestis ei ole nalja pärast kehtestatud tormihoiatuse lävena tuule kiirus 15 m/s, kuigi rahvusvahelise kokkuleppe järgi on tormituulte keskmine kiirus vähemalt 21 m/s 10 minuti jooksul.

Küllap on kõikidel Horisondi lugejatel äärmuslikke kogemusi tormide kohta. Paljud mäletavad ka 1969. aasta 2. novembri tormi, mil Ruhnu saarel mõõdeti tuuleiili kiiruseks rekordiline 48 m/s. Siiski on siinse kandi tugevad tuuled maailma edetabeli tippudega võrreldes malbed. Maal puhunud tugevaimat tuuleiili ei ole tõenäoliselt suudetud kindlaks määrata, sest mõõteseadmed lihtsalt purunevad. Suurima tuuleiili kiirusena on tänini suudetud registreerida 135 m/s (490 km/h) Bridge Creek – Moore'i tornaado ajal 3. mail 1999 USA-s Oklahomas. Tugevaimaks tuulepuhanguks, mis ei ole seotud tornaadoga, peetakse aga

113,3 m/s (408 km/h), mis jäädvustati troopilise tsükloni Olivia ajal 10. aprillil 1996 Austraalias Barrow' saarel.

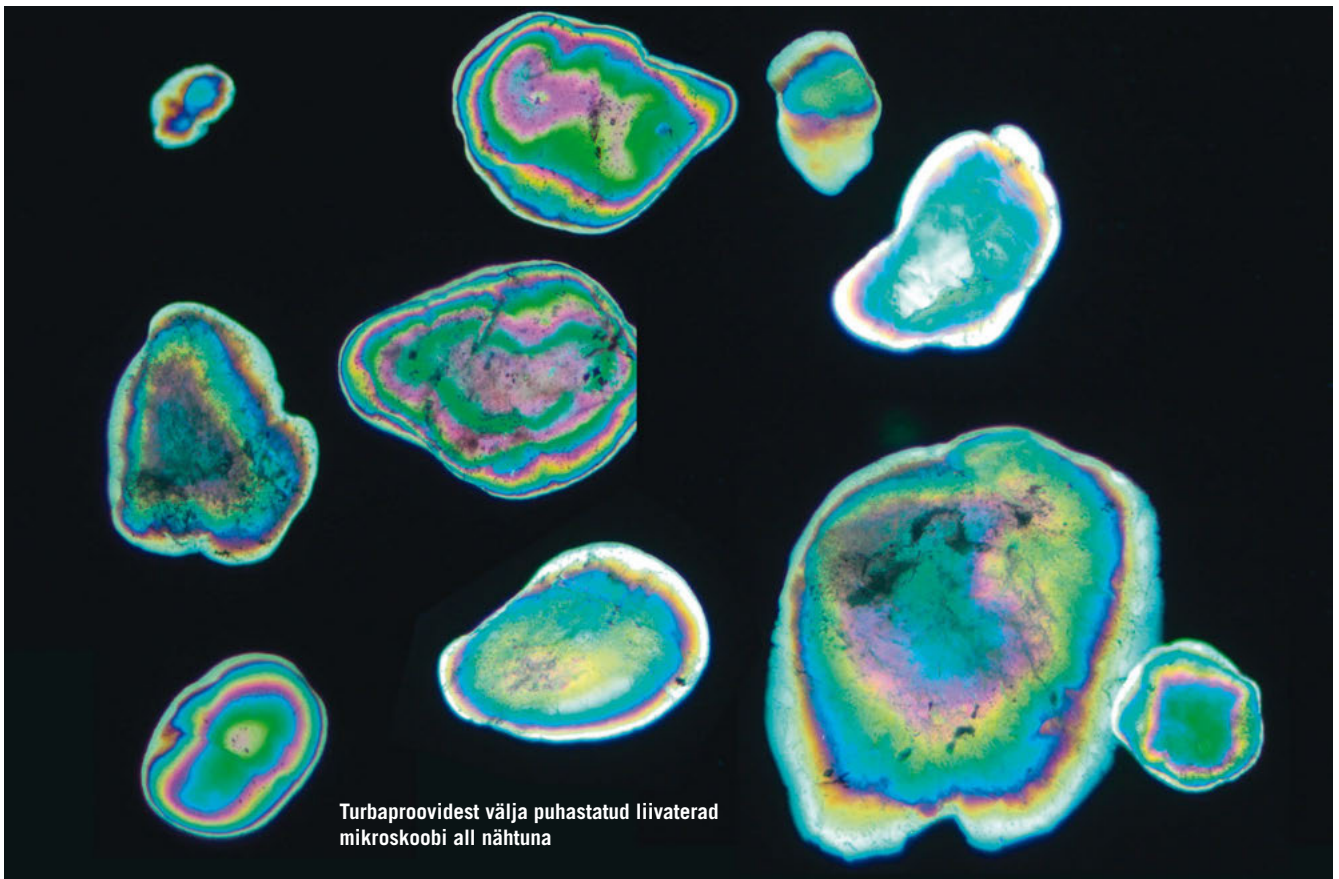
Üha enam kuuleme, kuidas tormidest tingitud majanduslikud kahjud suurenevad. Sellest võib jääda mulje, justkui oleks tormi viimasel ajal aina rohkem või on need varasemast tugevamad. Näiteks 2005. aasta torm Gudrun, mis ujutas üle Pärnu linna. Paljude uuringute järgi ongi selgunud, et nii Läänemere piirkonnas kui ka mujal on tormide sagedus viimastel aastakümnetel suurenenud. Kuigi selle põhjuseks arvatakse olevat kliima ja üksiti merevee soojenemine, on teadmised tsüklonaalse aktiivsuse muutustest ikka ebapiisavad.

Kui mõistaksime põhjalikumalt tormisuse muutuste mehhanisme, oleks meil lähtealus, mis võimaldaks edaspidi paremini majandada ja hallata rannikualasid, kus tormide mõju on üldjuhul suurim. Nii nagu tulevikule vastu astudes on hea tunda minevikku, on ka kliimamuutuste prognoosidega: analooge otsitakse olnust. Kust

aga saada teadmisi minevikus möllanud tormide kohta, st ajast, kui ilmajaamu ega kroonikuid veel ei olnud?

Üks võimalus uurida möödaniku tormi on lähtuda tuulekandelise ehk eoolse liiva sissekandest rannikusoodesse. Sood on tuulega edasi kantavatele liivateradele justkui löksud. Kui tormi on rohkem ja/või need on tugevamad, jõuab enam liivateri ka läheduses paiknevale soolale, kus nad settivad ja kattuvad ajapikku üha paksema turbakihiga. Rannikuala sood on head uurimisalad, kuna mere läheduse tõttu on need piirkonnad tuuli-

Nii Läänemere piirkonnas kui ka mujal on tormide sagedus viimastel aastakümnetel suurenenud. Kuigi selle põhjuseks arvatakse olevat kliima ja üksiti merevee soojenemine, on teadmised tsüklonaalse aktiivsuse muutustest ikka ebapiisavad.



Turbaproovidest välja puhastatud liivaterad mikroskoobi all nähtuna

semad ja liivarannad pakuvad head lähtematerjali.

Sellise uurimismeetodi kasutamise pioneerideks võib pidada Rootsi geoloogi Svante Björcki ja tema Taani kolleegi Lars Björn Clemmenseni. Koos kolleegidega on nad sel moel uurinud viimase 6000 aasta tormide sagedust Lõuna-Rootsis ja Taanis. Samalaadseid mineviku tormisuse uuringuid on tehtud ka Norra, Šotimaa ja Prantsusmaa rannikul.

Kuna kõnealust meetodit ei olnud Eestis varem rakendatud, täitsime selle lünka, võrreldes meie viimase 100 aasta tormide andmeid rannikualade turbalasundite ülemisest 30 cm paksusest kihist leitud eoolsete liivaterade sissekandega (tera/aastas/cm²). Uuringu tulemuste järgi on viimase sajandi tormisuse muutused ja liivaterade arv turba puursüdamikes omavahel otseselt seotud. Samuti langesid need perioodid, kui turbakihtides leidis suurem hulk liivateri, kokku Rootsis 19. sajandil täheldatud tormisemate aegadega.

Samas ei saa kohalikke tulemusi kohandada väga laiade alade tarbeks ja vastupidi. Lääne-Euroopas valitse-

nud tormisuse tingimuste järgi ei ole mõistlik üks ühele otsida meie aladelt – Läänemere idakaldalt. Selleks et mõista, kuidas kliima on jääajajärgsel ajal muutunud ning millised tingimused võivad meid ees oodata, tuleb vaatluse alla võtta geograafiliselt võimalikult lai uurimisala. Seetõttu tehti mineviku tormisuse uuringud ka Eestis. Siin valiti neli uurimisala: Saaremaal Järve järve äärne turvastunud ala, Hiiumaal Tihu ja Kodaste soo ning Juminda poolsaarel Hara raba. Turbalasundi paksus ulatus neis paigus 166 sentimeetrist Saaremaal kuni 465 sentimeetrini Hara rabas, hõlmates viimased 8000 aastat.

Dateeritud turba puursüdamikest leitud liivaterade sissekande muutuste põhjal leiti, et viimase 8000 aasta jooksul on tormisemad perioodid olnud ajavahemikel 7500–7000, 4000–3500, 2100 ning umbes 1500 aastat tagasi, samuti viimase 1000 aasta jooksul. Üldistades saab öelda, et viimased 4000 aastat on olnud tormisemad kui varasemad ning eriti suur on liiva sissekanne rannikusoodesse olnud viimase 1000 aasta jooksul. Viimastest aastatuhandest rääkides ei saa

muidugi eirata võimalikku inimtegevusest tingitud mõju liiva kandle, sest põldude harimine, metsaraie ja taristu rajamine on tunduvalt suurendanud maastiku avatust tuultele. Otsest seost inimõhu ja liiva sissekandevahel soodessa me siiski ei leidnud.

Mineraalne terasuurst, terade arvu ja massi saab määrata mitut moodi: sõeludes, setitades, kasutades laserdifraktomeetrit jms. Meie uuringu turbalasundites leiduvate liivaterade arvukus oli aga proovides üldjuhul niivõrd väike, et eelnimetatud meetoditega olnuks mõõtmisviga kas väga suur või ei oleks mõõtmisi saanud üldse teha. Seepärast kasutasime polariseerivat mikroskoopi ja sellel olevat digitaalset kaamerat, mille abil saadud ülesvõtetelt määrasime terade arvu ja suuruse automaatselt pildianalüüsi programmiga. •

Tiit Vaasma (1982) on Tallinna ülikooli loodus- ja terviseteaduste instituudi ökoloogiakeskuse teadur, teadustöös keskendunud sedimentoloogiale ja paleogeograafiale.

Egert Vandel (1982) on Tallinna ülikooli loodus- ja terviseteaduste instituudi ökoloogiakeskuse teadur. Tema teadustöö põhivaldkond on paleolimnoloogia ja -botaanika ning ökoloogia.

ILM JA KAOS

Ühe sitika sumin ei too tormi mitte. Pöide vanasõna

Liblikad kõhus võivad põhjustada tormi südames. Isiklikult kogetu

Kas liblika tiivalöökö Brasiilia ürgmetsas võib Texases tekitada tornaado?

Edward N. Lorenz

„Ei inimene massina vastu saa,“ nentinud Muhu mutike, kui jäi jumalateenistusel orelist kolm salmi maha. Vist samuti mõtlesid mu sünoptikuist kolleegid 2008. aasta aprillis, kui pisike vigane programmijupp kippus mitmel päeval untsu ajama nende prognoosid. Ilmaennustusi teevad tänapäeval teatavasti võimsad arvutid, sünoptikute ülesandeks on jäänud nende töö tulemuste kontroll ning interpreteerimine.

Kaosest ilmaruumis

1950. aastal tegi USA arvuti ENIAC esimesed kordaläinud ilmaprognoosid. Algas uus ajastu. Meteoroloogid hakkasid koguni tähistama sellele sünd-

musele eelnevat perioodi tähtedega BC. Tavaliselt tähendab too tähekombinatsioon 'enne Kristust', nüüd aga 'enne kompuutreid' (ingl *Before Computers*). Kolme aasta pärast oli selge, et

arvutid on võimelised ilma ennustama. Briti matemaatikust teaduskirjanik Ian Stewart nentis: „Pidage meeles: ilma ennustamine on üks asi. Ilma täpne ennustamine on teine asi.”

Oleme tähele pannud, et enamasti lähevad prognoosid täkkesse, mõnikord aga täiesti untsu. Miks? Euroopa keskulatusega ilmaennustuskeskuses Exeteris väidetakse, et õigupoolest suudetakse küll ilma täpselt ennustada: tingimusel, et ei juhtu ootamatusi.

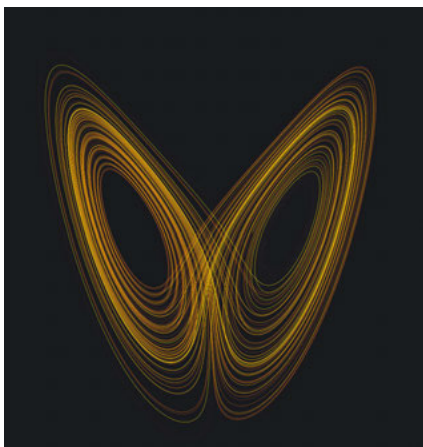
Üks hullemaid möödalaskmisi juhtus sealsamas Inglismaal: brittide ilmateenistuse kompuuter vehkis 1987. aasta oktoobris teha mudelarvutusi 400 miljonit tehet sekundis, kuid ei osanud näha mõnisada kilomeetrit eemal tekkinud võimsat nn sajandi tormi. Midagi olnud mudeli lähteandmetes puudu või koguni liigset.

Mis võis tekitada sellise segaduse superarvuti töös? Selgust tõi meteoroloogi ja matemaatiku Edward Norton Lorenzi loodud nn kaoseteooria. 1961. aasta talvel tegi teadlane tavalist numbrilist ilmaprognoosi Massachu-



NASA-LARC / WIKIPEDIA

Üks kaoseteooria põhiprintsiipi on nn liblikaefekt, mille järgi võib ka tibatillukese liigutuse tagajärjel tekkida orkaan. Pildil on näha liblikatiiva põhjustatud palju ohtlikum lennukitiiva tekitatud keerisjälg, mille hajumiskiirusi uuritakse kaoseteooria abil



WIKIPEDIA

Kaoseteooriat kirjeldava Lorenzi atraktori graafiline esitus meenutab liblikat

settsi tehnoloogiainstituudis. Arvutustes tekkis vahe ja kui Lorenz jätkas arvutusi, selgus, et kahe pealtnäha ühesuguse rehkenduse tulemused olid täiesti erinevad. Kas midagi on juhtunud kompuutriga?

Selgus, et teise arvutusse oli ta teinud kohvipausil aja võitmiseks pisikesed ümardused: 0,506 esimese 0,506127 asemel. Paari päeva prognoos veel kuidagi klappis, edasi aga läks lugu hoopis hulluks. Lorenz formuleeris kogetu põhjal ühe kaoseteooria põhiprintsibi: sellise dünaamilise süsteemi nagu atmosfääri modelleerimisel võivad väikesed erinevused lähteandmetes põhjustada suuri lahknevusi lõpptulemustes.

Nagu liigne ölekõrs võib murda kaameli selgroo, muudavad isegi tillukesed vead mudelite algandmetes lõppprognoosi ebatäpsaks. Aastal 1963 kasutas Lorenz sõnu „kajaka tiivalöök“ iseloomustamaks suurusi, mis võivad muuta ilmaennustuse kvaliteeti.

Meteoroloogias on praktiliselt võimatu saada korralikke vaatlusandmeid sellisel määral, et kasvõi kuu prognoos saaks täpne. Selleks peaks olema kogu maakera ilmajaamu täis pikitud. Neid on aga kaunis hõredalt, eriti lõunapoolkeral ja ookeanidel. Pealegi on ka ilmaandmed teadupoolsest pidevalt muutuvad. Seega arvatakse, et kaks nädalat jääbki täpsema ilmaennustuse piiriks. Isegi kaugemas tulevikus!

Arvatakse, et kaks nädalat jääbki täpsema ilmaennustuse piiriks. Isegi kaugemas tulevikus!

Mõned teoreetikud arvavad, et möödunud sajandil tehti kolm suurt teadusrevolutsiooni, mis on seotud relatiivsusteooria, kvantmehaanika ja kaoseteooria loomisega. Kaoseteooria autor Lorenz suri 2008. aasta 16. aprillil 90 aasta vanusena. Juba väikese poisina armastas ta arvutada ning ilma jälgida. Ta õppis nii matemaatikat kui ka meteoroloogiat. Kaoseteooria väljatöötamise eest ta Nobeli preemiat ei saanud, küll aga hulgaliselt muid auhindu. Kui 1991. aastal anti Lorenzile prestiižikas Kyōto auhind, võrreldi tema teeneid teaduses Isaac Newtoni omadega.

Professorina oli Lorenz väga tagasihoidlik, isegi uje. Samas võitis ta aastaid instituudi populaarseima meteoroloogiaõppejõu tiitli. Klimatoloog Kerry Emanuel meenutab üht matka kolleegiga Lõuna-California kõrbes. Seal nägid nad puude all lesimas koiottide perekonda. Emanuel plaksutas käsi – loomad ei kõssanudki. Siis kuulis ta selja tagant hundi ulgumist! „Hüppasin ehmatusel kolme jala kõrgusele. Vaatasin üle öla – see oli Ed!“ Koiotid kargasid jalule ja nii jätkus ebaharilik vestlus mitu minutit.

Kaos ja liblikas

Too kuulus lause, „Kas liblika tiivalöök Brasiilias päästab valla tornaado Texas?“, pandi ühe Lorenzi konverentsi ettekande pealkirjaks 1972. aastal. Liblika tiivalöök on muidugi kaugelt poeetilisel ja meeldejäävam kui kajakaka oma. Võibolla saadi tilluke tõuge selleks ulmekirjaniku Ray Bradbury 1952. aasta novellist, kus ajarändur talas kogemata ära liblika, vallandades muutuste ahela, mis põhjustas lõpuks dinosauruste väljasuremise. Muide, too liblikalause sai laias ilmas üldtuntuks alles 1987. aastal, pärast teaduskirjanik James Gleicki raamatu „Kaos“ ilmumist.

Nüüd midagi ka vandenõuteooriate huvilistele. 2013. aasta aprillis ilmus Maalehe huumoriküljel „Naeris“ järgmine lustakas uudis:

Londonis Ecuadori saatkonnas asüülis viibiv WikiLeaksi peatoimetaja Julian Assange lekitas äsja uue rabava uudise.

Kuigi ÜRO on juba 1977. aastast keelustanud ilmarelva loomise, liiguvad endiselt ringi kuulujutud orkaan Sandy suunamise projektist, kunstlikest maavärinatest jne. Seekord lekkisid WikiLeaksi kaudu maailma uudised, kuidas ameeriklased oma tornaadode vastu võitlevad. Ja seda võõral maal!

Asi sai alguse 1960. aastatel, kui matemaatik ja meteoroloog Edward Lorenz kuulis oma sõbralt, Brasiilia entomoloogilt, et mõnel aastal väheneb suurte liblikate populatsioon Amazonias järsult. Teadlane avastas, et samadel aastatel esines USA-s vähem ka tornaadosid. Korrelatsioon nähtuste vahel oli ülihea.

Siit pärinebki kaoseteooria looja Lorenzi kuulus väide: „Liblika tiivalöök Brasiilia ürgmetsas võib põhjustada tornaado Texas“.

Keeristorme esineb USA-s keskmiselt üle tuhande aastas. Võitluseks nendega moodustati Lubbockis ülisalajane üksus portugali keelt valdavatest armeebioloogidest. 2007. aastal viidi Amazonase osariigis läbi operatsioon „Madame Butterfly“. Feromoonidega hävitati miljardeid suuri liblikaid perekonnast Morpho. Tulemused olid head – tornaadode arv USA territooriumil kahanes tol aastal kolmandiku võrra.

Veelgi suurema efekti tagas 2010. aastal läbi viidud kemikaalide puistamine osariigi kohal reaktiivlennukite kütuse lisanditena. Ainult et lennukite tekitatud kondens- ehk joonpilved (nn keemiapilved) olid nii eriskummalise kujuga, et seda märkasid Brasiilia Greenpeace'i liikmed.

Kuni WikiLeaksi paljastusteni ei pööradud aga looduskaitstjate avaldustele mingit tähelepanu. Nüüd on olukord muutunud – Brasiilia asevälisminister Jorge Amado Secundo protestis teravalt: „Ameeriklased toimetavad meie selvas otsekui oma tagahoovis!“

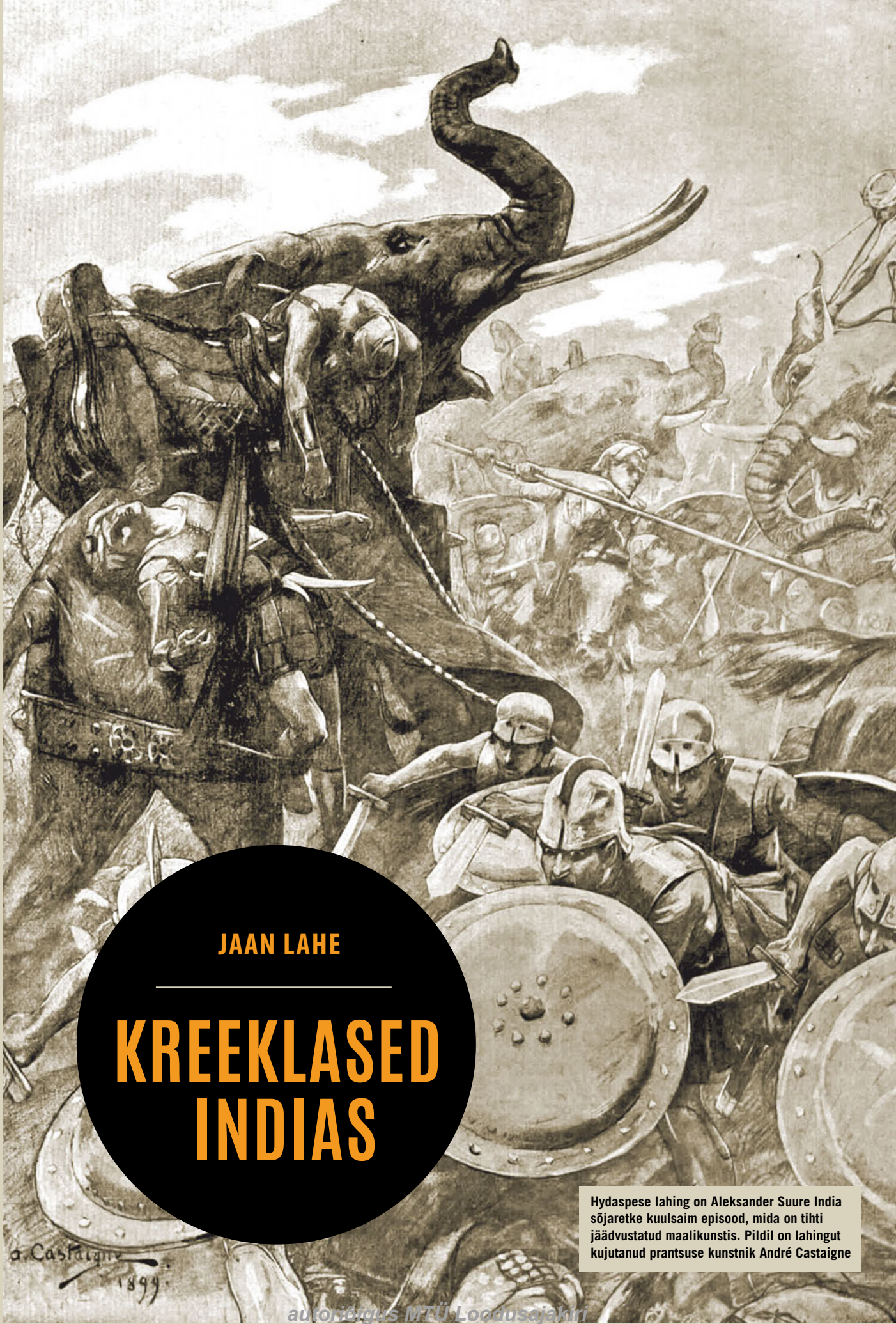
Üks ameeriklane tundis aga lekitamisest heameelt – režissöör Steven Spielberg, kes olevat juba alustanud filmi „Operatsioon Butterfly“ loomist.“

Lõpukommentaar

Oma tuntuima, 1972. aastal peetud ettekande teeside lõpul märkis Lorenz, et liblika osatähtsus tornaadode põhjustajana on kujundlik, sest tegelikult asuvad ju Brasiilia ja Texas eri poolkeradel teine teisel pool ekvaatorit. Väikesed mõjutused võivad muuta ilma olukorda tuhandete miilide ulatustes näiteks parasvöötmes, aga need ei kandu üle ekvaatori.

Teesid lõpevad tõdemusega, et kui gi atmosfääris toimuvad protsessid on äärmiselt kaootilised, ei ole sünoptikute ülesanne anda mitte niivõrd ülitäpseid, kuivõrd parimaid prognoose, mida atmosfäär meil teha lubab. •

Ain Kallis (1942) on meteoroloog, klimatooloog ja publitsist. Tema peamine uurimisvaldkond on Eesti kiirguskliima. Töötab peaspetsialistina Eesti keskkonnaagentuuris.



JAAN LAHE

KREEKLASED INDIAS

Hyaspese lahing on Aleksander Suure India sõjaretke kuulsaim episood, mida on tihti jäädvustatud maalikunstis. Pildil on lahingut kujutanud prantsuse kunstnik André Castaigne

a. Castaigne
1899

Aleksander Suure sõjakäigust Indiasse on kuulnud kõik, kes on koolis ajalugu õppinud. Vähem teatakse, et Indias elas märkimisväärsel hulgal kreeklasi juba enne Aleksandri saabumist, ning vallutuste tõttu suurenes nende arv veelgi. Indias tekkis hulk kreeklaste riike, millest mõni eksisteeris meie ajaarvamise alguseni. Siinne artikkel tutvustabki lähemalt neid riike ja kreeka kultuuri Indias.

Kõik sai alguse pärslastest

6. sajandil eKr kerkis idas uue suurvõimuna esile Pärsia. 539 eKr alistas Ahhemeniidide suurriigile aluse pannud kuningas Kyros II (valitses 559–530 eKr) Uus-Babüloonia riigi ning tema valituse alla läksid kõik Uus-Babülooniale kuulunud alad, sealhulgas Palestiina. Kyros jätkas vallutusi nii läänes kui ka idas. Ta purustas Väike-Aasias paiknenud Lüüdia kuningriigi ja hõivas ka Loode-India, mis jäi väljapoole Uus-Babüloonia riigi piire.



Ahhemeniidide suurriigile aluse pannud kuningas Kyros II riigi esimeses pealinnas Pasargadaes säilinud bareljeefil

India vallutamine jätkus Dareios I valitsusajal (522–486 eKr). Ahhemeniidide riigi koosseisus rajati Gandhāra provints, kuhu kuulusid Peshāwari ja Rāwalpindi ala tänapäeva Pakistani territooriumil ning India provints, mis hõlmas Pandžabit, Sindhi ja Induse alamjooksu piirkondi. Mõlemad provintsid moodustasid kokku suurema haldusüksuse – satraapia. Dareios I valitsusajal oli Pärsia impeeriumis 20 satraapiat.

Tõenäoliselt asusid esimesed kreeklased Indiasse, st eespool nimetatud satraapia-alale, juba 6. sajandil eKr. Nad tegutsesid seal nii kaupmeeste ja käsitööliste kui ka palgasõduritena. Sõduritena hinnati neid Indias kõrgelt hiljemgi; kreeklastest palgasõdurid võitlesid Pärsia armees teiste kreeklaste vastu ka Aleksander Suure sõjaretke ajal Pärsiasse.

Sanskritikeelsed allikad kinnitavad, et kreeklaste kolooniad olid Loode-Indias olemas juba 5. sajandil eKr. Alates 4. sajandist kasutati India tekstides kreeklaste kohta nimetust *yavana*, mis tähendab joonlast.

Kui Aleksander Suur (valitses 336–323 eKr) jõudis Indiasse, leidis ta eest rohkesti kreeklasi, kelle esivanemad olid elanud seal juba sajandeid. Kreeka diasporaa Indias sai seega alguse neist varasematest sisserändajatest, mitte Aleksander Suure armeest ja nendega koos Indiasse saabunud kreeka ja makedoonia tsiviilisikutest.

Aleksander Suure sõjaretk Indiasse

Tänu mitmele põhjalikule ajalookirjutajale, nagu Aristobulos (u 375–301 eKr), Kallisthenes (u 360–327 eKr), Quintus Curtius Rufus (1. saj pKr) ja Arrianos (u 86/89–146/160 pKr), on meil Aleksander Suure India sõjaretkest küllaltki üksikasjalik ülevaade. 329 eKr kevadel ületas Aleksander Hindukuši mäestiku ja jõudis Baktriasse ning Sogdianas. Need Kesk-Aasias asunud ajaloolised piirkonnad kuulusid veel Ahhemeniidide riiki, olles selle kõige idapoolsemad valdused. Hoolimata Bakt-

Sanskritikeelsed allikad kinnitavad, et kreeklaste kolooniad olid Loode-Indias olemas juba 5. sajandil eKr. Alates 4. sajandist kasutati India tekstides kreeklaste kohta nimetust *yavana*, mis tähendab joonlast.



Aleksander Suur Pompeist leitud mosaiigifragmendil

rias ja Sogdianas elanud iraani hõimude vihasest vastupanust õnnestus Aleksander Suurel mõlemad alad oma valdustega liita ja seega hõivata kogu toonane Ahhemeniididele kuulunud territoorium.

Ajaloolased on palju arutanud, miks otsustas Aleksander Pärsia hõivamise järel vallutusi jätkata, st tungida Loode-Indiasse. Enamik uurijaid on veendunud, et algul tahtis Aleksander vallutada ainult Ahhemeniidide riigi territooriumi ning soov edasi itta tungida sündis alles vallutuste käigus. Ühe usutatavama hüpoteesi järgi, mida pooldab briti teadlane Richard Stoneman, soovis Aleksander vallutada Ahhemeniididele kuulunud territooriumi niisuguses ulatuses, nagu see oli olnud riigi hiilgeaegadel. Ehkki ajal, kui Aleksander Indiasse tungis, ei kuulunud Loode-India enam Ahhemeniididele, teadis ta tõenäoliselt, et kunagi oli seegi piirkond olnud Pärsia impeeriumi osa.

Kindlustanud oma võimu Baktrias ja Sogdianas, siirdus Aleksander 326 eKr Indiasse, kus ta alistas mitu hõimu ja vallutas rohkelt kindlusi. Paljude asulate elanikud hävitati täielikult. Ületanud kevadel Induse jõe, sõlmis ta sõprusuhted Taxila kuninga Ambhiga, kes kinkis talle 56 sõjalevanti. Taxilas (skr Takṣaśilā; asub Pandžabis, praeguse Pakistani territooriumil) olevat ta pärimuse järgi kohtunud alasti askeetide, nn gümnoosofistidega. Aleksandriga seotud legendides etendavad need hiljem olulist osa.

Juunikuus võttis Aleksander ette sõjaretke kuningas Porose vastu. Nende kokkupõrge, mis leidis aset Induse lisajõe Hydaspese ääres Jalapuri lähedal, on kahtlemata Aleksandri India

sõjaretke kuulsaim episood, mida on palju kujutatud nii maalikunstis, kirjanduses, filmides kui ka muusikas (nt Georg Friedrich Händeli ooper „Poros“). Kuigi lahingus, milles oli suur roll sõjalevandidel, hukkus palju kreeklasi, saavutasid nad lõpuks siiski võidu. Aleksander heitis Porosele armu ja jättis ta sõltlaskuningana oma riiki valitsema. Ta plaanis jätkata sõjaretke Gangese orgu, kuid tema kurnatud armee keeldus edasi minemast. Algas pikk ja vaevaline tagasitee. Babüloni jõuti 323 eKr, samal aastal Aleksander suri.

Aleksander Suurt saatis sõjakäigul Indiasse peale armee arvestatav hulk tsiviilisikuid. Osa neist – nagu ka osa tema sõduritest – ei pöördunudki Makedooniasse ega Kreekasse tagasi, vaid jäid Indiasse ja panid seal aluse uutele linnadele. Selle tõttu kasvas juba Pärsia valitsuse ajal tekkinud India kreeklaste diasporaa veelgi.

India Seleukiidide valitsusajal

Aleksandri surma järel jagati tema valutatud hiigelterritoorium tema väepealike vahel. Suurim osa Aleksandri

valdustest, sealhulgas Iraani kiltmaa ja Baktria, läks Seleukose võimu alla, kes oli olnud nende alade asevalitseja (satraap). 305 eKr sai temast Seleukos I nime all Seleukiidide riigi kuningas (valitses kuni 281 eKr). Samal aastal ületas ta Induse jõe, et vallutada tagasi kreeklaste alad Indias. Aleksander Suure surma järel oli need alad võtnud oma voli alla toonane India võimsaim valitseja Tšandragupta Maurja (valitses 321–297 eKr), kes asus kohe kreeklasi Indiast välja ajama. Tšandragupta pani aluse Maurja suurriigile, mis hõlmas suurema osa India territooriumist.

Mõistes, et ta jääb sõjaliselt Tšandraguptale alla, loobus Seleukos oma plaanidest ja sõlmis rahu. Sõprussidemeid kinnitati ka abielu kaudu: üks Seleukose tütardest anti Tšandraguptale naiseks. Sõbralikke suhteid Maurja dünastia kuningatega jätkasid ka Seleukos I järeltulijad. Seleukiidide ja Maurjate vahel sõlmitud rahu lõi soodsa pinnase kaubavahetuseks ja kultuurikontaktideks India ja Süüria vahel, kus asus Seleukiidide riigi keskus, ning soodustas veelgi kreeklastest elanikkonna

kasvu Indias.

Megasthenes Pätaliputras

Pärast seda, kui Seleukiidid ja Maurjad olid sõlminud sõprussuhted, läkitati Maurja riiki Seleukiidide saadik. Selleks saadikuks sai kreeklane Megasthenes, kes viibis Tšandragupta Maurja õukonnas Pätaliputras (tänapäeva Patna) ajavahemikus 302–291 eKr pikemat aega ja võimalik, et isegi korduvalt. Megasthenes koostas mahuka Indiat tutvustava teose, mis on tuntud pealkirja all „Indika“ ning kirjeldab India geograafiat, floorat ja faunat, ajalugu, ühiskonnakorraldust, tavaid ja kombeid. Kuigi teos ei ole säilinud, tunne me seda hilisemate autorite vahendusel. „Indika“ on tänini oluline India ajaloo ja kultuuri allikas, sest autor tugineb isiklikele kogemustele ning tal õnnestus käia ka sellistes piirkondades, kuhu kreeklased ei olnud varem jõudnud, näiteks Gangese jõe delta ja nüüdse Calcutta piirkond.

Megasthenes kirjutab, et Indias elavad veidrad inimesed: nad peavad mitut naist, joovad vähe veini ja mis kõige kummalisem, ei mata oma surnuid, nii et neil polegi haudu. Ta imetleb indialaste vähenõudlikkust, lihtsust ja ausust ning jutustab nende alasti rändaskeetidest, keda ta võrdleb kreeka filosoofidega. Kuigi Megasthenese kirjeldusi India ühiskonnakorralduse ja olustiku kohta peetakse üldiselt usaldusväärseks – ta kirjeldab näiteks sealset kastisüsteemi, abieluinstitsiooni, söögikombeid jm –, hakkab silma tema kalduvus Indiat idealiseerida. Ei pea küll arvama, et Megasthenes üritas oma arusaama ideaalsest ühiskonnast Indiasse üle kanda, nagu mõned uurijad on oletanud, kuid kindlasti on tema „Indika“ mõjutanud India kuvandit iidse tarkuse maana, mida võib eri autorite teostes kohata kuni antiikaja lõpuni.

Vastuolulised on ka Megasthenese teated India loomariigi kohta. Elevantide, ahvide ja teiste reaalsete India loomade kõrval mainib ta näiteks koerapäiseid inimesi ja kulda kaevandavaid hiidsipelgaid. Sellistest sipelgatest oli vestnud juba Herodotos. Huvitava selektuse selle kohta on pakkunud antiikmaailma ja idamaade kontaktide uuri- ja Albrecht Dihle. Tema sõnul põhineb see lugu, mida kreeklased ikka ja jälle jutustasid, oletatavasti tõlkeval: ühes Himaalaja kullaleiupiirkonnas kõnelnud Uurali-Altai keelkonda kuulunud keeles kasutati koopaorava kohta sõna, mis sarnanes kõlalt sanskritikeelse sõnaga ‘sipelgas’, mille tõttu neid arvata-

MIS ON MIS?

Ahhemeniidid – vanim Pärsia kuningadünastia, valitses 6.–4. sajandini eKr; ahhemeniidid rajasid Väike-Aasiast Indiani ulatuva suurriigi.

Baktria – muistne piirkond Kesk-Aasias Oxose (nüüd Amudarja) jõe tasandikul, peamiselt praeguse Põhja-Afganistani territooriumil.

Bodhisattva – budistlikus õpetuses olend, kes on saavutanud sellise vaimse taseme, et ta võiks vabaneda ümbersündide ringist (sansaarast), st minna nirvaanasse, kuid kes loobub sellest, et aidata vabaneda teistel sansaaras olevatel olenditel.

buda (väikese algustähega) – ükskõik milline inimene, kes on vabanenud sansaarast (surma ja sünni ringkäigust) ning saavutanud nirvaana (seisundi, milles ei ole kannatusi ja millest ei tulda enam tagasi).

Buddha (sellise kirja pildi ja suure algustähega) – üks konkreetne ajalooline isik – budismi rajaja.

Džainistid – budismile lähedase religiooni džainismi järgijad; usundi rajas Värđhamāna Mahāvīra (599–527 eKr).

Oxos – Amudarja jõe antiikne nimetus; jõgi asub Kesk-Aasias ja Afganistanis.

Praakritid – Kesk-India kõne- ja kirja keelte üldnimetus.

Seadmus – sanskriti keeles *dharma*, Buddha õpetus.

Sogdiana – muistne piirkond Kesk-Aasias, Oxose ja Iaxartese (nüüd Sõrdarja) jõe vahel, peamiselt praeguse Usbekistani territooriumil. Tollal asustasid seda ala iraani keeli kõnelevad hõimud: sküüdid, partlased ja sogdid. Viimaste järgi sai piirkond ka oma nime.

Taliban – fundamentalistlik islamirühmitus Pakistanis ja Afganistanis.

Theravaada – budismi haru, mille kohta mõnikord kasutatakse ka mõistet „hinajaana“. Levinud Sri Lankas, Birmas, Tais, Kambodžas, Bangladeshis ja vähesel määral Vietnamis. Kaua aega samastati selle koolkonna õpetust algbudismiga. •

vasti ekslikult samastati. Oma käike kaevates võisid koopaoravad tõepoolest tuua juhuslikult nähtavale kulda sisaldavat liiva. Indias, kuhu see kuld viidi ja kus kreeklased kuulsid lugusid selle leidmisest, saidki koopaoravatest sipelgad. Sellest hoolimata on ilmne, et Megasthenese „Indikas“ on reaalne India segunenud fantaasiaelementidega. Seega jäi India Vahemere maailma inimestele teatud määral muinasjutumaaks isegi ajal, kui nende kontaktid Indiaga olid tihedad.

Kreeka-Baktria riik

Seleukiidid valitsesid Maurjate naabritena Baktriat ja Hindukuši alasid kuni 3. sajandi keskpaigani, mil Aleksander Suure vallutatud territooriumil tekkisid uued riigid. Meediast Baktriani ulatunud hiigelterritooriumil tekkis Partia riik, Baktrias aga Kreeka-Baktria riik, mille rajas end Seleukiididest sõltumatuks kuningaks kuulutanud Baktria Seleukiidide asevalitseja Diodotos.



WIKIPEDIA

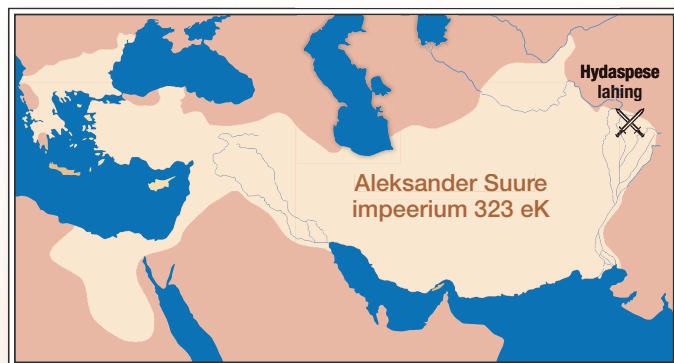
Kreeka-Baktria riigi rajas end Seleukiididest sõltumatuks kuningaks kuulutanud Baktria Seleukiidide asevalitseja Diodotos

si ka lõuna pool Hindukuši mäestikku, allutades endale praeguse Pakistani alal asunud Gandhāra kreeklaste kuningriigi. Hilisemad Baktria kreeklaste kuningad võtsid ette sõjakäike ka sügavale India sisemaale ning vallutasid Maurja riigi alasid. Kreeka-Baktria riigist sai India kõige võimsam kreek-

laste riik idas.

Kreeka-Baktria riigi ajalugu tunneb väga puudulikult. Põhiallikas selle kohta on Kreeka-Baktria kuningate vermitud mündid. Esialgu olid neil kreekakeelsed legendid, ent alates ajast, kui riigi koosseisu kuulusid ka alad Hindukušist lõunas, muutusid mündilegendid kakskeelseks: kreeka keele kõrval hakati kasutama mitmesuguseid India keeli.

Ainus arheoloogiliselt uuritud Kreeka-Baktria linn on Ai Khanoum praeguse Afganistani põhjaosas. Linna antiikne nimi ei ole teada, kuid oletatakse, et see võis olla Oxose ääres asuv Aleksandria, mis hiljem kandis nime Eukratideia. Linn paiknes Oxose jõe kaldal, selle mõõtmed olid umbkaudu 2 x 1,5 km ning selle territoorium jagunes künkal asunud ülalinnaks ja allinnaks. Ai Khanoum oli piiratud müüriga, väljaspool seda asus eeslinn koos nekropolidega. Linnas olid kreekapärase teater ja *gymnasion*, valitsejaloss ning hulk templeid, millest üks oli



Kreeka-Baktria kuningriik umbes 180 eKr



PEETER SEPPING

pühendatud Zeusile, kuid ükski neist ei olnud ehitatud kreekapäraselt. Võib oletada, et Ai Khanoumis elasid kõrvuti nii kreeklased kui ka põliselanikud. Linnast on leitud kreekakeelseid raidkirju ja papüürusi, skulptuure ja tarbesemeid, mis näitavad, et linnaelanikel olid tihedad sidemed ka kaugemate India piirkondadega.

Kreeka-Baktria riik püsis kuni aastateni 141–129 eKr, mil Baktriasse tungisid Hiina läänepiiridelt saabunud rändhõimud ja sellest piirkonnast sai kujuneva Kušaani riigi tuumikala. Ent Kreeka riiklus Indias sellega ei lakanud.



Kreeka-India riigile pani aluse Baktria kuningas Demetrios I

WIKIPEDIA

rahva, kušaanide võimuga. Ent kreeka-keelne elanikkond püsis meie ajaarvamise esimestel sajanditel edasi ka Kušaani riigis (vt Horisont 3/2019).

Rahvad, keeled, kultuurid ja usundid Kreeka-Baktria ning Kreeka-India riigis

Nii Kreeka-Baktria kui ka Kreeka-India riigi ala asustasid mitmesugused rahvad ja hõimud. Linnadesse koondunud ülemkihti kuulusid mõlemas riigis kreeklased ja kreekastunud make-doonlased ning kreeklastest koosnes ka nende riikide armee. Suurema osa mõlema riigi elanikkonnast hõlmasid aga kohalikud Iraani ja India rahvad, kes elasid nii linnades kui ka maal. See tõttu olid mõlemad riigid mitmekeelsed: peale kreeka keele olid neis kasutusel eri Iraani (baktria, sogdi) ja India keeled (sanskrit, eri praakritid) ning võimalik, et ka aramea keel, tollal idas laialdaselt levinud rahvastevahelise suhtlemise keel.

On loomulik, et sellistes oludes olid kultuuridevahelised kontaktid tihedad ja eri kultuurid mõjutasid üksteist. Loomulikult olid mõlemas riigis levinud ka mitmekesised usundid ja kultused: kreeka usund, erisugused Iraani usundid, hinduism, džainism ja budism. Kultuurilisest ja religioosest mitmekesisusest annavad tunnistust Kreeka-India riigi valitsejate mündid, mille legendid on ühtaegu kreeka keeles ja India keeltes ning millel on kujutatud nii kreeka kui ka hinduistlikke jumalaid. Eri kultuuride vastastikuste mõjude kõige huvitavam väljendusvorm Kreeka-Baktria ja Kreeka-India riigis on aga omapärase kreeka-budistliku kultuuri kujunemine.

Kreeka-budistlik kultuur

Praeguse Pakistani ja Afganistani alale jõudis budism juba Maurja dünastia kuninga Ašoka valitsusajal (268–232 eKr). Ašoka saatis oma misjonäre eri piir-

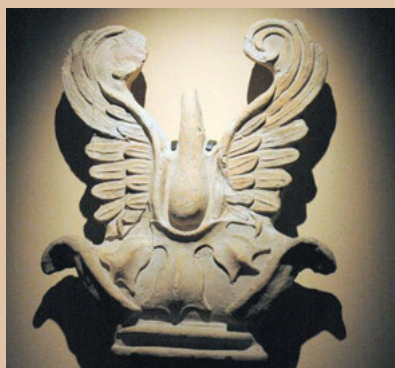
Kreeka-India riik

Kreeka-Baktria riigi järeltulijaks sai Kreeka-India ehk Indo-Kreeka riik tuumikalaga Gandhāras. Kreeka-India riik tekkis 2. sajandi algul eKr, kui Baktria kuningas Demetrios I (u 200–182 eKr) laiendas oma võimupiire Hindukuši mäestikust lõunasse ning hõivas Gandhāra ja sellega piirnevad alad. Kuningas Menandros (elu- ja valitsusaastad teadmata), kes tuli ilmselt võimule usurpaatorina, üritas kahe India valitseja toel laiendada oma võimupiire Gangese piirkonnani. Kuigi tal õnnestus vallutada Maurjate pealinn Pāṭaliputra, pidi ta India valitsejate nõudel siiski Gangese orust taanduma ja Gandhāra piiridesse jääma. Kui Kreeka-Baktria riik langes nomaadihõimude valitsuse alla, kestis Gandhāras edasi kreeklaste võim ning Kreeka-India riik jätkas Kreeka-Baktria riigi traditsiooni.

Pärast Menandrost valitses Kreeka-India riiki veel kolm kuningat – Antalkidas, Straton ja Archebios –, kelle valitsemise järjekorras puudub uurijatel üksmeel. Ka nimetatud kuningate valitsusaastad on ebakindlad.

Umbes 70 eKr langesid Kreeka-India riigi alad sakkide ehk indosküütide valitsuse alla. Nende iraani päritoluga hõimude võim ei püsinud siiski kaua, vaid asendus peagi teise iraani päritolu

FOTOD: WIKIPEDIA



Leiud kunagisest Kreeka-Baktria linnast Ai Khanoumis: tiibadega antefiks, korintose kapiteel 2. sajandist eKr, vana mehe skulptuur samast sajandist ja indiapärase taldrik (koos suurendusega)



kondadesse Aasias ja kaugemalgi. Ehkki budismi leviku kõrgaeg nendel aladel jääb meie ajaarvamise esimesse kahte sajandisse, kui piirkond kuulus Kušaani riiki, on väga tõenäoline, et budism oli seal levinud juba Kreeka-Baktria riigi perioodil.

Rohkem on selle kohta andmeid Kreeka-India riigi ajast, mille tuntuim valitseja Menandros etendab Milinda nime all budistlikus traditsioonis tähtsat osa. Peale selle, et tema valitsusajal levis Kreeka-India riigis budism, on temast endast saanud budistlikus pärimuses Buddha seadmuse järgija. Milinda on oluline tegelane ka theravaada koolkonnast pärinevas tekstis „Milindapaṇha“ (pl „Milinda küsimused“), mis on kirja pandud ilmselt 1. sajandil pKr Sri Lankal. Selles teoses vestleb kuningas Menandros/Milinda munk Nāgasenaga budismi põhitõdedest (isiksuse osad, ümbersünd, mina olemasolu või puudumine jne). Teosest on ilmunud Linnart Mälli tõlkes katkendeid ka eesti keeles.

Kreeka-budistliku kultuuri kõige silmapaistvam mälestis on Gandhāra kunst, mis tekkis 2. sajandil eKr Gandhāras ja levis sealt Hindustani poolsaare sisealadele. Gandhāra kunst ühendas kreeka kunstile omased vormivõtted budistliku sisuga. Just tolles kunstikoolkonnas hakati esimest korda kujutama budasid ja bodhisattvasid inimkujulistena, kusjuures eeskujuna kasutati kreeka skulptuure.

Gandhāra kunstikoolkond on seda olulisem, et selle mõju ulatus Hindustani poolsaare sisealadele, Kesk-Aasiasse ja selle kaudu ka Hiina ja Jaapanini. Ka kuulsad Bamiyani oru hiiglaslikud seisvad Buddha skulptuurid Afganistanis, mis pärinesid 5. või 6. sajandist pKr (Taliban hävitas need), olid mõjutatud Gandhāra kunstist. Oluline on märkida, et budism ei levinud mitte ainult Kreeka-Baktria ja Kreeka-India riigi põlisrahvaste, vaid ka sealsete kreeklaste seas.

Kreeka diasporaa lõpp

Nagu märgitud, läksid Kreeka-India riigi alad 1. sajandil eKr sakkide võimu alla, kuid riismed sellest säilisid hiljemgi. Viimane iseseisev Kreeka-India riigist järele jäänud kreeklaste kuningriik Ida-Pandžabis langes sakkide valitsuse alla umbes 10 pKr, kuid kreeka-keelne elanikkond sellega veel ei hääbunud. Kreeklasi elas edasi nii sakkide vallutatud territooriumidel kui ka Kušaani riigis, mis püsis iseseisva kuningriigina 3. sajandini pKr.



Kreeka-budistliku kultuuri kõige silmapaistvam mälestis on Gandhāra kunst, mis tekkis 2. sajandil eKr. Pildil Gandhāra stiilis valmistatud Buddha kuju 1.–2. sajandist

Aja jooksul kreekakeelne rahvastik kahanes, kuni see assimileerus täielikult kohalike rahvaste ja hõimudega. Samal kombel on Indias kohaliku rahvastikuga assimileerunud mitmed teisedki sinna tunginud rahvad ja hõimud: sakid, kušaaniid, partlased ja hunnid. Kõik nad on aga jätnud oma jälje India ajalukku ja kultuuri ning ilma neid tundmata ei oleks meie pilt Indiast täielik.

Jaan Lahe (1971) on religiooniloolane. Tartu ülikooli usuteaduskonnas kaitstud doktoritöös käsitles antiikaegset gnostitsismi ja selle seoseid varase judaismiga. Ta on Eesti evangeelse luterliku kiriku usuteaduse instituudi erakorraline professor, õpetab nii usundiloo kui ka uue testamendi teaduse aineid, ning Tallinna ülikooli humanitaarteaduste instituudi kultuuri- ja religiooniuuringute dotsent. Tema peamised uurimisteemad on Rooma keisririigi usundilugu ning antiikmaailma kontaktid idamaadega.



QUO VADIS, LÕUNA-AAFRIKA?

Lõuna-Aafrika Vabariik (LAV) oli külma sõja aastatel Aafrika mandril ainuke riik, mis ei kuulunud arengumaade hulka. Ent edukusel oli kibe hind – apartheid. Alates 1994. aasta vabadest valimistest on riik olnud muutuste teel: üheksakümnendad tekitasid eufooria, et halvim on möödas ja uus kümnend toob LAV-ile uue ajastu. Paraku on jõutud taas ristteele, kus tuleb teha olulisi valikuid.



VIDA PRESS / ALAMY

Ebaseaduslikult tegutsevad kaevurid *zama-zama*d tõstavad Johannesburgi linna lähedal veoautole kullaosakesi sisaldava liivaga kotte, et viia need edasitöötlemiseks Matoliesville'i, kus liivast eraldatakse kuld

Nii apartheidiaegsel kui ka -järgsel ajal on LAV-i põliselanike huvisid esindanud juhtparteina Aafrika Rahvuskongress (ANC), mis on loodud 1912. aastal. Partei roll võitluses demokraatlike väärtuste eest on olnud läbi ajaloo tähelepanuväärne, sellesse poliitilisse organisatsiooni on kuulunud kõik viis demokraatliku perioodi presidenti. Neist kuulsaim, Nelson Mandela, etendas olulist osa lõhenenud ühiskonna lepitamisel. Tema mantlipärija Thabo Mbeki oli küll välispoliitikas edukas, kuid ei saanud kunagi nii populaarseks kui tema eelkäija. Viiest seni võimul olnud presidendist on kõige skandaalsem ja vastuolulisem korruptsioo-

nis ja vägistamises süüdistatud Jacob Zuma, kellel oli arvestatav toetajaskond Lõuna-Aafrika ühe suurima rahva suulude seas. Zumale kuulub ka loosung „ANC jääb võimule kuni Kristuse teise tulekuni“.

Paraku ei ole ANC võimulolek suutnud lahendada paljusid riigi probleeme. Apartheidiaastatel, kui riiki valitses veel afrikaanide Rahvuspartei, kirjutas ajaloolane Leo Marquard, et nn rahvusparteide fundamentaalne viga on tihtipeale olnud partei segi ajamine riigiga. Kahjuks kehtib see ka 26 aastat järjest Lõuna-Aafrika Vabariiki valitsenud ANC kohta. Nelson Mandela kritiseeris juba 1997. aasta parteikonverent-

sil ANC liikmeid kiire rikastumise ja liialdava rahakulutamise eest. Hoolimata parteiga kaasas käivatest vastuoludest on ANC ja LAV paljudele lõuna-aafriklastele kattuvad mõisted, mis kajastub valimistulemustes.

Maad ja tööd!

Ent riigis on järjest süvenenud pinged, millel on hulk põhjusi: töötus, kasvav kuritegevus, AIDS, pooleliolev maareform, ANC sisepinged, püsiv konflikt opositsiooniparteidega jne. Maareformiga loodetakse leevendada põliselanike hulgas valitsevat teravat maapuudust, mis on tegelikult apartheidide pärand: peaaegu 90% LAV-i põllumaast on



Lõuna-Aafrika Vabariik



Pealinnad: Pretoria, Kaplinn (parlament); Bloemfontein (kõrgeim kohus)

Pindala: 1,2 miljonit km²

Riigikeeled: 11 ametlikku riigikeelt, sh suurima kõnelejate arvuga: suulu (24,7%), koosaa (15,6), afrikaani (12,1), tsvana (9,8), pedi (8,9) ja inglise keel (8,4)

Valitsemisvorm: parlamentaarne vabariik

Rahvaarv: 58,5 miljonit

SKT elaniku kohta (2019): u 5500 € (Eestis u 22 200 €)

HIV-positiivseid: 7,5 miljonit (12,8% rahvastikust)

Allikad: worldbank.org, unaids.org, cia.gov/the-world-factbook/

kuulunud valgetele farmeritele. Kuidas aga teha reformi nii, et kõik rahule jääksid.

Seni on valged farmerid pidanud valitsuse pakutud hüvitisi loovutatava maa eest liiga väikeseks. 2017. aastal võttis ANC vastu seaduse, mille järgi võib maad teatud tingimustel sundvõõrandada üldse hüvitist maksmata ning praegune president Cyril Ramaphosa on lubanud senist poliitikat jätkata. Hoolimata valitsuse lubadusest ebaõiglust vältida pelgavad valged talunikud, et maareform võib lõppeda samamoodi kui naaberriigis Zimbabwe, kus valge kogukonna maad sundvõõrandati ja endistel maaomanikel tuli riigist lahkuda.

Pealegi kummitab LAV-i elanikke tööpuudus: 2016. aastal oli tööta iga neljas lõuna-aafriklane, sealhulgas pooled riigi noortest. Lahendust peaks pakkuma haridussüsteem, kuid see on viimastel aastatel kriisis vundunud. 2015. ja 2016. aasta protestiaktisioonidega #FeesMustFall esitasid üliõpilased nõude vähendada õppemakse. Seejärel algatati aga juba arutelu õppekavade dekoloniseerimise üle, et haridust ei antaks mitte läänemaailma, vaid Aafrika perspektiivist lähtudes. Protestide ajal tekitati ülikoolide raamatukogudele ja ehitistele ligi poole miljardi randi eest kahju. Toetudes ühe LAV-i kolleegi kommentaarile, tundub siiski tõenäolisem, et seda hävitustööd ei teinud üldjuhul mitte üliõpilased, vaid pigem üsna juhuslik seltskond, kes ei olnud seotud kõrghariduse ega selle tulevikuga.

Meeleheitel zama zama'd

Tööpuudus valitseb ka Lõuna-Aafrika ühes seni tulusaimas majandusvaldkonnas mäetööstuses, mis annab teenistust ligikaudu 460 000 inimesele ja hõlmab 8% riigi SKP-st. Samas ei tooda näiteks kolm neljandikku kullakaevandustest enam kasumit. Sellest tingitud tööpuudus on üks illegaalselt tegutseva kaevurkonna tekke põhjusi. Suulu keeles kutsutakse neid *zama zama'* deks, mida võiks eesti keelde tõlkida kui „õnnekütte“. Neile pakuvad huvi mahajäetud kaevandused, mille labürintid ulatuvad risti-põiki läbi Lõuna-Aafrika suurima kullakaevanduspiirkonna Witwatersrandi.

Legaalset töötab kullakaevandustes 120 000 inimest, *zama zama'*sid arvatakse olevat kokku kuni 30 000. Ebaseaduslikud kaevurid, kellest paljud on pärit piiri tagant (Zimbabwe, Mosambiigi, Lesotho, eSwatinist), ründavad tavaliselt mahajäetud kaevandusi. Kullaotsingutes seatakse oma elu suurde ohtu: mehed ja noorukid elavad päevi või koguni nädalaid päevavalgust nägemata maa-all, kartes konkurente, kes võivad tulusa piirkonna hõivata. Eri rühmitused konfliktid peavad mõnikord noahaavade, raskematel juhtudel tapmisega. Peale selle ohustavad õnnekütte saja-aastastes kaevandustes halb ventilatsioon ja varingud.

Hoolimata politsei püüetest *zama zama'*de tegevust tõkestada on nende arv üksnes suurenenud: õnnestunud tööpäev võib rahakotti tuua ligikaudu 3000 randi (ca 210 dollarit), seevastu

palgatööjõu päevatasu on 200 randi. Paraku on õnneküttide tegevus hea kasulava nii keskkonnaprobleemidele kui ka kuritegevusele. Hiljuti valmis neist dokumentaalfilm „We are zama zamas“, kus filmi autor, Columbia ülikooli antropoloogiaprofessor Rosalind Morris selgitab selle nähtuse sotsiaalseid tagamaid. On selge, et *zama zama'*de tegevuse kriminaliseerimisest on vähe kasu, sest see ei paku lahendust meeletule inimestele – probleem on märksa laiem.

Kuhu edasi?

Kõige eelneva taustal seisneb LAV-i suurim katsumus hoopiski AIDS-i seljatamises. Lõuna-Aafrika Vabariigis elab üle 58 miljoni inimese, kelle seas oli 2019. aastal 7,5 miljonit HI-viiruse kandjat ja AIDS-i põdejat. Selliste näitajatega on LAV maailmas pingerea tipus. On omamoodi märgiline, et AIDS-i suri ka üks president Mandela poegadest.

Viimased paarkümmend aastat on näidanud, et ANC ei ole suutnud pidurdada riigi sotsiaalmajanduslikku langust. Nii ongi mõned analüütikud pessimistlikult täheldanud, et Lõuna-Aafrika Vabariik ei saa endale korraga lubada nii ANC valitsust kui ka moodsat industriaalmajandust. Seda, kas lahenduseks võib olla koalitsiooni loomine opositsiooniga ja ühisvalitsemine, näitab aeg. •

Karin Veski, Tartu ülikooli uusima aja lektor

NOVEMBER-DETSEMBER: PINNASEPROOVID ASTEROIDILT RYUGU JA KUULT

• GPS-satelliidid:

5. novembril startis Canaverali neeme SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile USA kosmosejõudude kolmanda põlvkonna GPS-satelliidi. Kanderaketi esimene aste maandus pärast kasutamist seegi kord edukalt Atlandi ookeanis oodanud pargasele.

• Uus kanderakett:

7. novembril startis Hiina loodeosast Jiuquani kosmosekeskusest Galactic Energy kanderakett Ceres-1, mis viis orbiidile sidesatelliidi Tianqi 11. Tegu on uue aparaadiga kanderakettide valdkonnas. Ceres-1 on neljaastmeline ja 19 meetri pikkune ning suudab orbiidile viia kuni 350 kg kasulikku lasti.

• Tahkekütuskiirendid:

13. novembril startis Canaverali neeme kosmodroomilt United Launch Alliance'i kanderakett Atlas 5, mis toimetas orbiidile USA riikliku luureameti ülisalajase tehiskaaslase. Kanderaketil kasutati lisaks peasektsiooni mootoreile uut tüüpi tahkekütusel töötavaid kiirend-rakette.

• Meeskond ISS-i:

16. novembril startis NASA Kennedy kosmosekeskusest SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile SpaceX-i mehitatud kosmoselaeva Crew Dragon. Meeskonnas on astronaudid Shannon Walker, Victor Glover, Mike Hopkins ja Soichi Noguchi. Jaapanlane Soichi Noguchi on nüüd kosmosesse lennanud nii kosmosesüstikuga, venelaste kosmoselaevaga Sojuz kui ka uhiuue Crew Dragoniga. 27 ja poole tunnise lennu järel põrkuti rahvusvahelise kosmoselaevaga ISS, kus olid ees ootamas Sergei Rõžikov, Sergei Kud-Svertškov ja Kate Rubins. Esimest korda on ISS-il seitsmeliikmeline meeskond. Pärast eelnevat katselendu oli see Crew Dragonil esimene ametlik kosmoselend.

• Raketi rike:

7. novembril startis Lõuna-Ameerikast Guajaana kosmodroomilt ESA kanderakett Vega, et viia orbiidile Hispaania satelliit SEOSAT-Ingenio ja Prantsuse tehiskaaslane Taranis. Kaheksa minutit pärast starti, kui pidi käivituma kanderaketi neljas aste, tekkis rike, mistõttu ei õnnestunud orbiidile jõuda. Hilisema telemeetriaandmete analüüsi järgi põhjustas vea valepidi ühendatud kaabel. See-

ga on viimasest kolmest Vega stardist kaks ebaõnnestunud.

• Kosmoseskäik ISS-il:

18. novembril väljusid ISS-ist avakosmosesse kosmonaudid Sergei Rõžikov ja Sergei Kud-Svertškov. Õhulüüsina kasutati väljumiseks esimest korda pötkemoodulit Poisk. Meeste ülesanne oli valmistada ette mooduli Pirs eemaldamine, et vabastada selle koht tänavu saabuval uuele moodulile.



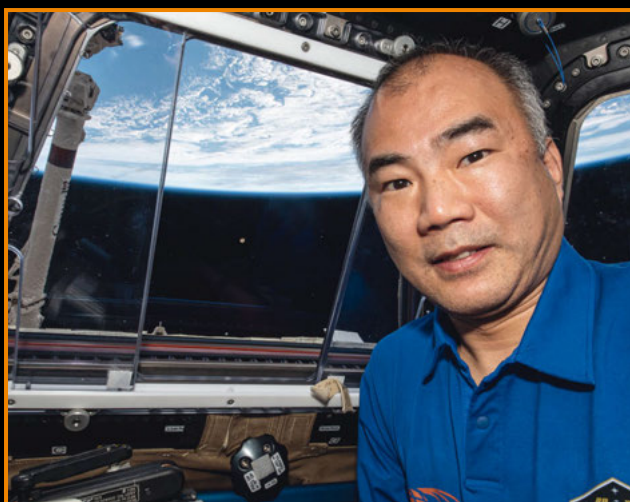
GALACTIC ENERGY

Ceres-1 stardiplatvormil



NASA

Sergei Rõžikov ja Sergei Kud-Svertškov valmistuvad ISS-ist väljuma



NASA

Soichi Noguchi ISS-i vaatlusmoodulis

• Starlink:

18. novembril startis Canaverali neeme õhujõudude baasist SpaceX-i kanderakett Falcon 9, mis viis orbiidile 60 järjekordset Starlinki sidesatelliiti.

• Electron:

19. novembril startis Uus-Meremaal Rocket Labi kanderakett Electron ja viis orbiidile 30 väikest satelliiti. Rocket Lab plaanib oma kanderaketi esimest astet taas kasutada. Kui SpaceX-i Falcon 9 esimene aste maandub iseisvalt, siis Electron kulutab ära kogu kütuse ning esimene aste maandub langevarjuga. Seekord langes esimene aste langevarjuga Vaiksesse ookeani.

• **Sentinel-6:**

21. novembril startis Vandenbergi õhujõudude baasist SpaceX-i kanderakett Falcon 9, mis viis orbiidile Euroopa vaatlussatelliidi Sentinel-6. Radaraltimeetri ja mikrolaineradio-meetriga varustatud tehiskaaslane hakkab mõnesentimeetrise täpsusega jälgima merevee taset.

• **Laev Kuu juurde:**

23. novembril startis Wenchangi kosmodroomilt Hiina kanderakett Long March 5, mis toetas Kuult pinnaseproovi toomiseks kosmosesse kosmoselaeva Chang'e 5. Laev jõudis Kuu orbiidile 28. novembril.

• **Starlink:**

25. novembril startis Canaverali neeme õhujõudude baasist SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile 60 järjekordset Starlinki seeria sidesatelliiti. Kokku on neid nüüd orbiidil 955. See oli kanderaketi Falcon 9 sajast start.

• **Kuu pinnaseproov:**

1. detsembril maandus Kuul Selguse mere piirkonnas Hiina kosmoselaeva Chang'e 5 maandumismoodul. 2. detsembril võttis see pinnasest edukalt proovi ning 3. detsembril startis moodul tagasi Kuu orbiidil oleva kosmoselaeva poole.

• **Kivimid asteroidilt:**

5. detsembril maandus Austraalias Woomera lähedal Jaapani kosmosesondi Hayabusa 2



Ryugult Maale jõudnud kivimid

maandumiskapsel. Sellega jõudsid Maale 2019. aastal asteroidilt Ryugu võetud kivimiproovid. Seejärel suundus kosmosesond jätkumissioonile, mis hõlmab 2026. aastal möödalen-du asteroidist ning veel ühe väikese ja kiirelt pöörleva kosmilise keha külastamist aastal 2031.

• **Varustust ISS-i:**

6. detsembril startis Floridast NASA Kennedy kosmosekeskusest SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile sama firma veolaeva Dragon. Veolaeva mudelit oli uuendatud ja sellega toimetati ISS-i 3,2 tonni varustust ja teaduskatsete vahendeid. See oli esimene üheksast NASA tellitud varustuslennust. Laev pökkus ISS-iga 7. detsembril.

• **Gammäsälvatuste uurimine:**

9. detsembril startis Hiina edelaosast Xichangi kosmosekeskusest kanderakett Long March 11, mis viis orbiidile kaks väikest

satelliiti GECAM. Ligikaudu 150 kg kaaluvate tehiskaaslastega hakatakse uurima gravitatsioonilainetega seotud gammäsälvatusi.

• **Angara A5 katselend:**

14. detsembril startis Plessetski kosmodroomilt katselennule Vene kanderakett Angara A5, mis toimetab koos viimase astmega Breeze M ettenähtud orbiidile katselaadungi. Angara A5 on alates 1980. aastatest Venemaa võimsaim kanderakett, mis võib viia 200 km kõrgusele orbiidile 24,5 tonni lasti. Sellega on plaanis välja vahe-

tada kanderakett Proton. Angara A5 esimene katselend oli juba 2014. aastal.

• **Pinnaseproovid Kuult:**

16. detsembril maandus Hiinas kosmoselaeva Chang'e 5 kapsel, mis tõi Kuult Maale 1731-grammise pinnaseproovi. Umbes 300 kg kaaluv kapsel maandus Hiina Sise-Mongoolia provintsis. Eelmised Kuu pinnaseproovid saabusid Maale 44 aastat tagasi; seni olid niisuguse ülesandega hakkama saanud USA Apollo-programmi astronautid (programmi käigus toodi Kuult Maale 382 kg pinnaseproove) ja Nõukogude Liidu automaatajamad Luna.



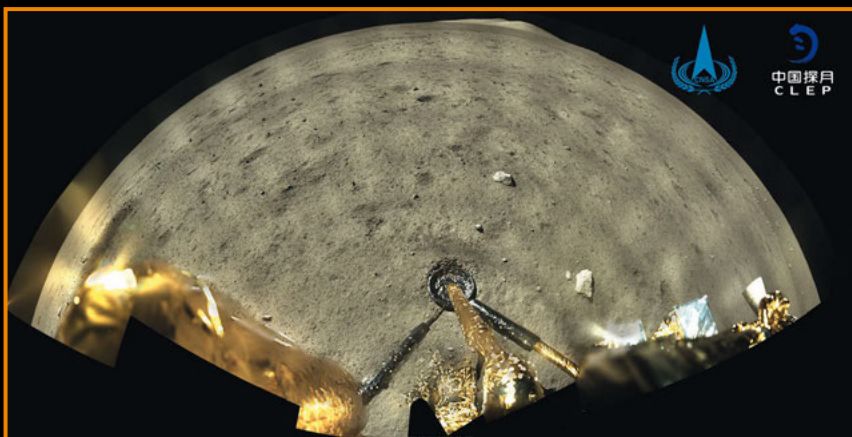
Angara A5 stardiplatvormil

• **OneWeb:**

18. detsembril startis Vostotšnõi kosmodroomilt Venemaa kanderakett Sojuz-2.1b ja viis ettenähtud orbiitidele 36 järjekordset firma OneWeb lairibainternetiühendust pakkuvat satelliiti. Sellega on OneWebi planeeritud 650 sateliidist orbiidile jõudnud 110.

• **Raketistartide rekordaasta:**

19. detsembril startis Floridast NASA Kennedy kosmosekeskusest SpaceX-i kanderakett Falcon 9, mis viis orbiidile USA riikliku luureameti luuretehiskaaslase NROL-108. See oli Florida 2020. aasta kolmekümnes orbiidile jõudnud raketi start, millega ületati ühe stardiga juba 1966. aastast püsinud startide rekord.



Chang'e 5 maandurilt tehtud panoraampilt Kuu pinnast

✍️ **Jüri Ivask**, Horisondi kosmosekroonik

ANU PRINTSMANN, JÜRGEN ÖÖVEL, ÜLLE LIIBER

VIRTUAALNE GEOGRAAFIAOLÜMPIAAD

 VAATA LISAKS:
 kooligeograafia.ut.ee
 bgo.org.rs

Kas koroonaviiruse eriolukorras on võimalik olümpiaadi pidada kodudes? Muidugi! Aga virtuaalset maastikuvõistlust? Kahtlemata!

2019/2020. õppeaasta olümpiaadihooaeg algas tavapäraselt. Piirkonnavoore peeti koolides 11. veebruaril 2020, koroonapiirangutest ei teatud sel ajal veel midagi. Nagu ikka, olid ülesanded Moodle'i keskkonnas. Et vältida viiperusi, oli algus kavandatud viitstardina, et serverite ülekooormust hajutada. Ühtlasi hoiatati, et kui lehe laadimisel ilmneb probleeme, tuleb pigem oodata kui liiga sageli lehte värskendada. Piirkonnavoore osales üle 1500 noore.

Abiturient Jürgen Öövel meenutab: „Geograafiaolümpiaadil osalemine oli minu jaoks tavalisest pingelisem, sest oli vaja murda rahvusvahelistel olümpiaadidel käivaid noori kimbutav needus, mis nad tihti piirkonnavoore konkurentist välja lööb. Ülesanded tundusid varasemate aastate omadega sarnased. Ainsa mälestusena tooksin välja selle, et aega tundus olevat varasemast vähem. Samuti, nagu alati, esines ka seekord tehnilisi viiperusi, mis lahendamist segasid“.

12. märtsil 2020 välja kuulutatud eriolukorra tõttu pidi žürii ürituse korraldust alata ümber mõtestama. Keegi ei tahtnud loobuda lõppvoorst ja nii toimuski see 8. mail, aga mitte Valgas, nagu oli plaanitud, vaid igaühe kodus, e-olümpiaadina. Virtuaalne võistlus võimaldas lõppvoorust lubada veidi rohkem osalejaid: 100 asemel 119.

Kõige suurem muutudust õpilastele oli testi teistsugune seadistus, et tagada võimalikult aus võistlus. Tavaolukorras sai ülesandeid lahendada soovitud järjekorras ja üle kontrollida nii kaua, kui oli aega antud, ent nüüd ei saanud juba lahendatud küsimuste juurde tagasi pöörduda. Mõistagi oli loogiline eeldada, et kodus lahendamiseks kaasnevad olümpiaadi käigus muutused, mida oli ka selgitatud. Paraku paljud noored siiski juhendeid ei lugenud ning neid tabas ebameeldiv üllatus: ülesandeid ei saanud enam üle kontrollida ja veel täbaram oli olukord siis, kui mõni ülesanne jäeti esimese hooga üldse lahendamata.

Jürgen Öövel: „Olin korralduse suhtes üpris skeptiline. Kirjalikust osast jääb mulle kindlasti meelde otsus, mille kohaselt ei lubatud varasemate küsimuste juurde tagasi pöörduda. See suurendas ajapinget ning teadmatust, sest ei olnud võimalik enda aega planeerida. Seetõttu jäid varasemates ülesannetes vastused pinnapealsemateks ning hilisemad said asjata põhjalikud vastused. Sellega kaasnes ka pettumustunne, eriti kui selgus, et viimaste ülesannete seas oli ka lihtsaid või lühikesi ülesandeid“.

Maastikuvõistlust planeerides püüdis žürii luua võimalikult elulise olukorra, et õpilased tunneksid end arvuti taga nii, nagu viibiksid nad tõesti Valgas. Kohapeal olles on õpilased pidanud alati ise mingi kaardi koostama, selline võimalus anti neile ka seekord.

Jürgen Öövel: „Virtuaalne maastikuvõistlus oli minu arvates väga hästi lahendatud. Google'i tänavavaate kasutamine oli lausa

geniaalne. Samuti meeldis mulle, et küsimused olid üles ehitatud nii, nagu oleks olümpiaad kohapeal toimunud“.

Olümpiaadi võitja Ove Üllar Viesemanni sõnul tõi talle võidu see, et igavusest ajendatuna uuris ta varem eri kaardiportaale.

Hoopis teisiti hinnati ka töid ja jagati autasusid. Žüriiliikmed hindasid õpilaste töide koduarvutis. Võitjatele saadeti autasude nimekirja, millest igaüks sai valida endale sobiva.

Ära jäid ka Baltimaade olümpiaad Suwalkis (kuigi algul plaaniti see augustisse edasi lükata) ning rahvusvaheline olümpiaad Istanbulis. Paljudes maades jäi olümpiaad mullu üldse pidamata ja teistes peeti samuti virtuaalselt.

Vahelduva eduga on algatatud mitmesuguseid piirkondlikke olümpiaade, kuid Eestile on seni piisanud kahest rahvusvahelisest võistlusest. Seekord otsustasime siiski kasutada võimalust osaleda Euroopa geograafiaolümpiaadil. Selle virtuaalse korralduse võttis enda õlule Belgradi andekate noorte keskus, kes korraldas ka 2017. aasta rahvusvahelise geograafiaolümpiaadi. Sel uut tüüpi võistlusel lõi kaasa 14 Euroopa riiki. Osalema võis saata ka nooremaid, 12–15-aastasi (kokku 28 osalejat), kuid Eesti osales kolmeliikmelise võistkonnaga 16–19-aastaste vanuseklassis (53 osalejat).

Võistlus peeti MS Teamsi keskkonnas. Lõppvõistluseks koguneti 29. augustil nõuetekohaselt Tartu ülikooli teaduskooli ruumidesse. Harjutamise tulemusena toimus kõik valutult, välja arvatud geograafidele irooniliselt algusaegade sünkroniseerimine, mis kulges meile soodsalt: kogunesime lihtsalt tund aega varem.

Euroopa olümpiaadil lahendasid õpilased kolm ülesannet kogumit: praktilised ülesanded 90 minuti jooksul ning pärast väikest vaheaega multimeediast (40 valikvastustega küsimust eri valdkondadest) 20 minuti jooksul. Seejärel oli lõunapaus ja tunniajaline kirjalik töö. Praktilises töös oli vaja planeerida jõesaar, määrata selle maakasutus ja pindala, raudteesiila asimuut jms. Kirjalik töö kattis kõiki geograafiavaldkondi alates geomorfoloogiast, kliimast kuni rahvastikuni. Praktilises töös jäi aega üle, kuid kirjaliku töö 50 küsimusele sooviti pikemalet seletavaid vastuseid üksnes tunni jooksul.

MEIE TUBLIMAD GEOGRAAFIAÕPPURID

Eesti geograafiaolümpiaadi gümnaasistide lõppvooru tulemused

I järk: Ove Üllar Viesemann, Nõo reaalgümnaasiumi 12. klass, õpetaja Mairi Küberson

I järk: Markus Vaher, Tallinna reaalkooli 12. klass, õpetaja Piret Karu

II järk: Oliver Möttus, Miina Härma gümnaasiumi 11. klass, õpetaja Maiu Kaljuorg

II järk: Jürgen Öövel, Hugo Treffneri gümnaasiumi 12. klass, õpetaja Ülle Seevri

III järk: Allar Liivlaid, Gustav Adolfi gümnaasiumi 12. klass, õpetaja Tiina Naissoo

III järk: Andres Aleksander Tammer, Miina Härma gümnaasiumi 12. klass, õpetaja Ita Ilves

EUROOPA GEOGRAAFIAOLÜMPIAADI TULEMUSED

Kuldmedal, 2. koht:

Jürgen Öövel, Hugo Treffneri gümnaasiumi 12. klass, õpetaja Ülle Seevri

Pronksmedal, 19. koht:

Oliver Möttus, Miina Härma gümnaasiumi 11. klass, õpetaja Maiu Kaljuorg

Pronksmedal, 36. koht: Maivo Sirelbu, Paide Hammerbecki põhikooli 9. klass, õpetaja Jaanus Moppel

Jürgen Öövel annab hinnangu: „Päris võistluspäevale eelnes peaproov, mis võimaldas kontrollida Teamsi süsteemi sobivust. Võistluspäeval esines siiski mõningaid tagasilööke. Eriti problemaatiline oli, kui testikeskkonnas ei laadunud ükski pilt ära, nendeta polnud võimalik ülesandeid lahendada. Nii kulus aega lihtsalt ootamisele. Siiski oli võistlus üldiselt sujuv ja nauditav. Ülesanded ise keskendusid Balkani poolsaare kultuurile ja geograafiale“.

Loodetavasti peetakse 2021. aasta geograafiaolümpiaadi lõppvoor siiski Valgas.

Eesti õpilaste lähetamine rahvusvahelistele võistlustele rahastab haridus- ja teadusministeerium ning korraldab Tartu ülikooli teaduskool. •



Euroopa geograafiaolümpiaadi medalistid (vasakult): juhendaja Anu Printsmann, Jürgen Öövel, Oliver Möttus ja Maivo Sirelbu

TERE KAPP / TÜ TEADUSKÜLA



Elo Reinik
**FRAKTAALGEOMEETRIA ALGAJATELE EHK
 VEIDRAD FRAKTALID**
 144 lk
 Avita, 2020

Seda kirjastuse Avita väljaannet ei jõua küllalt kiita matemaatikat hindavad ja armastavad lugejad: matemaatikud ja füüsikud, entusiastlikud matemaatika- ja füüsikaõpetajad ning -õppejõud, aga miks mitte ka kunstnikud või arhitektid. Eesti autorite populaarkirjandust matemaatika kohta ilmub ju ääretult vähe.

Raamatu teema fraktaalgeomeetria on paeluv väga mitmel põhjusel. Esiteks, teemat käsitletakse arvuti abil, ja kes ei tahaks tänapäeval arvuteid kasutada, ning veel parem, neid aktiivselt tööle panna. Teiseks, fraktalid on väga tänapäevased, võib-olla on õige öelda, et need tähistavad alles oma esimest juubelit. Kolmandaks, fraktalite algoritmid on harmooniliselt

ilusad, ja kui tahta seda ilu lõpuni mõista, siis peab suutma ette kujutada, mis on lõpmatus, ja sutikene teadma, mis on matemaatika. Autor on seda mõtet väljendanud järgmiselt (lk 105): „On üks asi teada või uskuda, et miski on võimalik. Palju keerulisem on aga mõista, kuidas see miski toimib ja eksisteerida saab“. Veel üks oluline aspekt: raamatus kirjeldatud algoritmide on iteratiivsed, st kui te olete arvutile selgeks teinud algoritmi esimese sammu, siis suudab arvuti teha kõik järgmised sammud automaatselt ja praegusajal tohutu kiirusega. Neljandaks, nad – ikka need fraktalid – on visuaalselt kaunid. Raamatu autor on siinkirjutajale kinkinud väljaande koopia, mis sisaldab kahte erilehte imeilusate fraktalite kleepsudega.

Enda sõnul püüab autor aidata selle raamatuga „kummutada müüti matemaatikast kui igavast ja mõttetust õppeainest“. Tahaks väga loota, et kui lugeja jõuab lõpulehekülgedeni, siis on tema vaade matemaatikale muutunud. Oma eesmärgi saavutamiseks on autor võtnud kõigepealt vaatluse alla n-ö elulise matemaatika, antud juhul kuidugi fraktalid. Head näited on kaseoks, veenired sulaval jääl, Saaremaa rannajoone droonifoto, lillkapsa läbilõige, leivakäär või autori tehtud ülesvõte (lk 31) rüsiääst Eestimaa rannas.

Matemaatika mõisted, nagu „funktsiooni pidevus“ ja „diferentseeruvus“ tulevad mängu juba raamatu algul, kui tutvustatakse Weierstrassi funktsiooni. On natuke kahju, et autor ei ole siin maininud diferentseeruvuse seost joone puutujaga. Puutuja mõistet teades saaks lugeja paremini aru,

miks see veidralt „karvane“ funktsioon, mida Henri Poincaré (1854–1912) nimetas monstrikiks, ei ole mitte kuskil diferentseeruv. Vaideldamatult tähtsad on teisendused (lõkked, pöörded), mille abil autor näitab elegantselt, kuidas kassi K_0 itereerimisel (lk 17–18) saadakse kassikolmnurk. Üldiselt eeldatakse raamatu lugejalt, et tal on kogemusi matemaatika mõistetega, nagu geomeetriliste kujundite sarnasus, kolmnurkade ja ringi omadused, tehted hulkadega, logaritmid, maatriksite korrutamine ja jada piirväärtus.

Teadupärast on fraktal geomeetiline kujund, mille mõõde on mittetäisarvuline.

Teise peatüki lõpp käsitleb fraktalite dimensioone; muu hulgas selgub, et Kochi kõver on midagi joone (ühemõõtmeline objekt) ja pinna (kahemõõtmeline objekt) vahepealset, sest selle mõõde on ligikaudu 1,262. Pealekauba on see kõver veidralt „karvane“, kusjuures iga karv näeb suurendatult välja sama veider kui kogu kõver ise.

Fraktalitega on tegelenud väga nimekad matemaatikud, nende hulgas üks 2020. aasta Nobeli füüsikaauhinna laureaate Roger Penrose. Tema fraktali eripära on asjaolu, et selle muster ei kordu mis tahes lükkel. Sellist fraktalit nimetatakse aperioidiliseks.

Raamat on mõeldud aktiivsele lugejale: selles on üle viiekümne harjutusülesande ja kaheksa lisa, mis õpetavad nagu koolilaste töölehedki, kuidas fraktaleid ehitada või nende omadusi uurida. Kogu raamatus on väga väärtuslikud viited veebilehtedele, kust on võimalik leida olulist ja lugejale jõukohast lisateavet. Teose tervikteostus – tekst, kirjanduse loetelu, joonised, illustratsioonid, kaardid ja fotod – viitab autori hoolsale pühendumisele.

Siiski üks väike märkus: kui kasutada kirjandusviiteid, kus on sulgudes esitatud autor(id) ja aastaarv, siis on mitme autori korral viisakas loetleda kõik autorid. Antud juhul oleks näiteks raamatuviite „Lepik, Ü., Engelbrecht, J. Kaoseraamat. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, 1999“ korrektne variant olnud „Lepik, Engelbrecht, 1999“, aga mitte „Engelbrecht, 1999“. Ka autorite nimede järjekorral on oma tähtsus.

Raamatu autor Elo Reinik lõpetas 2016. aastal Tallinna ülikooli matemaatikaõpetaja eriala magistrakraadiga. Ta on suurte kogemustega ja erilist metoodikat rakendav (praktikast teooriasse) matemaatikaõpetaja, samuti on ta digiõppematerjalide looja (vt Foxcademy). Ühtlasi on ta kõitev loengupidaja. Näiteks 2016. aasta juunis tegi ta Eesti matemaatika päeval fraktalitest ettekande, kandes seejuures ühe riietusesemena fraktaleid täis joonestatud tuunikat.

Kõrgelt tuleb hinnata raamatu mitmevärvilisi fraktalitest inspireeritud joonistusi, mille on teinud noor kunstnik Mirjam Raag. Oma kodulehel on ta kirjutanud, et tema „maalid ja joonistused kujutavad müstilisi reaalsusi ning muinasjutumaailmu“. •

✍ **Andi Kivinukk**, Tallinna ülikooli matemaatika emeriitprofessor



Isand Pea ehk Jaan Kumpase arvutiga genereeritud fraktaalne puu
 ILLUSTRATSIOON RAAMATUST

Vähimate kümnekohaliste arvude leidmine

Seekordsed ülesanded võiks ära lahendada, kasutades jaguvustunnuseid ning loogilist arutelu. Peale vastuse tuleks postitada ka mõttekäigud, mis võimaldasid lahendajal vastuse leida. Arvutiprogrammiga välja sõelutud vastuste eest üle ühe punkti ei teeni.

- 1 Leia vähim kümnekohaline arv, mis sisaldab kõiki numbreid 0-st kuni 9-ni ja mis jagub 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10-ga.
- 2 Leia vähim kümnekohaline arv, mis sisaldab kõiki numbreid 0-st kuni 9-ni ja mille esimene number jagub ühega, esimesest kahest numbrist moodustatud arv jagub kahega, esimesest kolmest numbrist moodustatud arv jagub kolmega ja nii edasi kuni lõpuni, seega esimesest üheksast numbrist moodustatud arv jagub 9-ga ning kümnest numbrist moodustatav arv jagub 10-ga.
- 3 Leia vähim kümnekohaline arv, mis sisaldab kõiki numbreid 0-st kuni 9-ni ja mille esimene number jagub kahega, kahest esimesest numbrist moodustatud arv jagub kolmega, ... , üheksast esimesest numbrist moodustatud arv jagub kümne-ga, kümnest esimesest numbrist moodustatud arv jagub ühega.
- 4 Leia vähim kümnekohaline arv, mis sisaldab kõiki numbreid 0-st kuni 9-ni ja mille esimene number jagub kolmega, kahest esimesest numbrist moodustatud arv jagub neljaga, ... , kaheksast esimesest numbrist moodustatud arv jagub kümne-ga, üheksast esimesest numbrist moodustatud arv jagub ühega ning kümnest esimesest numbrist moodustatud arv jagub kahega.
- 5 Leia vähim kümnekohaline arv, mis sisaldab kõiki numbreid 0-st kuni 9-ni ja mille esimene number jagub seitsmega, kahest esimesest numbrist moodustatud arv jagub kaheksaga, ... , neljast esimesest numbrist moodustatud arv jagub kümne-ga, viiest esimesest numbrist moodustatud arv jagub ühega, kuuest esimesest numbrist moodustatud arv jagub kahega, ... , kümnest esimesest numbrist moodustatud arv jagub kuuega.

Kuuenda vooru ülesannete vastused

Üi 1.

16	57	27
79	19	2
5	24	71

Üi 2.

50	43	7
36	40	24
14	17	69

Üi 3.

1	75	24
9	22	69
90	3	7

Üi 4.

34	59	7
27	29	44
39	12	49

Üi 5.

47	5	48
16	59	25
37	36	27

Üi 6.

16	57	27
69	6	25
15	37	48

Vastuste ärasaatmise tähtaeg on 10. veebruar 2021.

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

2021. aasta parimale nuputajale

auhinna 100 euro eest raamatuid Tallinna ülikooli kirjastuselt.



Vooru võitja

Vooru võitja saab kingituseks raamatu sarjast „Looduse raamatukogu“. Sarjas ilmunud raamatutega saab tutvuda veebilehel www.loodusajakiri.ee ja eelistustest saab teada anda toimetuse telefonil 610 4105 või meiliaadressil loodusajakiri@loodusajakiri.ee.

2020. aasta parim Enigma lahendaja on Kuldar Traks

Kuuenda vooru ülesanded ei olnud väga rasked. Kõik ülesanded lahendasid õigesti ja lisasid oma senistele punktidele kuus punkti: Kalle Kulbok, Marko Orav, Tiit Päril, Anti Sõlg, Kuldar Traks ja Hannes Valk. Meelis Reimets kaotas hooletusvea tõttu ühe punkti. Vooru-auhinna võitis loosiga TIIT PÄRIL. Aastaauhinnale jäi üldkokkuvõttes 43 punktiga konkureerima kaks väga kogunud ning edukat ülesannete lahendajat: Anti Sõlg ja Kuldar Traks. Loosi tahtel sai neist 2020. aasta parimaks Enigma lahendajaks KULDAR TRAKS, kes saab Tallinna ülikooli kirjastuselt auhinna 100 euro eest raamatuid. Palju õnne!

Vaata veebilehelt

Tulemuste tabeli leiata aadressilt www.loodusajakiri.ee ja Horisondi Facebooki-seinalt.

Tõnu Tõnso, matemaatik, Tallinna ülikooli lektor



Silpide hääldamise võime on osa meie evolutsioonist ja

KUMA

4000

SUDOKU

MIKKO LAINE

101 LOOGIKAMÖISTATUST

LAITE-SUDOKU

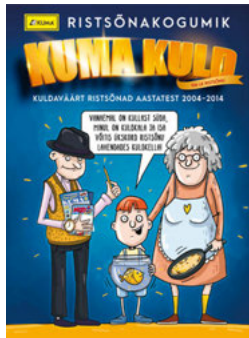
MINI-SUDOKU

MULTI-SUDOKU

Lahendajate vahel läheb loosi ristsõnakogumik Kuma Kuld.

Eelmise ristsõna vastus „Mida küpsem ühiskond, seda rohkem tegeletakse FUNDAMENTAAL-TEADUSTE JA VAIMSEMATE küsimustega” viitab mulluses viiendas Horisondis ilmunud intervjuule astrofüüsik Antti Tammega.
Loosi tahtel võitis Kuma Ristsõnaraamatu nr 4 HELI UST.

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



Arva ära!

LUGEJATE LEMMIK

Lugejate lemmiklugu eelmises numbris oli „Mis on eesti keeles erilist” (autor Liina Lindström).

Kui ei ole seda lugenud, osta (e-)ajakiri e-poest www.loodusajakiri.ee!

1 See mitmekülgne teadusemees andis muu hulgas panuses rahvastiku-teadusesse, kus võttis kasutusele mõiste inimese keskmise eluea kohta, mis oli tähtis elukindlustuste sõlmimisel. Ta koostas nimekirja tol ajal saladuslikest objektidest – udukogudest; avaldas esimesena maailmakaardi, mis näitas ookeanide kohal valitsevaid tuuli, ning ehitas tuukrikella, millega sukeldus 18 m sügavusele, viibides seal üle nelja tunni. Tema nime kannavad muu hulgas mitu tänavat erinevates riikides; võrrandite numbrilise lahendamise meetod; uurimisjaam; kraatrid Kuul ja Marsil. **Kellest on jutt?**



2 Pildil olev taim sai ladinakeelse nimetuse ühe Sitsiilia kuninga auks. Taime piklikud lehed paiknevad varrel kas paarikaupa vastakuti või kolmekaupa männases (selline leheseis on meie maismaataimedel erandlik). Taime on kasutatud riiete ja juuste värvimiseks ning rahvameditsiinis skorbuudi, kõhulahtisuse, palaviku ja haavandite korral. **Mis taim see on?**



FOTOD: WIKIPEDIA

3 Selle lahingus kadunuks jäänud kuninga kohta on palju legende. Peamine oli see, et ta pöördub koju tagasi, kui maa on kõige suuremas hädas (sammoodi kui brittide kuningas Arthur, sakslaste Friedrich Barbarossa või meie enda Kalevipoeg). Müüt kadunud kuninga tagasitulekust on jätnud rahva mõtlemisse müstilise jälje. **Kes on küsitav, ainus selle nimega kuningas oma rahva ajaloos?**



4 See UNESCO maailmapärandi nimekirja kuuluv hoone valmis ühe lahingu 100. aastapäevaks. Napoleon sai selles lahingus kaotuse osaliseks. Hoone kupli raudbetoonist põhikonstruktsioonide siseläbimõõt on 69 m ja kõrgus 42 m ning valmimise ajal oli see suurim omataoline ehitis maailmas. **Millises linnas asub see hoone, ehitusajaloos oluline teetähis?**



MÄLUSÄRU 6/2020 VASTUSED

1. Faatum.
2. Sequoyah (tšerokii kirjakeele looja).
3. Tom Bombadil.
4. Ubõhhi keel (fotol on aastail 1929–2019 elanud Jordania kuninganna Dina).
5. Walter Anderson.

● Mälusäru auhinnaraamatu – Rebecca C. Thompsoni „Tuli, jää ja füüsika: „Troonide mängu” teadus” – kirjastuselt ARGO võitsid ARNE TIMM, KADI KUUDER ja SILLE VARUL.



✍ Jevgeni Nurmla, Indrek Salis
mälu- ja mõtlemängurid

5 Selle ühe oma aja avangardistlikuma kirjaniku peateoseks peetava poeemi viies osas kasutab ta Spenseri, Dante, Baudelaire'i, Wagneri ja Shakespeare'i tsitaate, et luua rikkalik taust tänapäevastele tegelastele, kes nääklevad, naljatavad ja arutlevad oma elu üle. Seda teost on nimetatud „kirglikuks poeemiks kaasaegsest steriilsusest”. **Kes on see kirjanik?**



VASTA JA VÕIDA RAAMAT!

Vastanute vahel loosime välja kolm raamatut: Indrek Jäät „Reisid Lõuna-Aafrikas” kirjastuselt KOOLIBRI.

➔ Koos vastustega andke toimetusele teada ka selle numbrilise lemmikkirjutus.

VASTUSEID

ootame 15. veebruariks aadressil Endla 3, 10122 Tallinn või horisont@horisont.ee.

NB! Vastuste juurde kirjutage auhinna-loomis osalemiseks kindlasti oma mobiiltelefoni number ja postiaadress.

MÄLUSÄRU rubriiki toetab kirjastus Koolibri.



ENERGIASÄÄSTULAHENDUSED ÜLE EESTI

TERMOPILT OÜ PEAMISED TEGEVUSVALDKONNAD

Projekteerimine

Uutele või rekonstrueeritavatele hoonetele energiasäästlike lahenduste kavandamine, sealhulgas:

- Kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemid
- Hoonete veevarustuse ja kanalisatsioonisüsteemid
- Kaugkütte ja jahutuse asulavõrgud
- Veevarustuse ning kanalisatsiooni asulavõrgud
- Elektriprojektid (ka päikesepaneelide sidumine süsteemi)
- Soojustusprojektid

Meil on ulatuslikud kogemused kortermajadele komplektsete rekonstrueerimisprojektide koostamisel.

Konsultatsioonid

Energiasäästualane nõustamine ja vajaliku dokumentatsiooni koostamine:

- Elamute, ühiskondlike hoonete ja ka tööstushoonete energiaauditid
- Tööstusettevõtete energia- ja ressursiauditid
- Hoonete energiakasutuse dünaamilised simulatsioonid
- Uutele ja põhjalikult rekonstrueeritavatele hoonetele arvutuslike energiamärgiste koostamine
- Olemasolevatele hoonetele tarbimisandmete põhjal energiamärgiste koostamine
- Üldine energiatõhususe nõustamine

Möötmised

Erinevate möötmiste läbiviimine, mis aitavad saavutada energia kokkuhoidu ja tagada ohutust:

- Termograafilisel meetodil piirete kvaliteedi kontroll ja muud möötmised (elektriühenduste kvaliteet, kütte-seadmete ohutus ja palju muud)
- Hoonete sisekliima parameetrite möötmise ja jälgimine
- Välispiirete õhutiheduse kontroll ehk *blowerdoor* sealhulgas ka suurtele (>10 000 m²) hoonetele
- Küttesüsteemide vooluhulkade möötmise ja projektijärgne häälestamine ehk tasakaalustus



www.termopilt.ee
tel 601 6500 · info@termopilt.ee

TAMREX

VALI ÕIGED KINDAD

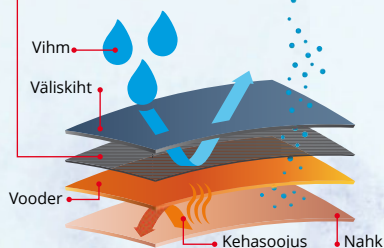
Külmakahjustusi saavad kõige kergemini keha perifeersed piirkonnad (sõrmed, varbad, põsed, nina ja kõrvad), kus soojaga varustav vereringe osutub külmas ebaküllaldaseks.



44-385

- Elastne tekstiil pöidla välisküljel
- Tugevdatud õmblused
- Puutetundlik ehk **touchscreen** materjal
- Soojapidav neopreen
- 3M helkurribad
- 3D lõige
- Elastne kangas käeseljal ja sõrmede välisküljel
- Pehme soonik

Veekindel ja hingav PU-membraan
Veekindlus: 15 000 mm.
Hingavus: 7 000 g/m² / 24 h



Töökinnaste valimine nõuab pisut kaasamõtlemist, süvenemist ja aega. Vahel ei osata õigesti hinnata riske, teinekord aga seab töökeskkond või ilm omad piirangud.

Mugavus

Õige suurusega hästi istuvad kindad on käes mugavad ja kaitsevad käsi nii, et te ei märkagi seda.

Vastupidavus

Kinnaste valmistamiseks kasutatud materjalid, töökeskkond ja ilm määravad selle, kui hästi kindad kestavad.

Soojapidavus

Kihiline lähenemine töötab ka kinnaste puhul. Vastupidava pealiskanga alune Thinsulate vooder on ülimalt õhuke, kuid väga hea isolatsiooniomadustega kangas, mis hoiab teie käed soojas. Veekindel membraan kinnastes kaitseb niiskuse ja vihma eest!

Hingavus

Ka käed vajavad õhutust, kui temperatuur kinnastes tõusma hakkab. Hea õhutusega kindad hoiavad teie käte head tervist!

TAMREX WinterPRO9000 Touch Screen talvekindad

25€



44-328

Soojad ja mugavad lateksvahuga töökindad
4.50€



44-376

A+ sünteetilisest nahast fliisvoodriga softkindad
4.90€



44-331

WonderGrip THERMO PLUS veekindlad soojad töökindad
7.90€



44-377

Sünteetilisest PU nahast softkindad sooja fliisvoodriga
8.90€



44-378

Sünteetilisest PU nahast softkindad krõpsrandme ja sooja fliisvoodriga
11€



44-302

A+ kitsenahast talvised softkindad
11€



44-409

Soojad loomanahast Hi-Vis talvekindad
12€



44-360

WinterPRO6000 Veekindlad Touch Screen talvekindad
18€

Hinnad sisaldavad käibemaksu 20% ja kehtivad kuni kaupa jätkub!