

Eesti Looduseuurijate Selts
Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut
Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut
Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut
Mäenduse ja geoloogia teadusklubi

KATASTROOFID MAA AJALOOS

Schola Geologica VIII

Tartu 2012

Autoriõigused: autorid, toimetajad ja Eesti Looduseuurijate Selts

TOIMETAJAD: Liina Laumets, Liisa Lang, Karin Truuver, Reet Nemliher

Kirjastanud Eesti Looduseuurijate Selts

Trükikoda OÜ Sulemees

Esikaane foto: Pompeii inimene.

Autor: Viirika Mastik

Kaane kujundus: Kadri Sohar

Eestikeelsed tõlked: Oive Tinn (*Perrier jt.; Buono*), Karin Truuver (*Buono*) ja Kadri Sohar (*Kalińska ja Nartišs*)

Pildilisa koostaja: Liisa Lang

Soovitatav viitamise vorm:

Kogu väljaandele:

Laumets L., Lang L., Truuver K., Nemliher R. (toim.) 2012. *Katastroofid Maa ajaloos. Schola Geologica VIII*. Eesti Looduseuurijate Selts, Tartu, 140 lk.

Artiklile:

Soosalu H. 2012. „Upgraded as super“ – mis mõttes?! Rmt.: Laumets L., Lang L., Truuver K., Nemliher R. (toim.) *Katastroofid Maa ajaloos. Schola Geologica VIII*. Eesti Looduseuurijate Selts, Tartu, lk. 12–18.

Kaheksanda geoloogia sügiskooli toimumist ja seotud teadusettekannete sarja "*Schola Geologica*" väljaandmist toetasid **Keskkonnainvesteeringute Keskus, Maateaduste ja ökoloogia doktorikool, Eesti Looduseuurijate Selts**, Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut ning Mäenduse ja geoloogia teadusklubi.

ISSN 1736-3241

ISBN 978-9949-9234-3-4

*Looduse kogemine on parim õpetaja.
Loodus on nauditav, kuid iga vea eest saab karistuse.
Paberloodus ei ole päris loodus ning kui kaasatud ei ole
looduse tundjad, joonistub paberile enesepete.
Kui tegutseme huupi, püüdes katastroofide põhjustajaid
juriidiliselt õigustada, oleme haavatavad.*

Ivar Puura
*Eesti Loodus (2009, 1) „Habras suhe loodusega teeb meid haavatavaks“
(intervjueerija Toomas Kukk)*

EESSÕNA

Liina Laumets

Selleaastase geoloogia sügiskooli teemaks on katastroofid meie koduplaneedi ajaloos. Käsitlemist leiavad nii looduse enda „põhjustatud“ katastroofid (vulkanismist, ebasoodsate ning drastiliste keskkonnatingimuste poolt põhjustatud ulatuslikest väljasuremistest kuni Universumis toimuvani), kui ka inimese isekusest, võimuihast ja majanduslikust tegevusest tingitud hukatuslikud tagajärjed. Samas ei pea olema katastroofid läbinisti negatiivsed kogu ümbritsevale keskkonnale. On ju kunagi anaeroobidele saatuslikuks saanud hapniku tekkimine kõike muud kui katastroof tänapäevase elu kujunemisteel.

Tänavu möödub 200 aastat Prantsuse loodusteadlase, paleontoloogia isaks peetava George Cuvier' ühe olulisema teose „Uurimus neljajalgsete kivistunud luustikest“ esmailumisest. Omal ajal tekitas see töö laialdast arutelu, kuna vihjati esmakordselt sellele, et ürgsed organismid on välja surnud ning eeldati, et tihti on selle põhjuseks olnud looduskatastroofid. Neljajalgsete fossiile uurides jõudis Cuvier järeldusele, et liikide ilmumine ja kadumine setetes on toimunud järsult, pidevate katastroofide tagajärjel.

George Cuvier'd peetakse võrdleva anatoomia ning selgroogsete paleontoloogia rajajaks, kes püüdis seostada looma eluviisi fossiilsete leidudega, väites, et mida sügavamatest kivimikihtidest loomade jäänused leitakse, seda erinevamad on need tänapäeval elavatest organismidest. Tema teeneks võib lugeda ka tõestust, et mammutid ei kuulu elevantidega samasse perekonda, nagu varem arvati. (Cuvier kohta saab rohkem lugeda nt. „Lehed ja tähed“ sarjas ilmunud raamatust „Vaim ja aeg“, 2009).

Katastroofiks võib pidada ka meie kalli kolleegi, õpetaja, juhendaja ning eelkõige suure sõbra Ivar Puura ootamatut lahkumist kesksuvel. Kahetsusega peab nentima, et käesolev sügiskool on esimene, mille lõppfaasis tundsid korraldajad kohutavat puudust Ivari toetavast õlast ning alati lahetest ja erakordselt positiivsetest sõnadest. See kogumik on arvatavasti esimene, mis pole sügiskoolide hinge, Ivari, tähelepaneliku ja väsimatu pilgu alt läbi käinud ning viimaseid parandusi saanud. Üritame aga siiski edasi minna, kandes sügiskoolides Ivari vaimsust ning helgust. Loodame ja julgustame praegusi ja tulevasi geolooge ning geoloogide sõpru jätkuvalt loodusest innustuma ja vaimustuma, nagu seda tegi meie Ivar, ükskõik millised on looduse keerkäigud...

Liina Laumets (liina.laumets@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A

SISUKORD

<i>Liina Laumets</i> Eessõna	3
<i>Heidi Soosalu</i> „Upgraded as super“ – mis mõttes?!	12
<i>Vladimir Sazonov</i> Saddam Hussein ja Iraagi katastroof	19
<i>Rein Einasto</i> Looduskatastroofide peegeldumisi Eesti paeläbilõikes	37
<i>Tarmo Soomere</i> Katastroofide füüsika: tormiaju ja tsunami	41
<i>Siim Sepp</i> Mis on tsunamisetted ja kuidas on need seotud Eestiga?	55
<i>Edyta Kalińska ja Māris Nartišs</i> Holotseenis toimunud intensiivne tuuletegevus Iisaku uuringualal	60
<i>Laurits Leedjärv</i> Kas Universum on sõbralik paik?	65
<i>Kristjan Sander</i> Katastroofid ulmekirjanduses	67
<i>Enno Reinsalu</i> Jõulud Alutagusel (müstifikatsioon)	73
<i>Oive Tinn</i> Ellujääja portree	77
<i>Vincent Perrier, Tõnu Meidla, Oive Tinn ja Leho Ainsaar</i> Ostrakoodifauna taastumine Kinnekulle vulkaanipurske järel	80

<i>Giuseppe Buono</i> Dinosaurused: aeglastest hiigelsisalikest lendavateks lindudeks. Lühiülevaade Kriidi-Paleogeeni piiril toimunud ökoloogilisest kriisist ja viimastest uuringutest	87
<i>Lauri Joosu</i> Suur hapnikusündmus – anaeroobide valitsemisaja lõpp.....	105
<i>Ingo Valgma ja Vivika Väizene</i> Tšiili kaevandusvaring – 2010. aasta kaevandusõnnetus ja meediasündmus.....	109
<i>Jan Johanson</i> Pinnasemehaanika elementaartõdedega arvestamine tagab tööde ohutuse.....	113
<i>Karin Truuver</i> Järelsõna.....	118
LISA	
Mälestusi Ivar Puurast.....	121
G. Buono <i>Dinosaurused</i>	126
I. Valgma ja V. Väizene <i>Tšiili kaevandusvaring</i>	131
J. Johanson <i>Pinnasemehaanika</i>	132
Fotomeenutused seitsmendast geoloogia sügiskoolist.....	133
G. Buono fototahvlid <i>Dinosaurused</i>	137

CONTENTS

<i>Liina Laumets</i> Foreword.....	3
<i>Heidi Soosalu</i> „Upgraded as super“ – in What Sence?!	12
<i>Vladimir Sazonov</i> Saddam Hussein and the Catastrophe of Iraq	19
<i>Rein Einasto</i> Reflections of Natural Catastrophes in Estonian Limestone.....	37
<i>Tarmo Soomere</i> Physics of Disasters: Storm Surge and Tsunami	41
<i>Siim Sepp</i> What are the Sediments of Tsunami and how are these Connected with Estonia?	55
<i>Edyta Kalińska and Māris Nartišs</i> Holocene Intense Aeolian Activity – A Case Study of Iisaku Site (NE Estonia)	60
<i>Laurits Leedjärv</i> Is the Universe a Friendly Place?.....	65
<i>Kristjan Sander</i> Catastrophes in Science Fiction.....	67
<i>Enno Reinsalu</i> Christmas at Alutaguse (A Mystification).....	73
<i>Oive Tinn</i> Portrait of the Survivor.....	77
<i>Vincent Perrier, Tõnu Meidla, Oive Tinn and Leho Ainsaar</i> The Recovery of Ostracod Fauna after Volcanic Abruption of Kinnekulle.....	80

<i>Giuseppe Buono</i>	
Dinosaurs: from Slow Giant Lizards to Flying Birds. A Brief Overview on their Recent Studies and their Ecological Crisis at Cretaceous/Palaeogene Boundary.....	87

<i>Lauri Joosu</i>	
The Great Oxygen Event – the End of Anaerobes Reign	105

<i>Ingo Valgma and Vivika Väizene</i>	
Mine Collapse in Chile on 2010 – Mining Accident and Media	109

<i>Jan Johanson</i>	
Applying Soil Mechanics Principles to Ensure the Safety of Work.....	113

<i>Karin Truuver</i>	
Epilogue	118

APPENDIX

Memories of Ivar.....	121
G. Buono <i>Dinosaurs</i>	126
I. Valgma and V. Väizene <i>Mining Collapse in Chile</i>	131
J. Johanson <i>Applying Soil Mechanics</i>	132
Photos of <i>Schola Geologica VII</i>	133
Photoplates of G. Buono <i>Dinosaurs</i>	137

AJAKAVA

"Katastroofid Maa ajaloos"

VIII geoloogia sügiskool
Nelijärve, Harjumaa

REEDE, 05. oktoober

- 15.00 – väljasõit Tartust, Chemicumi eest (Ravila 14a)
Tallinnast, TTÜ parklast (Akadeemia tee 3)
- 17.00 – saabumine, registreerimine, tervitusamps
- 17.30 – avasõnad

- 17.45 – avaettekanne: Cuvier, fossiilid ja revolutsioonid – 200 aastat paleontoloogiat ja katastrofismi – Tõnu Meidla (TÜ)
- 18.30 – Uranium resources under the earth and sea – Erich Schneider (University of Texas at Austin)
- 19.30 – Supervulkaanid – Heidi Soosalu (TTÜ, EGK)
- 20.00 – õhtusöök
- 21.00 – Ivar Puura mälestusõhtu

LAUPÄEV, 06. oktoober

- 08.30 – hommikusöök
- 09.30 – Saddam Hussein ja Iraagi katastroof – Vladimir Sazonov (KVÜÖA)
- 10.00 – Katastroof kui juhumuutlikkuse ilming – Jaan Kalda (TTÜ)
- 10.30 – Katastroofide hindamisest – Erik Puura (TÜ)
- 11.00 – kohvipaus

- 11.30 – Looduskatastroofide peegeldumisi meie (Eesti) läbilõikes – Rein Einasto (TTK)
- 12.00 – Tsunamid ja mereäärsete alade üleujutused – Tarmo Soomere (TTÜ)
- 12.30 – Tsunamisetted Eestis? – Siim Sepp (Sandatlas www.sandatlas.org)

- 12.50 – Hilisglatsiaalsed keskkonna- ja kliimamuutused Ida-Baltikumis – järve Lielais Svetinu näitel – Merlin Liiv (TTÜ)
- 13.10 – Katastroofilised sündmused Maa ajaloos – geoloogi vaatevinkel – Juho Kirs (TÜ)
- 13.30 – lõunasöök

- 14.30 – Vaba aeg, matk, bussireis Koitjärve rappa Tõnu Ploompuu (TLÜ) juhendamisel.

17.00 – kohvipaus

17.30 – Kas Universum on sõbralik paik? – Laurits Leedjärv (TO)

18.00 – Katastroofid Päikesesüsteemis – Tõnu Viik (TO)

18.30 – Katastroofid ulmekirjanduses – Kristjan Sander (TÜ)

19.00 – õhtusöök

20.00 – 22.10 Film / Arutelu Enno Reinsalu (TTÜ) müstifikatsiooni
„Jõulud Alutagusel. Müsteerium“ põhjal

22.00 – 02.00 Orienteeruv saunaaeg

PÜHAPÄEV, 07. oktoober

09.00 – hommikusöök

10.00 – Inimese geenid, vulkaanid ja jääajad – kas neil on seos? – Helle-
Viivi Tolk (TÜ)

10.30 – Ellujääja portree – Oive Tinn (TÜ)

11.00 – Ostracod recovery after the Kinnekulle bentonite – Vincent Perrier
(TÜ)

11.30 – Dinosaurs, from slow giant lizards to flying birds – Giuseppe
Buono (TÜ)

12.00 – lõppsõna

12.30 – lõpulõuna

14.00 – lahkumine Tartusse ja Tallinnasse

Kasutatud lühendid:

TÜ – Tartu Ülikool

TTÜ – Tallinna Tehnikaülikool

KVÜÕA – Kaitseväge Ühendatud

Õppeasutused

TTK – Tallinna Tehnikakõrgkool

TLÜ – Tallinna Ülikool

TO – Tartu Observatoorium

EGK – Eesti Geoloogiakeskus

GEOLOGIA SÜGISKOOLID

SCHOLAE GEOLOGICAE

- I 2005 Kiidi – Teadus geoloogias
- II 2006 Reiu – Vasaraga tähtede poole
- III 2007 Pikajärve – Mudelid ja modelleerimine
- IV 2008 Mäetaguse – Suured teooriad
- V 2009 Tuhalaane – Piirideta geoloogia
- VI 2010 Roosta – Globaalsed muutused
- VII 2011 Taevaskoja – Maa ressursid
- VIII 2012 Nelijärve – Katastroofid Maa ajaloos**

“Upgraded as Super” – mis mõttes?!

Heidi Soosalu

Vanasti olid meil vulkaanid. Pursata võisid nad suurelt või väiksel. Siis järsku pälvvisid mõned nendest eesliite “super”. Mis juhtus? Kas mõned vulkaanid on rohkem vulkaanid kui mõned teised?

Termin „*supervulkaan*“ tekkis juba eelmise sajandi alguses debattides Ameerika Oregoni osariigi vulkaanide algupära üle, kuid laialdasemat kasutust mõiste tollal siiski ei leidnud. Avalikkus oli veel aastakümneid hiidtulemägede suhtes rõõmsas teadmatuses, kuni 2000. aastal näidati Suurbritannia BBC populaarteaduslikus teleseerias Horizon saadet nimega „Supervolcanoes“. Saates tutvustati selliseid vulkaane, mis on võimelised plahvatuslikult pursates suure hulga materjali õhku paiskama. Maailmakuulsaks said supervulkaanid aastal 2005, kui BBC ja Discovery telekanal tõid vaatajateni dokumentaaldraama nimega “Supervolcano”, mille süžeeks on Ameerika Yellowstone’i vulkaani katastroofiliselt suur purse.

Superstaatuse võiks tinglikult anda vulkaanile, mis on võimeline õhku paiskama rohkem kui 1000 km³ materjali (USGS 2012), mis on tuhandeid kordi rohkem kui enamikus ajaloolistest pursetest. Tingimused sellise purske jaoks võivad tekkida juhul, kui Maa vahevööst tõusnud kuumenenud ja järjest enam sulav kivimmass – vahevöö pluum (kuum täpp) – loob maakoore ulatusliku (magma)kolde, milles magma poolt lasuvaile kivimeile tekitatav rõhk ületab mingil momendil kivimite kriitilise vastupanuvõime – toimub supervulkaani purse. Supervulkaani tekkeks soodne keskkond võib asuda kas kokkupõrkuvate laamade piirkonnas (nt. Indoneesia Toba) või mandrilise maakoore all asetseva kuumatäpi kohal (nt. Yellowstone’i juures).

Tegelikult ei räägi teadlased oma uuringutes supervulkaanidest, kuna mõiste on ebamääraselt defineeritud, kuid avalikkusega suheldes kerkivad supervulkaanid ikkagi vahetevahel päevakorda. Paraku armastab faktidest mitte nii väga hooliv kõmuajakirjandus oma väljaandeid müüa meetrikõrguste pealkirjadega. Ja millest oleks veel kergem neid pealkirju punuda kui miljoneid inimesi ähvardavatest katastroofidest, mille põhjuseks on kasvõi üks supervulkaan.

Pole superit ilma megata

Tekkinud on ka mõiste „*megakaldeera*“, mida defineeritakse sellise kaldeerana (plahvatusliku suurpurske tagajärjel tekkinud mitme kilomeetri raadiusega katlaorg), mille on arvatavasti tekitanud supervulkaan. Titaanide sõnavarasse on lisandunud veel mõiste „*superpurse*“, mida 8-astmelise VEI skaala järgi hinnatakse suurusega 8. VEI - Volcanic Explosivity Index ehk vulkaanilise plahvatuslikkuse indeks (Pyle 2000) leiutati selleks, et iidseid ja nüüdisaegseid vulkaanipurskeid kvantitatiivselt hinnata ja omavahel võrreldavateks teha. Tegurid, mida VEI juures arvestatakse, on magnituud (pursanud materjali maht) ning intensiivsus (purskepilve samba kõrgus) (tabel 1).

Et lugu liiga lihtne poleks, loetakse superseltskonda ka suured magmaprovintsid ehk platoobasaldid. Need kujutavad endast hiidpursete tagajärjel tekkinud laiaulatuslikke laavavoolusid, mille maht võib ületada 100 000 km³, pindala olla miljoneid ruutkilomeetreid ja paksus üle 10 km. Vastupidiselt megakaldeerasid tekitanud pursete plahvatuslikule iseloomule, on sellised pursked toimunud rahulikult. Siiski on neil olnud tihtiipeale katastroofiline kliima- ja keskkonnamõju. Kuulsateks näideteks on muuhulgas Kesk-Siberi ja India Dekkani platoonid. Siberi laavaplatoon tekkega ligikaudu 250 miljonit aastat tagasi seostatakse Permi ajastu lõpu massiivset väljasuremislainet, Dekkani platoon moodustus Kriidi ajastu lõpus umbes 65 miljonit aastat tagasi ja seda peetakse tinglikult üheks dinosauruste väljasuremise põhjuseks.

Aeg paanitseda või mitte veel?

Kas meil on põhjust karta hiidpursete supervulkaanide megakaldeeradest? Vastus võiks olla, et põhimõtteliselt jah, aga tegelikkuses ei. Loomulikult on ajaloo superpursetel olnud kohutavad tagajärjed globaalsete kliimajahenemiste ja massiliste väljasuremiste näol, aga kõik VEI 8 suurused pursked on toimunud kümneid tuhandeid kuni miljoneid aastaid tagasi (USGS 2012). Kvaternaari ehk viimase 2,6 miljoni aasta jooksul on tegutsenud vaid üksikud Maa ajaloos eksisteerinud supervulkaanidest. Kõige hilisem supervulkaani purse toimus Uus-Meremaal umbes 26000 aastat tagasi, kui purskas supervulkaan Taupo.

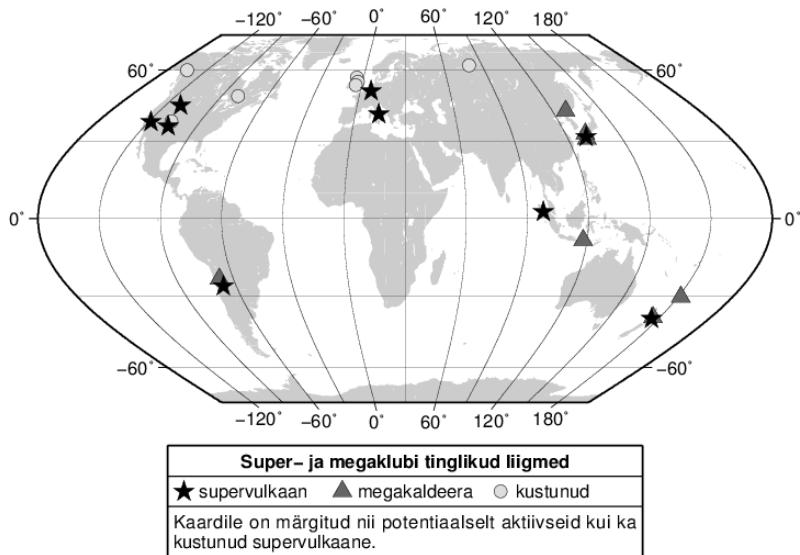
Muidugi on probleem, et mida võime superpurske sümptomiteks pidada. Millised maavõnkeid ja -kerkeid või geotermaalseid ilminguid tuleb tõsiselt võtta? Kui kaua hiidvulkaan ühte superpurset ette valmistab, kas aastaid, sajandeid või aastatuhandeid? Iidsete pursete puhul on sellist teavet peaaegu võimatu rekonstrueerida.

Tabel 1. Vulkaanilise plahvatuslikkuse indeks (Pyle 2000).

VEI indeks	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Kirjeldus	Mitte plahvatuslik	Väike	Keskmine	Keskmine-suur	Suur	Väga suur			
Kvalitatiivne hinnang	Leebe	Efusiivne	Plahvatuslik		Katastroofiline				
Maksimaalne tefrakogus (m ³)	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	10 ¹⁰	10 ¹¹	10 ¹²	10 ¹³
Purskepilve samba kõrgus (km)	<0,1	0,1–1	1–5	3–15	10–25	>25			

Mõne supervulkaani puhul on geoloogiale tuginedes võimalik tõdeda, et küllap on ta praeguseks kustunud, teiste puhul, kui eelmine purse toimus „vaid“ mõni miljon aastat tagasi, võib määramine osutada keeruliseks. Kuigi teadaolevalt on paljud supervulkaanid aktiivsed, nagu näiteks Yellowstone, on äärmuslikult suured pursked siiski väga haruldased. Palju tõenäolisemad on nende aktiveerumise puhul mõõduka suurusega purskeilmingud. Vahel jälgitakse pursketsükleid, et järgmist ennustada, aga sealjuures on probleemiks suured ajalised veamarginaalid.

Kui hakata uurima, milliste vulkaanide külge võiksime „super“-sildi kleepida, võib sõltuvalt allikast kokku saada vägagi erineva nimekirja. Yellowstone'i kvalifitseerumise üle supervulkaaniks ei vaidle keegi, samuti ei tekita vaidlusi Toba. Kindlasti on loetelus Uus-Meremaa Taupo ja USA Long Valley ning tõenäoliselt ka USA Valles Caldera, Jaapani Aira, Itaalia Campi Flegrei ja Saksamaa Laacher See vulkaanid. Siit edasi läheb juba hägusamaks ja võib ette kujutada, et nimekiri pikeneb sedamööda, kuidas geoloogilisel kaardistamisel uusi jälgi tuvastatakse. Joonisele 1 on koondatud mõningad supervulkaanid ja megakaldeerad, sealhulgas ka need, mis on praeguseks kustunud.



Joonis 1. Supervulkaanide levik maailmas.

Juhtumiuuring – Campi Flegrei

Pärast seda, kui Yellowstone teleekraanile tee rajas, kerkivad supervulkaanid aeg-ajalt ka ajakirjanduses esile – paraku enamasti maailmalõpumaiguliste uudiste juures. Aasta 2012 algatuseks kuulutas Suurbritannia tabloidiajaleht Daily Mail: „Saksamaa Laacher See supervulkaan, vaid 390 miili kaugusel Londonist, võib pursata millal tahes, ähvardades miljoneid inimesi“. Originaalartikkel pole enam internetis leitav, aga oma põnevas vulkaaniteemalises teadusblogis kommenteerib geoloog Erik Klemetti (2012) värvikalt, mille poolest oli see uudis ülespuhutud.

2012. aasta augusti alguses hirmutas Euroopat taas uudis miljoneid inimesi ähvardavast supervulkaanist, seekord oli patuoinaks hoopis Itaalia Campi Flegrei. Loo tegi kirevamaks asjaolu, et Campi Flegrei asub kurikuulsal Vesuuvi kõrval, aga on *veelgi suurem* ja *veelgi katastroofilisema purustusjõuga*. Kuidas sai Campi Flegrei aktuaalseks just praegu, kui ta purskas viimati 1538. aastal? Kas see juhtus vaikselt puhkuseperioodil pärisuudiste vähesuse tõttu?

Tõsi, Campi Flegrei võiks liigitada supervulkaanide hulka, sest tal on 13 km diameetriga kaldeera ja periooditi on ta vägagi plahvatuslikult tegutsenud. Arvatavasti tekkis vulkaan umbes 39000 aastat tagasi toimunud hiidpurske tulemusena. Vene antropoloogide uuringugrupp, kes on uurinud neandertaali inimeste asustatud koobast Kaukasuse mäestikust, pakub neandertaallaste väljasuremise algpõhjuseks just sellest purskest tingitud kliimamuutust, millega see vaene inimliik ei suutnud kohastuda (Golovanova jt. 2010, tsit. Science Daily 2010).

Huvitaval kombel tõi Campi Flegrei esiplaanile üks rahvusvaheline uuringuprojekt, mille koordineerija, Vesuuvi observatooriumi uuringujuht Giuseppe De Natale hoiatas, et „Campi Flegrei pursetel võib olla globaalne mõju, mis on võrreldav meteoriidi kokkupõrkel Maaga tekkivate tagajärgedega“. Milleks oli vaja sellist hoiatust? Või oli see ähvardus?? Rahvusvahelised uuringugrupid naljalt ähvardusi ei esita.

Ajaleheuudiste lugemisel tasub tihti pilk heita ka eesriide taha. Itaalia kõmu-uudise taustaks näiteks oli lihtne inimlik tegur – hirm. Nimelt oli mainitud ettevõtmise, Campi Flegrei Deep Drilling Project (2012) raames kavas puurida kuni 3,5 km sügav puurauk, et uurida vulkaani siseehitust ja saada aru selle toimimise mehhanismidest. Üks teadlane, muide geokeemik (mitte näiteks seismoloog), esitas arvamuse, et võib-olla on puurimine ohtlik. Tema arvas, et ebasoodsasse kohta puurimine võib tekitada mõne plahvatuse. See jutt hakkas kohalike elanike juures levima, jõudis ajakirjanduseni ja võib arvata, milline on võhiku valem:

spetsialisti arvamus + ohtlik + plahvatus + supervulkaan =
HIIDPURSE!!

Nii keeras kuulujutulaviin kohaliku elanikkonna suhtumise sellise õudustäratava tegevuse vastu. Hirmust oma populaarsuse kaotamise ees keelasid kohalikud ametnikud ja linnapea igaks juhuks puurimise ära. Teadlase De Natale möödunud suve uudistesse sattumise põhjuseks oligi uuringugrupi soov avalikkusele kinnitada, et ühe augu puurimine, olgugi sügava, ei saa mitte kuidagi superpurset tekitada. Taheti ka rõhutada, et just nimelt sellepärast, et tegemist on supervulkaaniga, tuleb seda võimalikult hoolikalt uurida. Pärast ebaratsionaalset keelamist 2010. aastal läkski 2012. aasta juulis uuringupuurimine käiku – huvitaval kombel mõni kuu pärast seda, kui astus võimule uus kohalik, uuringuleebe valitsus... (Il Mattino, 2012).

Campi Flegrei on kuulus oma tsüklilise kerkimise ja vajumisega, mida on täheldatud juba Rooma riigi ajast. Erakordseks nähtuseks on kaldeera keskmes asuvas Pozzuoli linnas seisvad Rooma jumala Serapise templist alles jäänud kolm marmorsammast, kus molluskite uuristatud auke võib näha 7 m kõrgusel! Vähemalt nii palju on maa Vahemere veepinna alla vajunud ja jälle üles kerkinud. Ka hiljuti on märkimisväärseid liikumisi täheldatud: 30-40 aastat tagasi kerkis ja vajus maa vaheldumisi kuni paari meetri võrra, millega kaasnesid arvukad maavärinad (nt. Lima jt. 2009).

Campi Flegrei kerkimise ja vajumise tsüklite kohta esitatud erinevaid mudeleid analüüsivad huvitavalt Lima jt. (2009). Ühe mudeli järgi on kerkimine otsene tõestus sellest, et värske magma tõuseb maapinna lähedal asuvasse magmakoldesse, mis tähendab, et vulkaanipurse on vaid aja küsimus. Sellise mudeli alusel evakueeriti Pozzuoli linnast 1983. aasta oktoobris, kõige tugevama kerkimise ja maavärinahoogude ajal, 30000 elanikku, aga purset ei tulnud. Siiamaani pole tulnud, kuigi vulkaan on jõudnud vahepeal nii vajuda kui ka jälle kerkida.

Ilmselt tuleb sellist mudelit lihvida ja teisigi stsenaariume pakkuda. Tegelikult on praeguseks välja töötatud kolme tüüpi mudeleid: esimese järgi on kerge otseseks tunnuseks magma tõusust maapinna lähedusse, teise järgi liigub magma küll maapinna poole, kuid maakerge on pigem sekundaarne ja tingitud magmaliste vedelike tungimisest maakoarde. Kolmas koolkond arvab hoopis, et kerge on tingitud hüdrotermaalsest süsteemist ja on magmakolde kristalliseerumist kajastav sekundaarne nähtus.

Selleks, et otsustada, milline mudel võiks kõige paremini Campi Flegreit – *kui soovite ühte ohtlikku supervulkaani*, – iseloomustada, aidata

vulkaani aktiivsuse eest tulevikus hoiatada ja selle potentsiaalset mõõtkava hinnata, on vaja uuringuid. Teave ja selle lisandumine pole ohtlik, küll aga võib ohtlikuks või vähemalt väga kulukaks osutuda ignorantsus.

Kasutatud kirjandus

- Campi Flegrei Deep Drilling Project 2012.
<https://sites.google.com/site/cfddppproject/>, itaalia keeles, seisuga 10.09.2012.
- Golovanova L.V., Doronichev V.B., Cleghorn N.E., Koulkova M.A., Sapelko T.V. ja Shackley M.S. 2010. Significance of ecological factors in the Middle to Upper Paleolithic Transition. *Current Anthropology* 51, 655-691. Tsiteeritud: Science Daily 2010. Volcanoes wiped out Neanderthals, new study suggests. <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/10/101006094057.htm>, seisuga 07.10.2010.
- Il Mattino (2012). Via alla perforazione dei Campi flegrei. Già a 200 metri nel cuore del vulcano/I Verdi: preoccupa foro di 3500 metri. <http://www.ilmattino.it/articolo.php?id=210531&sez=NAPOLI>, itaalia keeles, seisuga 26.10.2012.
- Klemetti Erik 2012. Fearmongering gets started in 2012: Laacher See is not „Ready to blow“. <http://www.wired.com/wiredscience/2012/01/fearmongering-gets-started-in-2012-laacher-see-is-not-ready-to-blow/>, seisuga 02.01.2012.
- Lima A., De Vivo B., Spera F.J., Bodnar R.J., Milia A., Ninziata C., Belkin H.E. ja Cannatelli C. 2009. Thermodynamic model for uplift and deflation episodes (bradyseism) associated with magmatic-hydrothermal activity at the Campi Flegrei (Italy). *Earth-Science Reviews* 97, 44-58.
- Oregon State University 2010. What is a supervolcano?
<http://plutons.science.oregonstate.edu/supervolcano>, uuendatud juulis 2010.
- Pyle David M. 2000. Sizes of volcanic eruptions. Teoses Sigurdsson, Haraldur (toim.): *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, lk. 263-269.
- USGS 2012. Questions about supervolcanoes.
http://volcanoes.usgs.gov/volcanoes/yellowstone/yellowstone_sub_page_49.html#supervolcano, uuendatud 23.03.2012.

Heidi Soosalu (h.soosalu@egk.ee) – Eesti Geoloogiakeskus, Kadaka tee 82, Tallinn 12618; Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn..

Saddam Hussein ja Iraagi katastroof

Vladimir Sazonov

Käesolevas ülevaatlikus populaarteaduslikus artiklis keskendume mitte niivõrd Saddam Hussein'i sõdadele, mida võib pidada täielikult ebaõnnestunudeks ja mis aitasid kaasa Iraagi¹ riigi langemisele taolisesse katastroofilisse olukorda, nagu see 2003. aastaks kujunes ja mis kahjuks jätkub ka tänapäeval, kuivõrd Iraagi riigi katastroofile, mis järgnes nendele sõdadele ja muistse pärandi hävitamisele. Iraagi muuseumi (Bagdadi linnas) rüüstamist 2003. aastal võib võrrelda Aleksandria raamatukogu mahapõletamisega 47. aastal eKr Egiptuses Julius Caesari sõjameeste poolt. Selles tulekahjus hävines suur hulk muistseid käsikirju ja traktaate, mille sisu me vaid aimame, kuid millest me mitte kunagi ilmselt täpsemalt teada ei saa (vt Dieter, Günther 1990, 183).

Ka 2003. aasta Iraagi muuseumi rüüstamise tagajärjel läksid kaduma tuhanded unikaalsed kiilkirja tekstid, muistsed raidkirjad, araabiakeelsed käsikirjad, kujud ja muud väga väärtuslikud artefaktid (vt. lähemalt *Catastrophe! The Looting and Destruction of Iraq's Past 2008*).

Seega 2003. aasta Iraagi sõja puhul pole tegemist mitte ainult humanitaarse, demograafilise ning sõjalise katastroofiga, mille käigus sai surma sadu tuhandeid iraaklasi (ja mitu miljonit põgenes riigist), hävitati riigi infrastruktuur ja majandus, vaid ka muistsed linnad ja Iraagi muuseum Bagdadi linnas said mustade arheoloogide ja rüüstajate tõttu tugevasti kannatada.

Lähis-Ida tänapäeval

Tänapäeval on suur osa Lähis-Idast destabiliseeritud ning konfliktid on viimasel ajal puhkenud lisaks Iraagile, Afganistanile ja Palestiinale veel mitmes kohas Põhja-Aafrikas ja Lähis-Idas: kodusõjad, terroriaktid, mässud ja sõjalised invasioonid vapustavad piirkonda juba aastaid. Tegelikult on see piirkond olnud tihtipeale ebastabiilne varengi, Lähis-Ida pole kunagi olnud eriti rahulik paik. Lähis-Ida instituudi president Evgeni Satanovski kirjeldab oma raamatus „Россия и Ближний Восток. Котел с неприятностями“ Lähis-Ida regiooni järgmiselt: „Kogu maailma politoloogid Zbigniew Brzezinski järel nimetavad seda territooriumi „ebastabiilsuse kaareks“, mis vastab enam-vähem tegelikkusele“ (Сатановский 2012, 13).

¹ Iraagi kohta Saddam Hussein'i ajal vt Hallik, Klaassen 2004, 150-202.

„Araabia kevad“ 2011-2012 aastal on tekitanud lisaks Iraagile ja Afganistanile ka mujal Lähis- ja Kesk-Idas mitmeid tõsiseid probleeme ning on viinud mõned riigid lausa kodusõjani, näiteks Süüria, kus president B. Assad üritab meeleheitlikult säilitada võimu; või Liibüa, kus eluaegne diktaator Muammar Gadaffi tapeti verise kodusõja käigus 2011. aasta oktoobris.

Alguses paljude inimeste jaoks lootusrikkalt alanud rahutused Tuneesias, mis levisid ka Lähis-Ida maadesse ja said ajakirjanduses tuntuks kui „Araabia kevad“, ei ole toonud araablastele 2012. aasta seisuga veel midagi head ja vaevalt, et toovadki. Nagu Mart Helme oma artiklis õigesti märkis: „*Nii võimegi kokkuvõtvalt tõdeda, et araabia kevade paljulubavad õied on sügiskülmades närbunud, jättes järele pigem kibedad kui söögikõlbulikud viljad*“.² Vaatamata mõnede läänemaailma prognoosijate optimistlikele arvamustele, et kohe-kohe saabub Lähis-Ida demokraatia ja liberalism, ei mõista nad tegelikkuses tihtipeale Lähis-Ida ajaloolist ja kultuurilist omapära ning ei saa aru, et demokraatia ehitamine lääneliku mudeli järgi Iraagis, Jeemenis või Süürias pole vähemalt lähimate aastakümnete jooksul võimalik.

Sõjajärgne Iraak pole sugugi sarnane II Maaailmasõja järgse Saksamaaga, kus pärast natsirežiimi kukutamist suutis Lääs Lääne-Saksamaal demokraatliku süsteemi kehtestada ja edukalt toimima panna. Samuti pole kodusõjas olev Süüria sama, mis Prantsusmaa, Šveits või Inglismaa, kus isegi pärast suuri rahutusi jätkavad funktsioneerimist demokraatlikud printsipiid ja valitsus on rahva poolt valitav.³

² „Araabia kevade“ kohta vt Helme 2011.

³ Siinkohal tsiteeriks tuntud vene poliitikut ja Venemaa ekspeministrit, Lähis-Ida eksperti akadeemik Evgeni Primakovi, kes kirjutab oma raamatus „Lähis-Ida laval ja kulisside taga“: „Ничего продумано не было. Когда в Ирак вошли американцы, они, по сути, перенесли на эту страну западногерманскую модель, внедрённую после краха гитлеровского режима во время Второй мировой войны. В Западной Германии, как известно, запретили нацистскую партию, что было абсолютно правильно. В Ираке была объявлена вне закона двухмиллионная баасистская партия – единственная партия, в которой были и шииты, и сунниты, и арбы, и курды, и 80-90 процентов её членов состояли в ней не по идеологическим соображениям, а чисто по карьерным. Выделенная их этой партии компактная группа из тех, кто готов был порвать со своим политическим прошлым, могла бы стать внутренней силой, осуществляющей стабилизационные меры. Этого не было сделано. Армию и полицию тут же распустили, а потом начали собирать, но уже в условиях упущенных возможностей»

Lääneeuroopaliku demokraatia mudeli sisseviimine Saksmaal pärast 1945. aastat oli võimalik, kuna Lääne-Euroopas on teised traditsioonid ja tavad kui Aasias ning hoopis teine arusaam riiklusest ning riigi valitsemisprintsiipidest. Seega polnud demokraatia sakslastele mõistmatu võõrkeha, vaid sellega oldi juba harjunud.

Lähis-Ida jaoks, kus peamiseks valitsemise aluseks on tihtipeale klannilik-hõimulik monarhia või sõjaline diktatuur, mida teostab sõjaline hunta või teokraatia kaliifi, imaami või ajatollaga eesotsas, on lääneeuroopalik demokraatlik mudel koos oma väärtustega vastuvõetamatu võõrkeha. Seda tuleb kõigi jõududega eemale tõrjuda, kuna kohalike silmis murraks ja hävitaks see nende maailmavaate ja aastatuhandeid kestnud muistsed traditsioonid, tavad ja väärtused, mis ei lähtu euroopalikest väärtustest ega Prantsuse Revolutsiooni ajal 18 sajandi lõpus välja öeldud ideedest *liberté, égalité, fraternité*, vaid islamist ja islami õiguslikest normidest ehk šariaadist (šariaadi kohta vt. Waines 2003, 96, 99, 102, 140, jne) ja hõimude kohati „kivisse raiutud“ konservatiivsetest tavadest.

Kas näiteks Süürias juba rohkem kui 40 aastat valitsenud presidentide Assadide dünastia kukutamine tooks Süüriasse rahu ja demokraatia? Vaevalt küll. Selge see, et president Bašar Assad on diktaator ja üpris jõhker inimene ning vägivaldne valitseja, kuid mis oleks alternatiiviks, kui ta kukutatakse (see, et ta kukutatakse, on vaid aja küsimus)? Alternatiiviks oleks samasuguse klanni ladviku pääsemine võimule Damaskuses, Süüria lagunemine või hoopis Süüria sattumine islamistide kätte (Espak, Sazonov 2012, 2-4).

Aga esitame küsimuse laiemalt: kas Lähis-Idas oleks võimalik kehtestada demokraatlikke süsteeme, mis suudaksid normaalselt toimida ja oleksid võimalised väga erinevaid jõudusid kontrolli all hoidma selleks, et riik ei laguneks ega puhkeks sõjaline konflikt või siis, et valitsev eliit ei muutuks läbinisti korrumpeerunud ja stagneerunud oligarhiliseks klikiks, nagu see oli Egiptuses Hosni Mubarak (1981-2011) ajal?

Üheks eriti kurvaks näiteks on Iraak, kus 24 aastat valitses Saddam Hussein. Saddam, olles tüüpiline idamaine despoot, suutis siiski tagada mingigi stabiilsuse riigis ja hoida ära selle sattumise äärmuslike jõudude kätte. 2003. aasta kevadel Saddam Hussein kukutati, kuid alternatiivset ja hästi toimivat süsteemi BAATH-i parteile Iraagis pole siiani suudetud luua. Iraagi detsentraliseerimine ja lagunemine, terrorismiohu suurenemine, kodusõda, miljonid emigrandid ja surnud, nälg, demograafiline katastroof,

(Примаков 2006, 358). Primakovi poolt kirjutatuga ei saa mitte nõustuda. Aasia poliitiliste süsteemide ja demokraatiade mudelitest vt Воскресенский 2007.

usuliste ja etniliste konfliktide eskaleerumine ja islami radikaalide võimutsemine teatud piirkondades – see on 2003. aasta sõjalise avantüüri ja sellele järgnenud Iraagi demokratiseerimisprotsesside tulemus. Miks Iraagis nii juhtus? Miks Iraagist ei saanud hästi toimivat demokraatlikku vabariiki, kuigi kurja juur Saddam ja tema klikk oli ju eemaldatud? Vastust tuleks otsida Lähis-Ida ajaloolis-kultuurilisest ja etnilis-religioosest omapärest.

Lähis-Ida riikides on võimalikud järgmised mudelid: (1) sõjalised huntad nagu president Mubarak-i aegses Egiptuses, (2) ilmalik pärilik diktatuur nagu Süürias Assadide ajal või (3) teokraatlik diktaatuur nagu Iraanis, ehk siis Iraani Islami Vabariik (Vt Iraani kohta – Hallik, Klassen, 2004, 233-280; Араев 1987). Neljas (4) võimalik mudel on riigi lagunemine emiraatideks ja permanentse kodusõja oht nende gruppide, hõimude, klannide, usuliste konfessioonide ning muude erinevate gruppide või piirkondade vahel.

Ameeriklased ja nende liitlased, kes hakkasid pärast 2003. aasta sõda ja Saddami kukutamist Iraagis uut demokraatlikku süsteemi üles ehitama, arvasid ilmselt, et see pole eriti raske. Peamine lootus ja panus oli pandud poliitilistele emigrantidele, kes põgenesid Iraagist Saddami režiimi ajal. Just nemad pidid USA valitsuse arvamusel uut Iraaki valitsema hakkama. Kuid asi ei läinud nii nagu oli plaanitud ja kuigi Saddami endised vastased – emigreerunud poliitikud – tulid Iraaki tagasi, alustasid nad kohe omavahelist võimuvõitlust ning nende toetus ning populaarsus iraaklaste endi seas oli üpris madal (Примаков 2006, 358).

Iraak on üks kehvemaid näiteid stsenaariumist, mille järgi ühe või teise araabiamaa riigi ajalugu kulgeda võib. Saddam Hussein valitses Iraaki peaaegu 24 aastat (1979-2003) (Saddami kohta vt näiteks Апдайк 1999). Hussein oli Iraagi valitseja, diktaator ja BAATH'i partei liider, kes oma auahnete soovide, ülbuse ja võib öelda lauslollusega viis oma riigi katastroofini. Saddami poolt läbiviidud poliitika alusteks olid paljuski hirm, küüditamine ja terror laiemalt, mida ta oma riigi kodanike vastu kasutas. Samas muidugi toetas ja arendas ta riigi majandust ning pööras erilist tähelepanu muinastsiivilisatsioonide uurimisele – muistsele Sumerile, Babülooniale ja Assüüriale, mis jäävad praeguse Iraagi territooriumile. Sellel oli muidugi ka tähtis poliitiline ja ideoloogiline põhjus – Saddami huvitasid muistsed jõhkrad despoodid, kellelt tal valitsemisviiside ja ka impeeriumi loomise kohta midagi õppida oli, samas kasutades seda ajaloolist teadmist ära, tahtis ta nende muistsete legendaarsete jõhkrate valitsejate nagu Hammurapi, Sennaherib ja Nebukadnetsar II abil legitimeerida ka oma võimu.

Tema sõjakad plaanid ja sõjalised avantüürid lõppesid kõik riigi jaoks kehvasti. Iraani-Iraagi sõda (Iraani-Iraagi sõja kohta vt lähemalt Fawcett 2005, 266-268; Karsh 2010), mis leidis aset aastatel 1980-1988, surus

majanduslikult stabiilse ja rikka Iraagi põlvili. 8 aastat kestnud sõda mitu korda suurema ja tugevama Iraaniga nõrgendas ning demoraliseeris Iraagi armeed ning Saddam Hussein 9 aasta valitsemise tulemuseks olid miljonid ohvrid, nälg ja haigused. Kuid Hussein ei lasknud ennast sellest mõjutada ja selle asemel, et lasta riigil ja majandusel kosuda, alustas ta 1990. aastal uut ambitsioonikat sõjalist kampaaniat väikse Kuveidi vastu, lootes ilmselt ikka veel luua võimsat Iraagi suurriiki ja saada Kuveidi nafta-varud oma kontrolli alla. Selle sõjalise avantüüri tulemus oli laastav – Kuveidi majandus purustati ja 1991. aastal puhkenud Lahesõjas hävitas USA koos oma liitlastega põhimõtteliselt Iraagi armee võimsuse. Lõplik hoop anti Iraagile 12 aastat hiljem, 2003. aastal.

Saddam Hussein lapsepõlv, noorus ja isikuomadused

Saddami jõhkruuse juuri peaks otsima ta lapsepõlvest. Raske ja keeruline elu, mida Saddam Hussein pidi lapse ja noorukina nägema, võideldes oma ellujäämise eest, jättis kindlasti ta psüühikasse tugeva jälje. Alustada võiks kasvõi sellest, et ametliku statistika kohaselt oli laste suremus Iraagi kolmes suuremas linnas Mosulis, Basras ja Bagdadis 1937. aastal, mil S. Hussein sündis, väga suur – 228 last 1000 sünni kohta. Seega iga kolmas laps suri. Need aga, kes ei surnud varajases lapsepõlves, olid tihtipeale näljased ja haiged. Sellistes tingimustes kasvaski üles väike Saddam (Апдайк 1999, 26-27).

Saddamil polnud sõpru külapoiste seas ja lapsed naersid tihtipeale ta üle, sest tal polnud isa. Enese kaitsmiseks kandis ta väidetavalt kaasas rauast vitsa. Pealtnägijad, kes teadsid Saddami lapsena, rääkisid hiljem, et ta oli väga julm ja lõbustas ennast sellega, et pani vitsa tulele ja seejärel, kui see oli läinud punaseks, torkas sellega mööda jooksvaid koeri läbi ja rebis nad pärast pooleks. Ka Saddami enda peres ei tundnud keegi ta vastu huvi ja ta pidi ise enda eest hoolitsema. Ta kasuisa hüüdnimega „valetaja Hassan“ oli jõhker sadist ja talle meeldis Saddami alandada. Muu hulgas peksis ta Saddami kepiga, sundides teda samal ajal tantsima, ei lubanud tal õppida ja saatis vargile. Nii kasvaski temast väga umbusklik ja jõhker inimene, kes ei usaldanud isegi oma sugulasi. Ilmselt kõik see – vaesus, üksildus ning sugulaste ja teiste inimeste jõhkruuse tema vastu tegidki temast vägivaldse ja kõiki kahtlustava inimese. Saddamil õnnestus siiski lahkuda oma külast ja ta hakkas koos elama oma vanglast vabanenud onuga. Tänu oma onu toetusele sai Saddam lõpetada algkooli ja astus keskkooli (Апдайк 1999, 27-29).

Ta onu Khairallah Talfah, kes mõjutas Saddami tugevasti, oli oma vaadetelt šovinist ja antisemiit, kes vihkas juute ja pärslasi. See kandus edasi ka noorele Saddamile. Oma karjääri alustas Saddam BAATH-i

parteis. Tema esimene ülesanne oli oma keskkoolikaaslaste agiteerimine valitsuse vastu. Sellega sai Saddam väga hästi hakkama, värvates õpilasi lõi ta terve kriminaalse grupeeringu, mis tekitas Bagdadi eeslinnas Karhis hirmu, kuna Saddami käsul peksid nad inimesi, poliitikuid ja kõiki, kes neile ette sattusid. 1958. aastal 21-aastasena sattus Saddam vangi süüdistatuna riigiametniku mõrvamises Tikriti linnas, kuid 6 kuud hiljem lasti ta välja, kuna ilmselt polnud tema vastu piisavalt tõendeid (Апдайк 1999, 38-39).

Need olid vaid Saddam Hussein'i esimesed sammud tulevase riigivalitsejana, kuid juba need illustreerivad hästi, milline inimene ta oli. Põhjus, miks me käsitleme Saddami isikuomadusi, kuigi väga põgusalt, peitub selles, nagu Jevgeni Primakov on õigesti märkinud: „*Saddam Hussein'i tõus Iraagis on esmajoones seotud tema isikuomadustega*“ (Примаков 2006, 303).

Saddam kui Araabia maade suurjuht, Iraagi rahva isa ja BAATH-i partei liider

17. juulil 1968. aastal tuli BAATH-i partei Iraagis võimule (vt lähemalt Примаков 2006, 304). Saddamist sai Iraagis tähtsuselt teine inimene, pärast president Ahmad Hassan al-Bakri. Energiline ja auahne S. Hussein, olles president al-Bakri lähedane sõber, omas tegelikkuses palju rohkem võimu kui tavaliselt tähtsuselt teine inimene riigis omab (Апдайк 1999, 73). Alates 1979. aastast sai temast ka Iraagi president, küüditaja ning terrori- ja hirmupoliitika edendaja. Ta oli kangekaelne ja oskas väga hästi inimestega manipuleerida. Ja ta oskas oodata – 10 aastat. Teise inimesena riigis ootas ta kannatlikult, kuni oli tekkinud soodne hetk selleks, et kõrvaldada president al-Bakr. Saddam teostas oma poliitikat kavalalt ja nutikalt nii, et ta sai lahti oma vaenlastest ja vastastest, arendades isegi majanduslikku poliitikat eesmärgiga luua edukas keskklass, kes oleks talle toeks. Kõik oli allutatud ühele eesmärgile – saada absoluutne võim riigis. Selline moment tekkis – 11. juulil 1979. aastal oli al-Bakr vabastatud oma ametist ja presidendiks sai Hussein (Апдайк 1999, 205).

Saddām Hussein ‘Abd al-Majīd at-Tikrītī (valitses Iraagis 1979–2003) ja Iraagi ainuisikuline despoot täitis oma riigis kõik tähtsamad võtmeametid. Ta oli Iraagi president ja peaminister, kõrgem kaitseväge juhataja, BAATH-i partei liider, peasekretär jne. Ta pidas ennast Araabia Lähis-Ida suurliidriks ja kolmanda maailma rahvaste huvide eest võitlejaks (Апдайк 1999, 6).

Saddam lõi enda isikukultuse, igal pool olid tema pildid, tema nime said tänavad, linnad, linnarajoonid, instituudid jne. Bagdadi linnas näidati temast filmi. Rõhutati, et Saddam on hea preisa, armastab oma kahte

poega ja kolme tütart. Saddam toonitas, et ta on hea isa, näiteks õmbles ta oma ihukaitsjate silme all nõõbi oma tütre riietele. Ta armastas teha tööd aias, püüda kala, karjatada lambaid. Iraaklastele see meeldis. Saddam oli noor ja energiline, eriti oma võimu alguses – ta võis, nagu Vladimir Putingi, tulla igal hetkel mingisse haiglasse, tehasesse, mošeesse või farmi, teha nn ootamatuid visiite (Апдайк 1999, 223-224).

Saddam kui Harun ar-Rašid

Saddam võitis üpris varsti pärast võimule tulekut oma rahva armastuse ja vaimustuse. Televisoris võis tihti näha saadet, kus president Hussein tuli külla tavalisse Iraagi majja, mingi perekonna juurde ja küsis, mida nad arvavad poliitikast. Majaperemehed teesklesid, et ei tunne teda ära, kuigi toa nurgas ja seinal olid tema portreed ja rääkisid, et Saddam on silmapaistev valitseja ja kiitsid teda (Апдайк, 1999, 223-224). Idee sellisteks külastusteks oli Hussein saanud ajaloost. Kunagi 8. sajandi Araabia kalifaadi ajal armastas Abbasiidide dünastia (750-1258) üks kõige tuntuimaid kaliife Harun ar-Rašid *inkognito* Bagdadi linnas ringi jalutada, rääkida inimestega ja uurida, mida nad arvavad valitsejast (Апдайк 1999, 224).

Saddam kui Nebukadnetsar II ja Salah ad-Din

Saddam kasutas mitmeid võtteid ja näiteid oma riigi muistsest ajaloost selleks, et suurendada oma populaarsust ning kinnitada oma võimu. Saddam, pretendeerides Araabia maailmas hegemooni staatusele, üritas siduda oma võimu muistsete kuningatega, legitimeerida ja tugevdada oma positsiooni, otsides muistse Iraagi ajaloos tähtsaid sündmusi, mis pidid aitama tal luua riigi ideoloogiat ja propageerida enda isikukultust.

Kuna just Iraak on mitmete muistsete tsivilisatsioonide hääll – Sumer, Akkad, Assüüria, Babüloonia – oli see Saddami jaoks soodne. Suured vallutajad nagu Sargon I, Hammurapi, Salmanassar III, Sargon II, Aššurbanipal ja Nebukadnetsar II jätsid ajalukku tugeva jälje. Seetõttu kopeeriski Hussein oma käitumise ja elustiili poolest paljuski muistseid Assüüria, Babüloonia, Pärsia ja Araabia kalifaadi despotlikke kuningaid ning kaliife nagu Hammurapi, Nebukadnetsar II, Salah ad-Din (ehk Saladin) jne. Sarnaselt nendele muistsetele Lähis-Ida valitsejatele ja suurvallutajatele oli Saddam rajanud riigis sadu paleesid ning temast oli saanud Iraagi täielik peremees, nii nagu olid olnud assüürlane Aššurbanipal (valitses 669-627 eKr) Assüüria impeeriumis, Timur (Tamerlan) Kesk-Aasias ja Lähis-Idas (14. sajandil) või Jossif Stalin Nõukogude Liidus (1924-1953), keda nimetatigi «hozjain» ehk «peremees». Jõhkrad

despoodid olid Husseini jaoks eeskujuks ja üks neist oli Stalin (Апдайк, 1999, 167).

R. J. Updike kirjutab oma raamatus „Saddam Hussein“: „Eriti ligitõmbavateks Saddami jaoks olid Mesopotaamia valitsejad, mitte ainult tänu nende silmapaistvale positsioonile regioonis, vaid ka tänu sõjalisele edule Palestiinas. Sennaherib (704–681 eKr), Sargon II järeltulija, läks retkega Palestiinasse ja kuigi tal ei õnnestunud vallutada Jeruusalemma, alistas ta mõned tähtsad linnad Juudas ja sai suure andami juudi kuningalt Hezekiah'ilt. Mis ei õnnestunud Sennaheribil, õnnestus Nebukadnetsaril. 587. aastal eKr, peale juutide ülestõusu Palestiinas, hävitas ta Juuda kuningriigi ja Jeruusalemma, sealhulgas juudi templi ja saatis tuhanded juudid Babüloni. Saddam jutustas tihti sellest ajaloolisest sündmusest ja tunnistas, et tahaks väga järgida suure Babüloonia kuninga eeskju“ (Апдайк, 1999, 225-226).

Jaanuaris 2007. aastal ilmus saksa ajalehes *Frankfurter Allgemeine Zeitung* artikkel „Saladin und Nebukadnezar als Vorbild“ („Saladin ja Nebukadnetsar kui eeskujud“), kus mainiti, et Saddami sünniaasta (1937) langeb kokku Araabiamaade ühe tuntuima keskaegse valitseja Salah ad-Dini (Saladin) 800. sünnipäevaga, kes sündis 1137. või 1138. aastal ja suri 1193.

Polnud kahtlust, et kui Saddam sellest faktist teada sai, kasutas ta selle oma huvides ära. Saddami jaoks oli tähtis ka see, et nii Salah ad-Din kui ka tema ise pärinesid Tikritist ja nagu Salah ad-Din, soovis ka Saddam araablasti oma võimu alla ühendada.⁴ Samuti täheldas Robin J. Updike oma raamatus, et legendaarne moslemite valitseja Salah ad-Din, kes purustas ristirüütlid ja vallutas Jeruusalemma ning Saddam Hussein on sündinud 800 aastase vahega samas linnas (Апдайк 1999, 22). Mis võiks olla veelgi parem eeskju, kui kangelaslik Salah ad-Din – ristirüütlite hirm? Salah ad-Din, kes sündis samas linnas – Tikritis, kus sündis ka Saddam 28. aprillil 1937. aastal (Апдайк 1999, 22).

Kui Saddam võimule tuli, hakati tema auks igale poole tema kujusid püstitama nagu seda tehti näiteks muistses Assüürias või Pärsias, kõikides asutustes rippusid tema portreed ja plakatid. Iraagi ajakirjanikud pidid televisioonis, raadios, ajalehtedes ja mujal ülistama Saddami kui «rahva isa, koolide ja haiglate ehitajat» jne.

Militaristliku suurriigi rajaja Põhja-Mesopotaamia aladel Šamši-Adad I, kes vallutas tänapäeva Süüria ja Põhja-Iraagi alad 19. sajandil eKr, nimetas ennast muu hulgas «Jumala Aššuri templi ehitajaks» (RIMA 1, Šamši-Adad I A.0.39.1, lk 48, read 3-4). See oli kuninglik epiteet, mis pidi veelgi enam kaasa aitama valitseja isikukultuse arendamisele. Paljud

⁴ Vt Hermann 2007, 3.

Assüüria ja Babüloonia kuningad nimetasid ennast «ehitajaks», «rahva isaks» jne.

Assüüria kuningas polnud mitte ainult sõjaline liider, armee ülemjuhataja ja kõrgeim kohtuinstants oma riigis, vaid ka jumala poeg ja tihtipeale jumal ise ning peajumal Aššuri asehaldur maa peal (Assüüria kuningavõimu kohta vt [Sazonov 2010](#), 36-44). Samal ajal oli ta ka kuningas ja peapreester ning mängis suurt rolli oma alamate religioosse-ideoloogilise pildi kujundamisel, kasutades selleks ohtralt ja osavalt propagandavahendeid. Kuningat ülistati kui kangelast, kui head ja ausat meest, kes päästab rahva ja maailma kurjade deemonite ning vaenlaste käest. Ka Saddamist, kes oli nii Iraagis valitseva ainupartei BAATH'i liider kui ka Iraagi president ja peaminister ning vägede ülemjuhataja ja kes otsustas kõikide inimeste elu üle, loodi selline pilt.

Saddami auks kirjutati oode ja hümne nagu Šulgi, Hammurapi või Assüüria despootide auks, või siis nagu Rooma keisrite auks kirjutati panegüürikaid. Kõikide nende jõhkrate valitsejatega oli Saddamil palju ühist. Järgnevalt vaatleme Saddami terrori- hirmu- ja küüditamispoliitikat.

Saddam kui küüditaja ning hirmu- ja terroripoliitika läbiviija

Oma võimuaastate jooksul küüditas Saddam Hussein hulgaliselt inimesi Iraagis, eriti kurde, keda ta soovis arabiseerida. 1970- ja 1980-ndatel aastatel on erinevate andemete järgi deporteeritud kümneid või isegi sadu tuhandeid kurde, kuna nad mässasid ja tundsid ennast riigis allasurutuna.

1988. aastal, kui lõppes Iraani-Iraagi sõda, astus Iraagi sõjavägi Saddami käsul Põhja-Iraagis elavate kurdide vastu. See oli väga jõhker sõjaline kampaania, mida võib pidada genotsiidiks. Saddami sugulane Majid, kes seda operatsiooni juhtis, hävitas 4000 kurdi küla ja keemiariünaku käigus tapeti 5000 kurdi. Kokkuvõttes tapeti selles kurdivastases sõjakäigus 182 000 kurdi (Spencer 2007, 75).

Ka selles küüditamis- ja mõrvamispoliitikas oli Saddam võtnud oma eeskujuks muistsed kuningad – Assüüria, Pärsia, Araabia ja Mongoli vallutajad.

Assüüria kuningas ja suur vallutaja Salmanassar I (valitses 1275-1243 eKr) mainib muude oma suurte tegude ja vallutuste seas ühes oma raidkirjas ka võitu hetiiitide ja aramealaste üle, kes olid liidus: „Mina veristasin hetiiitide ja aramealaste armeed, ning nende liitlasi nagu lambaid” (RIMA 1, Shalmaneser I A.0.77.1, lk 184, read 78-80.). Veel hoopis Salmanassar I samas raidkirjas, et ta hävitas 180 linna Süürias ning küüditas ja torkas pimedaks 14 400 inimest, kes olid lahingus ellu jäänud (RIMA 1, Shalmaneser I A.0.77.1, lk 184, read 74-80). Muidugi olid need

14 400 meest deporteeritud Assüüriasse Salmanassari küsul. Seega panid ilmselt just Salmanassar I ja tema järglased aluse massdeporteerimisele maailma ajaloos. Taolisi näiteid Assüüriast ja Babilooniast võiks tuua kümneid. Nagu näha, pidas Saddam neid muistseid valitsejaid oma õpetajateks ja eelkäijateks.

Iraagi sõjalised katastroofid 1980-1988, 1991 ja 2003

Kaks muistset riiki, kaks tsivilisatsiooni ja kaks maailma – Iraan ja Iraak on kultuuriliselt, poliitiliselt, ideoloogiliselt ning etniliselt väga tihedalt seotud alad juba mitmeid aastatuhandeid ning on mõjutanud teineteist suurel määral. Nad on mõjutanud ka tervet Lähis-Ida kultuuriruumi ja tegelikult ka maailma. Kuid läbi ajaloo on nad olnud tihti peale rivaalid ja ei ole seetõttu rahulikult elada saanud (vt näiteks Sazonov 2012, 6-7).

Nende rivaalitsemine läbi ajaloo on ajalisel üks kõige pikemaid vastasseise. Kuigi muistsetel aegadel, III-I eelkristliku aastatuhandeni, lõid Mesopotaamia ja Elami tsivilisatsioon omavahel tugevaid kultuurilisi, poliitilisi, majanduslikke ja religioosseid sidemeid, jäid nad siiski vastasteks, olles teatud perioodidel lausa verivaenlased. Sarnane situatsioon jätkub ka tänapäeval – Iraan ja Iraak mõjutavad teineteist, aga nende suhteid 20. sajandil ei saa sugugi pidada sõbralikeks.

Araablaste ja pärslaste konfliktide ajaloolisi juuri otsitakse tihti ka Sassaniidide perioodi (224-651 pKr) lõpust ehk siis 7. sajandist pKr, mil islami usk muutus Lähis-Idas valdavaks, Sassaniidide impeerium kaotas oma positsioonid ning oli vallutatud araablaste poolt. Üks selline tähtis võtmesündmus toimus 636. aastal (teiste andmete järgi hoopis 637. või 638. aastal) – tegemist on Kadesia (või al-Qādisiyyah) lahinguga, kus islamiusku araablased purustasid zoroastristlike pärslaste armee (Алиев 2002, 125-131). Seega vaadeldakse mõnikord Iraagi-Iraani sõda (1980-1988) ühe viimase ja suure pärslaste ning araablaste konfliktina või siis usukonfliktina šiiitide ja sunniitide vahel.

Muidugi ulatuvad 1980-1988 aastatel toimunud Iraani-Iraagi sõja juured 1960-ndatesse ja 1970-ndatesse aastatesse, aga kindlasti oli sellel veel üks tagapõhi. 2002. aastal andis M. V. Lomonossovi nimeline Moskva Riiklik Ülikool välja väga põhjaliku monograafia „*Iraan versus Iraak. Ajalugu ja tänapäev*“. See on väga mahukas ja detailne uurimus, kokku 767 lk, mis vaatleb Iraagi ja Iraani suhteid ja nende konflikte juba muistsetest aegadest peale. Autoriks on orientalist ja ajaloodoktor Arif Alijev (Алиев 2002).

Professor Efraim Karsh kirjutab oma raamatus „*Iraani-Iraagi sõda 1980-1988*“ (lk 7): „*Enamikus Iraani-Iraagi sõja käsitlestes on tavaks*

vaadelda seda konflikti viimase kokkupõrkena araablaste ja pärslaste tuhandeaastases võitluses ülemvõimu pärast Pärsia lahe ja „viljaka poolkuu“ aladel. Mõned ajaloolased leiavad, et see sai alguse islamieelsest rivaaliteedist Pärsia Ahhemeniidide ja Babüloonia impeeriumi vahel, teised, et Sassaniidide impeeriumi hävitamisest araablaste-muslimite poolt 7. sajandil, misjärel suurem osa pärslasi pöörduti islami usku“ (Karsch 2010, 7).

Efraim Karshiga tuleb nõustuda, kuid tegelikkuses on Iraani ja Iraagi aladel olevate tsivilisatsioonide konflikt veelgi varasem, kui sellest kirjutab Karsh. Oma juurtega võib see mõnes mõttes ulatuda lausa III eelkristlikku aastatuhandesse. Muidugi siis polnud selles piirkonnas veel ei pärslasi ega araablasi, Lähis-Ida poliitiline maastik oli hoopis teine kui praegu ning ka etniline pilt erines väga tugevasti tänapäevasest. Seega peab selliste järelduste tegemisel olema üsna ettevaatlik.

Pärast I Maailmasõda, 20. sajandi esimesel poolel, mil Iraak sai iseseisvaks, kujunesid Iraagi ja Iraani suhted rahumeelses suunas. 1920-ndate aastate lõpus ning ka 1930-ndatel olid Iraak ja Iraan koostöö lainel. 1937. aastal lahendasid Iraak ja Iraan vaidluse Pärsia lahes asuva strateegiliselt ülitähtsa veeteed *Shatt al-Arabi* osas. Rahumeelsed suhted jätkusid ka pärast Teist Maailmasõda.⁵

14. juulil 1958. aastal kukutati Iraagis monarhia ja Iraagist sai vabariik. See tõi mõneks ajaks kaasa Iraagi ja Iraani suhete halvenemise, kuid see oli lühiajaline nähtus. Sõbralikud suhted taastusid suhteliselt kiiresti. 1960. aasta juulis toimusid Teheranis läbirääkimised Iraani välisministri ja Iraagi suursaadiku vahel ning nende eesmärk seisnes kahe riigi vaheliste suhete parandamises. Riigid suhtlesid rahumeelselt, arenes Iraani ja Iraagi majanduslik koostöö. 1967. aastal sõlmiti kaubanduslik leping, mis oli soodne mõlemale riigile. Kuid sõprus ei kestnud enam kaua ja 1970-ndatel aastatel muutusid Iraani ja Iraagi suhted pingeliseks. Juba 1969. aastal hakkas olukord muutuma, kuna 19. aprillil 1969. aastal kuulutas Iraan, et ütleb üles 1937. aasta lepingu. Iraagi valitsust süüdistati ka ekspansionismis jne. Iraagi valitsusele see ei meeldinud. 1970. aastal toimus Iraagis katse kukutada valitsus ja nüüd süüdistas Iraak selles otseselt Iraani. 1970-ndate alguseks tekkisid Iraani ja Iraagi vahel juba tõsisemad hõõrumised, mis kasvasid tüliks ning talvel 1973-1974 puhkes lühiajaline sõda. 1971. aasta novembrikuus hõivasi Iraani väed mõned saared (Abu Musa saar ja mõned teised), mis asuvad Pärsia lahes. See ärritas Iraagi juhtkonda. Iraanile omakorda ei meeldinud Iraagi ja NSV Liidu lähenemine. Näiteks veebruaris 1972. aastal käis Iraagi riigi ametlik delegatsioon Moskvast, kus

⁵ Karsh 2010, 7; vt ka Klaassen, Hallik 2004, 155-156, 248.

iraaklasi võeti vastu kui parimaid sõpru. Oli selge, et Iraak ja NSV Liit on sõbraliku koostöö teel.⁶

Iraani šahh Mohammad Reza Pahlavi seda heaks ei kiitnud, vaid nägi selles ilmselt ohtu Iraanile ja oma mõjuvõimule Lähis-Ida regioonis. Šahh kritiseeris teravalt Iraagi valitsuse poliitilist kurssi. Iraak vastas omakorda oma ajalehtedes, raadios ning televisioonis kriitikaga Iraani tegevuse vastu. Oli selge, et kahe riigi vahel oli toimumas infosõda. Ohtralt kasutati teineteise vastu erinevaid propaganda meetmeid. Üritati õõnestada teineteist välis- ja sisepoliitiliselt. Probleem oli aga ka selles, et Iraaki valitsenud grupeering teadis, et Iraak oli veel liiga nõrk selleks, et alustada sõjategevust Iraani vastu ning seetõttu ei soovinud Iraaki valitsenud BAATH-i partei liidrid veel sõda, vaid soovisid esialgu rahumeelset küsimuste lahendamist. Probleeme oli mitmeid, piiriküsimused, rahvusvähemuste küsimus (mis oli üsna terav) jne (Klaassen, Hallik 2004, 155-156).

Konflikt Iraani ja Iraagi vahel jätkus ja tugevnes 1970-ndate aastate lõpus kuni lõpuks 1980. aastal algas kahe riigi vahel uus sõda. Iraak oli sõjaks üsna hästi ettevalmistanud, Iraan osutus alguses aga nõrgemaks, kuna vahepeal vahetus Iraanis võim – monarhia oli kukutatud ja šahh põgenes riigist.

See sõda oli üks kõige laastavamaid sõdu maailmas pärast II Maailmasõda. Paljud linnad Iraagis ja Iraanis olid hävitatud, laastatud ja inimtühjad. Rohkem kui miljon tapetut, miljoneid haavatuid, lesed ja lapsed, kes jäid ilma isadest või lausa mõlematest vanematest (Зейналов 2001, 13).

Kogu sõja jooksul ei saavutanud kumbki pool sellist võimsust, et saada selget ülekaalu. Sõda kestis 8 aastat (1980-1988) ning oli väga kurnav ja laastav mõlema riigi majanduse jaoks.⁷ Sõja lõpuks ei saavutanud kumbki riik sisuliselt mitte midagi, vaid kannatas majanduslikult väga rängalt. Eriti kannatas Iraak, mis on Iraanist tunduvalt väiksem ja jäi ka majanduspotentsiaali poolest alla ning sellest sõjast Iraak lõplikult ei toibunudki.

Iraagi valuutareservid olid nüüd tühjad, võlad olid kasvanud 80 miljardi dollarini. Iraak kasutas 1988. aastal keemiarelvi nii Iraani, kui ka oma riigis elavate kurdide vastu. Kuigi sõda 1988. aastal Iraani ja Iraagi vahel lõppes, jäid need kaks riiki endiselt vaenlasteks (Klaassen, Hallik 2004, 165-166).

Pärast Iraagi-Iraani sõda sõdis Iraagi valitseja Saddam veel 2 korda – 1991. aastal Lahesõjas ja 2003. aastal veel ühes, Iraagi territooriumil toimunud sõjas. Viimane läks Iraagi diktaatorile Saddam Husseinile

⁶ Karsh 2010, 7-9; Iraani-Iraagi sõja kohta vt Klaassen, Hallik 2004, 247-254.

⁷ Sõja kohta vt Алиев 2002, 643-672; Hallik, Klaassen 2004, 162-166.

maksma võimu. Kõigi nende sõdade tulemusel on Iraak täiesti laastatud, nõrgestatud ning olukord seal on siiani väga ebastabiilne. Iraan seevastu suutis oma majandust parandada ning tundub hetkel olevat majanduslikult üsna heas olukorras.

Lahesõja põhjustajaks oli paljuski Saddam Hussein poliitika – 2. augustil 1990. aastal käskis S. Hussein Iraagi armeel tungida Kuveiti (Klaassen, Hallik 2004, 169). Iraagi sõjaretk Kuveidi vastu 1991. aasta alguses viis selleni, et USA ja tema liitlased alustasid Iraagiga sõda. Liitlaste vasturünnak sai tuntuks kui Lahesõda⁸ – sõjategevus ei kestnud kaua, vaid mõned nädalad 16. veebruarist kuni 28. veebruarini 1991. aastal, mil algas relvarahu, kuid selle tulemus oli Iraagi armee jaoks katastroofiline.

Vene diplomaat Mir Paša Zeinalov, kes on veetnud Iraagis aastaid, kirjeldab 40 päeva kestnud Lahesõda kui aega, mil Iraagi pihta tulistati kõikidest relvadest, riigis hävitati sillad, infrastruktuur, naftatöötlemise tehased, tähtsad ehitised jne. Ja mis kõige hullem, Iraagile visati tuhandeid tonne pomme, sh. ka 700 tonni Genfi konventsiooni poolt keelatud mürske, mis sisaldasid uraani. Keskkond oli reostatud, eriti Lõuna-Iraagis, rahva seas hakkasid levima onkoloogilised haigused – inimesed hakkasid surema vähki. Kuid Zeinalovi sõnul varjavad London ja USA neid fakte (Зейналов 2001, 19). USA kaotas lahingutes vaid 147 sõdurit, ameeriklaste liitlasi sai surma 99. Iraaklaste seas oli ohvreid kordades rohkem – lahingutes langenud iraklaste arv võib ulatuda 20 000-ni, haavatuid oli ka päris palju – numbrid, mida on pakutud, on alates 25 000 kuni lausa veerandi miljonini (Finlan 2009, 84).

Millised võisid olla tsiviilisikutest ohvrite arvud? On pakutud erinevaid arve – alates 1000 kuni 15 000 inimeseni (Finlan 2009, 84).

Tehnikat ja relvastust kaotas Iraak samuti hulgaliselt, rääkimata sellest, et Iraagi armees oli palju desertööre. Pärast Lahesõda oli Iraagi olukord nukker – riigi majandus laastatud, prestiiž rahvusvahelisel areenil langenud, armee demoraliseeritud ja nõrgestatud. Kuid sellega asi ei lõppenud, kõige hullem oli veel ees. Miks USA alustas Iraagi vastu sõda veel mitu korda? Miks pärast Lahesõja lõppu, mil Iraak oli täiesti nõrgestatud, jätkati Iraagi blokaadi ja valmistuti uueks sõjaks Iraagi vastu? Iraak oli riik, mis üritas panna vastu nn. globaalsele Ameerika pealetungile maailmas ja Ameerika soovidele kontrollida naftat, gaasi jne. Saddam Hussein soovis ise kontrollida oma riigi naftaalasid ja olla oma riigis peremees ning just see sai üheks peamiseks põhjuseks, miks Iraak valiti agressiooni objektiks (Зейналов 2001, 9).

⁸ Lahesõja kohta vt lähemalt Finlan 2009.

Kuidas siis elas rahvas ja milline oli olukord Iraagis pärast 1991. aastal peetud Lahesõda? Pärast Lahesõja lõppu rakendati Iraagi suhtes rahvusvahelisi majanduslikke sanktsioone, sisuliselt oli tegemist blokaadiga.

Zeinalov kirjeldab, et teda üllatas see, et poodides polnud enam isegi esmatarbekaupu – suhkrut, võid, teed, karastusjooke jne. ÜRO „heldel loal“ imporditi Iraaki piiratud koguses toiduaineid, mida oli niivõrd vähe, et poodidesse need ei jõudnudki, vaid jagati rahva seas kaartide alusel. Apteegid olid tühjad. Antibiootikumide tootmine oli lõppenud, kuna polnud vajalikke koostisaineid, sest neid Iraak enam importida ei saanud. Seega, meditsiin oli kriitilises olukorras, infrastruktuur samuti. Dollari hind kasvas meeletult ja 1995. aasta lõpuks tõusis see lausa 10 korda. Kuna Iraagile oli väliskaubandus keelatud, eriti selles osas, mis puudutas naftat, siis oli 60% töövõimelisest elanikkonnast peagi töötu. Kasvas kriminaalsus – röövimine ja tapmine muutusid tavalisteks asjadeks (Зейналов 2001, 29-30). Iraagi Tervishoiu ministeeriumi andmete kohaselt suri blokaadi 10 aasta jooksul (1991-2001) Iraagis rohkem kui 1,5 miljonit inimest (Зейналов 2001, 33).

Sellises olukorras oli Iraagi riik, rahvas ja majandus 2003. aastal, kui USA alustas uut sõda Iraagi vastu⁹. Niisiis, 2003. aasta kevadel tungisid Ameerika ja ta liitlased Iraagile kallale, süüdistades Iraagi valitsust, et Iraagil on valmimas tuumarelv ja muud masshävitusrelvad (vt lähemalt Шурлов 2009, 142-144).

2003. aasta sõda oli riigile veelgi katastroofilisem. Sadu tuhandeid tapetuid, miljoneid haavatuid, miljoneid põgenikke. Saddam kukutati, BAATH partei likvideeriti, aga edukalt toimivat valitsust luua ei suudetud. Riik hakkas lagunema.

Kultuuriline katastroof

Lisaks Iraagi rahva kohutavale katastroofile lisandus veel ka teine – kultuurilis-ajalooline katastroof. Nimelt 2003. aasta Iraagi sõja ajal leidsid aset mitmete muuseumide ja arheoloogiliste paikade rüüstamised. Marodöörid olid paljud maailma vanima tsivilisatsiooni pärandi esemed kas täielikult hävitanud või varastanud. Muistne keraamika, mis oli 6000-7500 aastat vana, tuhanded silinderpitsatid, kujud, tuhanded kiilkirja tekstid erinevatest eppohhidest alates IV kuni I aastatuhandeni eKr – kõik need kas varastati, lõhuti või müüdi salakaubana maha. Samuti said kannatada hilisemad, aga sellegipoolest väga olulised artefaktid – Ahhemeniidide, Seleukiidide, Partia, Sassaniidide ja koguni araablase kultuuripärand. Tuhanded väärtuslikud araabikeelsed käsikirjad on läinud kaduma või

⁹ 2003. a. sõja kohta vt näiteks Klaassen, Hallik 2004, 194-196.

hävunud tulekahjude tagajärjel. Kõike seda võib nimetada katastroofiks. Seda kõike poleks juhtunud, kui USA administratsioon oleks kasvõi natuke rohkem olnud huvitatud Iraagi kultuuripärandi säilitamisest, paraku huvitas neid vaid nafta.

Niisiis oli USA armee sõjaliste operatsioonide käigus 2003. aasta aprillis Bagdadi linna vallutamisel. Iraagi Muuseum kohalike poolt rüüstatud, paljud esemed oli varastatud, terve hulk hävitatud või saanud kahjustusi¹⁰.

Ligi 15 000 muistset eset olid varastatud, sealhulgas ka 4800 väärtuslikku silinderpitsatit.¹¹ Paljud esemed läksid mustale turule, kus neid said osta kollektsionäärid. Hiljem saadi siiski üht-teist ka tagasi, näiteks tuntud Warka vaas, mille väljakaevamisnumber on W14873 ja mis leiti Uruki linnast.¹² Vaas oli valmistatud alabastrist ca 3000. aastal eKr, sellel olid ilusad kultussteenid, kus on kujutatud muistse sumeri Uruki linna valitsejat jne. See unikaalne vaas varastati 2003. aasta aprillis ja tagastati 2003. aasta juunis, kuid paraku kildudena.¹³

Rüüstatud said ka mitmed muud muuseumid (näiteks Nasariyahi linnas¹⁴), paljud muistsed Mesopotaamia asulakohad ja linnad nagu Ur, Uruk, Nippur, Isin jne, kuid kõige suurem kahju tekitati tõenäoliselt ikkagi Bagdadi muuseumile. Sealt on kadunud tuhandeid ja tuhandeid hindamatuid sumeri, akkadi, assüüria, babüloonia, pärsia ja koguni rooma ning partia-aegseid aardeid, artefakte.

Tuhandeid esemeid pole suudetud leida siimaani, paljud esemed aga õnneks siiski tagastati. Ajavahemikul 2003. aasta aprillist novembrini töid peaaegu 2000 iraaklast tagasi ligikaudu 2000 eset. Iraaklastelt kogutud info põhjal suudeti kätte saada veel ca 3500 röövitud eset (Jõgis-Laats 2008).

20. märtsil 2008. aastal. „Eesti Päevalahes“ ilmunud artiklis *“Iraagist varastatud aarded võivad liikuda salakaubana Eestisse”* on ära toodud intervjuu Ühendriikide merejalaväe reservkolonel Matthew Bogdanosega, kes kirjeldas Iraagi muuseumi rüüstamist, rääkis esemetest, mis läksid

¹⁰ Vt lõhutuid kujusid näiteks https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/dbfiles/farchakh/museumphotos.htm#iraqmuseumbaghdad2003_a; vt ka <https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/iraq.html>

¹¹ vt lähemalt <https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/dbfiles/Iraqdatabasehome.htm>
¹² vt <https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/dbfiles/objects/14.htm>; Warka vaasi kohta vt näiteks Hrouda 1971, Tafel 16 a,b,c.

¹³ Donny George, McGuire Gibson 2008, 22; vt ka Clemens Reichel 2008, 59

¹⁴ Vt https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/dbfiles/farchakh/museumphotos.htm#iraqmuseumbaghdad2003_a

kaduma ja mis suudeti leida ning muidugi ka salakaubandusest (Jõgis-Laats 2008).

Lõppsõna

Niisiis, sõjas said muistsed Mesopotaamia linnad kannatada ning mustade arheoloogide tegevuse tõttu, kes varastavad ja lõhuvad linnades olevaid muistiseid, kannatasid ja kannatavad need ka praegu.

Lisaks humanitaarsele, majanduslikule, demograafilisele ja poliitilisele katastroofile, on Iraak sattunud ka kultuurilise katastroofi äärelle. Mida toob tulevik Iraagile, tema rahvale ja ka kultuuripärandile ning selle uurimisele, on raske ennustada. Igal juhul on Iraak riikliku moodustusena tänapäeval väga ebastabiilne ja nõrk. Ja nagu õigesti märkisid oma artiklis „Iraagi habras föderatsioon“ Asso Zand ja Kristiina Koivunen: „Iraagi “pehme” jagunemine kolmeks riigiks pole endiselt sugugi välistatud“ (Zand, Koivunen 2012).

Kasutatud kirjandus

Internetiallikad:

Helme, M. 2011. Araabia kevadest araabia sügisesse. – Maailma Vaade, Nr. 15, 2011: http://maailmavaade.ee/?d=araabia_1111 Hermann, R. 2007. Saladin und Nebukadnezar als Vorbild, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 02.01.2007, lk 3 - <http://m.faz.net/aktuell/politik/ausland/saddam-hussein-saladin-und-nebukadnezar-als-vorbild-1385362.html> (viimati vaadatud 29.09.2012)

Jõgis-Laats, J. 2008. Iraagist varastatud aarded võivad liikuda salakaubana Eestisse. – Eesti Päevaleht, 20. märts 2008: <http://www.epl.ee/uudised/422866> (viimati vaadatud 29.09.2012)

Lost Treasures from Iraq: <https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/iraq.html> (viimati vaadatud 29.09.2012)

Zand, A. ja Koivunen, K. 2012, Iraagi habras föderatsioon. – Diplomaatia, Nr 101/102, veebruar 2012:

[http://www.diplomaatia.ee/index.php?id=242&tx_ttnews\[tt_news\]=1381&tx_ttnews\[backPid\]=598&cHash=bf871d498a](http://www.diplomaatia.ee/index.php?id=242&tx_ttnews[tt_news]=1381&tx_ttnews[backPid]=598&cHash=bf871d498a)

(viimati vaadatud 29.09.2012)

Lost Treasures from Iraq:

https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/dbfiles/farchakh/museumphotos.htm#iraqmuseumbaghdad2003_a (viimati vaadatud 29.09.2012)

<https://oi.uchicago.edu/OI/IRAQ/dbfiles/Iraqdatabasehome.htm>,

(viimati vaadatud 29.09.2012)

Raamatud ja artiklid:

- Emberling, F. ja Hanson, K. (toim). 2008 *Catastrophe! The Looting and Destruction of Iraq's Past.* The Oriental Museum of the University of Chicago, Oriental Institute Museum Publications No. 8.
- Dieter, H. ja Günther R. 1990. Römische Geschichte bis 476. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- Espak, P. ja Sazonov, V. 2012. Suurkuningate võimu lõpp? *Diplomaatia* 8, august 2012, 2-4.
- Fawcett, L. 2005. International relations of the Middle East. Oxford University Press, Oxford-New York.
- Finlan, A. 2009. Lahesõda 1991. Koolibri.
- George D. ja McGuire G. 2008. The Looting of the Iraq Museum Comple. *Catastrophe! The Looting and Destruction of Iraq's Past.* (toim.) . Emberling, F., Hanson, K., with contributions by Gibson, McG., George, D., Russel, J.M Hanson, K., Reichel, C., Stone E.C. ja Gerstenblith, P., lk 19-27.
- Hallik, M ja Klassen, O.-M. 2004. Taaveti tähest Talibani languseni. Konfliktid ja arengud Lähis- ja Kesk-Idas pärast Teist maailmasõda. Argo, Tallinn.
- Karsh, E. 2010. Iraani-Iraagi sõda 1980-1988. Koolibri.
- Hrouda, B. 1971. Vorderasien I. Mesopotamien, Babylonien, Iran und Anatolien. C.H.Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München.
- C.Reichel C. 2008 Cataloging the Losses: The Oriental Institute's Iraq Museum Data Project. – *Catastrophe! The Looting and Destruction of Iraq's Past.* (toim.) Emberling, F. ja Hanson, K., with contributions by Gibson, McG., George, D., Russel, J.M., Hanson, K., Reichel, C., Stone E.C. ja Gerstenblith, P., lk 51-63.
- RIMA 1 = A.K. Grayson. 1987 *Assyrian Rulers of the Third and Second Millennia BC (to 1115 BC).* The Royal Inscriptions of Mesopotamia. Assyrian Periods. Volume 1, University of Toronto Press, Toronto-Buffalo-London., reprinted 2002.
- Sazonov, V. 2010. Die Königstitel und -epitheta in Assyrien, im Hethiterreich und in Nordsyrien (Ugarit, Emar, Karkemiš) in der mittellassyrischen Zeit: Strukturelle Gemeinsamkeiten, Unterschiede und gegenseitige Beeinflussung. (Doktoritöö) Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Sazonov, V. 2012. Vanad rivaalid. *Postimees*, Nr 29, lk 6-7.
- Spencer, W.J. 2007. *The Middle East. Eleventh Edition. Global Studies.* McGraw-Hill/Contemporary Learning Series, Dubuque, IA 52001, A Division of The McGraw-Hill Companies.
- Waines, D. 2003. *Sissejuhatus islamisse.* Peterson, Ü. ja Einasto, H. (tõlk.). AS Bit, Tallinn 2003.

Venekeelsed teosed:

- Агаев, С. Л. 1987. *Иран между прошлым и будущим. События, люди, идеи.* «Издательство политической литературы», Москва.
- Алиев, А. 2002. *Иран vs Ирак. История и современность.* «Издательство Московского Университета», Москва.
- Апдайк, Р. Дж. 1999. *Саддам Хусейн. Политическая биография.* «Феникс», Ростов-на-Дону.

- Воскресенский, А.Д. 2007. *Политические системы и модели демократии на Востоке*, «Аспект пресс», Москва.
- Сатановский, Е. 2012. *Россия и Ближний Восток. Котел с неприятностями*. «Эскмо», Москва.
- Примаков, Е. 2006. *Ближний Восток на сцене и за кулисами*. «Российская газета», Москва.
- Зейналов, М. П. 2001. *В блокадном Ираке*. «Реалии», Москва.
- Шурлов, С. 2006. *Иракский капкан для США*. «Яуза», «Эскмо», Москва.

Vladimir Sazonov (vladimir.sazonov@mail.ee) - Tartu Ülikooli orientalistika keskus, Jakobi 1,50090 Tartu; Kaitseväe Ühendatud Õppeasutused, Riia 12, 51013 Tartu.

Looduskatastroofide peegeldumisi Eesti paeläbilöikes

*Rein Einasto
paevana*

Vöörsönade leksikon (Vääri 2000 lk 480) selgitab: katastroof (*katastrophe* pööre) – äkiline önetus, hukatus, **hävinguline sündmus** (looduses, inimtegevuses). Geoloogias on sel terminil lisaks hävingulisele ka sünditav, loov tähendus, eriti sedimentoloogias. Avaramas tähenduses on kõik fatsiaalselt oluliselt erineva koostise ja struktuuriga setete VAHEKIHID (konglomeraadi, liiva jt. teraliste setete vahekihid mudasetetes), kestva lünga tunnustega karstunud KATKESTUS- JA KULUTUSPINNAD ja TERAVID PIIRID LÄBILÖIKES katastroofiliste protsesside tagajärg, mille otseseid põhjusi me enamasti üheselt ei tea. Samas on ridamisi selgeid ja üheselt katastroofiliste sündmuste sünditistena tõlgendatavaid geoloogilisi objekte: sorteerumus-kihilisusega teraliste setete vahekihid mudasetetes - **tormised** ehk *tempeetid* (Hallam 1981; Einsele, Seilacher 1982); *metabentoniidi* vahekihid - vulkaanilise tuha ulatusliku saju säilmed, samuti **meteoriidiplahvatuste** tagajärjel tekkinud kraatrid (Suuroja 2001 jt). Ka ulatusliku pindalalise levikuga anomaalselt paksud **kukersiidi** kihid on vaadeldavad looduskatastroofide tagajärjena, mis panid erilise intensiivsusega vohama ja kiirelt (geoloogilises mõttes hetkeliselt) mattuma kaitsekesta sulgunud kukersiini-vetika (*Gloeocapsomorpha prisca*) kobarterad tohutu laial alal tõusu-mööna vöödi vahetus naabruses (Männil jt. 1986).

Köik ulatuslikud **üleilmsed veeputused**, eriti basaal-transgressioonid pärast kestvat kontinentaalset lünka, on anomaalse ookeanipinna tõusu tagajärg ja käsitletav katastroofina, mis omakorda on põhjustatud kas ulatuslikust mandrijäätumisest poolus(t)el või globaal-tektoonilistest protsessidest (suurte maismaa massiivide vajumine ookeanipinna alla, veealuste keskmäestike kerkimine jm.).

Üheks suuremaks selletaoliseks väga suurte maismaa-tasandike üleujutuseks kõigil kontinentidel oli kahtlemata **Arenigi ajajärgu basaal-transgressioon**, millega algas settimislugu Baltika mandripanga lääneserval Balti paleobasseini (*sensu stricto*) – lahekujulise madala šelfimere - tekkimisega praeguste Balti riikide, Lööna-Rootsi, Kirde-Poola ja Lääne-Venemaa kohal (Männil 1966). Basseini keskne teljeosa – **Liivi keel** - püsis sügavama alana kogu selle ääremere ligi 70 miljonit aastat (ca. 480-410 Ma) kestnud eksistentsi vältel, (Einasto 1995, 2010). See oli paetekkele – lubisetete moodustumisele - vahetult eelnev aeg, mil moodustus kogu geoloogilise ajaloo suurim teadaolev glaukoniidikuhi maailmas (Nalivkin 1956, Einasto 2010, 2011).

Kui globaalne geoloogiline ajaskaala rajaneks suursündmuste piiritlemise hierarhilisel põhimõttel, mitte ajalooliselt kujunenud indeksfossiilide ilmumise alusel, oleks see üleilmne madalmaade üleujutus loomulikuks Kambriumi ja Ordoviitsiumi ajastute piiriks, millega kogu Tremadocki ajajärk kuuluks regressiivsena Hilis-Kambriumisse.

Geoloogiliselt tähenduselt lähedane on **basaal-transgressioon Vara-Devoni keskel**, mil Kaledoniidide kerkimisega kaasnev maapinnatõus Balti aladel põhjustas Balti paleobasseini täitumise järel selle likvideerumise ja uus mere pealetung toimus idast Uurali ookeanist lähtuvalt, ujutades üle kogu Baltika kontinendi kuni loodes asuva Kaledoniidide jalamini (Mens jt. 1992). Nende kahe globaalse katastroofilise suursündmuse (madalmaade üleujutuse) vahele mahub kogu Balti paelasumi tekkeaeg paljude madalamat järku katastroofiliste sündmustega, millest mastaapsemateks olid kahtlemata Ordoviitsiumi ja Siluri ladestu siseseid kõrgemat järku tsüklo-stratigraafilisi piire määravad ookeanipinna **eustaatilised tõusud Idavere, Oandu, Juuru, Adavere ja Paadla eal** (Nestor ja Einasto 1997; Einasto 2008, 2009, 2010), mille tulemusel madalveelisel kaldalähedasel platool settisid avašelfi keskmistele sügavustele (50-100 m) iseloomulikud teralis-mudalised savirikkad lubimudad. Kahel tasemel loetletuist (Idavere ja Adavere eal) kaasnes lubisetete moodustumisega sagedaste vulkaanilise tuha – metabentoniiidi – vahekihtide kujunemine, mis üheselt viitab **vulkaanilise tegevuse** intensiivistumisele **Avaloonia ja Laurentia kontinentide sujuval põkkumisel Baltikaga**. Üldmainitud viiel stratigraafilisel tasemel on madalveelises settimisruumis kindlaks tehtud kuni kolmandiku lademe mahuline stratigraafiline lünk ja lauge põiksus, kusjuures Balti paleobasseini äärmises kaguosas lasub Oandu lade isegi aluskorra vundamendil (Einasto 1995).

Madalveelises platoolises settimisruumis fikseerusid lühema või pikema ajalise kestusega lünki markeerivate katkestus- ja kulutuspiiride kujul sajad katastroofilised sündmused settebasseini arenguloos, millest on palju räägitud ja kirjutatud (Orviku 1940, 1961, Einasto 1964, 1989, 2008, 2009; Pirrus ja Einasto 1987; Bauert 1989; Saadre 1992, 1993 jt.), aga süvauuringud seisavad kahtlemata alles ees, seda kohustab meie erakordselt tänaväärne fatsiaalselt mitmekesine „looduslik arhiiv“ paelasumi ja puursüdame näol.

Kasutatud kirjandus

Bauert, H. 1989. Discontinuity surfaces of possible microkarst origin in the Viivikonna Formation (Kukruse Stage, Middle Ordovician) of Estonia. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, 38, 2, 77–82.

- Einasto, R. 1964 / Эйнасто, Р. 1964 К вопросу о классификации и формировании поверхностей перерыва // Литология палеозойских отложений Эстонии / Инст. Геол. АН ЭССР–Tallinn, 123-130.
- Einasto, R. 1989 / Эйнасто, Р. 1989. Система перерывов в силуре северной Прибалтики // Геология и палеонтология: к 100-летию со дня рождения академика Д. В. Наливкина–Leningrad: Nauka, 142-153.
- Einasto, R. 1995. “Liivi keele” omapärasest Baltika arenguloos. Rmt-s? Meidla, T., Jõelet, A., Kalm, V. ja Kirs, J. (toim.) *Liivimaa geoloogia*. Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu, 23–32.
- Einasto, R. 2008. Katkestuspiindadest ja lünkadest Eesti paelasundis. Stratigraafilisi ja sedimentoloogilisi probleeme. *Schola Geologica IV, Suured teooriad*. ELUS, TÜ Ökol. Maatead. Inst., TTÜ GI, TTÜ MI, Tartu lk 46-54.
- Einasto, R. 2009. Lünkadest ja pidevusest kivimkehade piiridel. *Schola Geologica V, piirideta geoloogia*. ELUS, TÜ Ökol. Maatead. Inst., TTÜ GI, TTÜ MI, Tartu, lk 89-96.
- Einasto, R. 2010. Settimisprotsessi globaalse tsüklilisuse kajastamisest Eesti paelasundis ja stratigraafilises skeemis. *Schola Geologica VI. Globaalsed muutused*. ELUS, TÜ Ökol. Maatead. Inst., TTÜ GI, TTÜ MI, Tartu, lk 47-53.
- Einasto, R. 2011. Üksainus küsimus. Geoturismi arendamisest paeasta valguses. *Horisont* 4, lk 4.
- Einsele, G. ja Seilacher, A. 1982. Cyclic and event stratification. Springer-Verlag, 1- 502.
- Hallam, A. 1981. Facies interpretation and the stratigraphic record. Univ, Birmingham, 1-327.
- Mens, K., Kleesment, A., Mägi, S., Saadre, T. ja Einasto, R. 1992. | Менс К., Клеесмент А., Мяги С., Саадре Т., Эйнасто Р. 1992. Разрез каледонского структурного комплекса запада Прибалтики (по линии Тахкуна – Голдап). *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, 41, 3, 124–138.
- Männil, R. 1966. | Мянниль Р.М. 1966. История развития Балтийского бассейна в ордовике. Валгус, Таллин, 1–200.
- Männil, R., Bauert, H. ja Puura, V. 1986. | Мянниль Р., Бауерт Х., Пуура В. 1986. Закономерности распределения накопления кукерситов. *In: Пуура В. (ред.) Строение сланценосной толщи Прибалтийского бассейна горючих сланцев-кукерситов*. Валгус, Таллин, 48–54.
- Nalivkin, D. 1956. Utsenije o fatsijah, I O, 534 lk.
- Nestor, H. 1997. Eesti geoloogilise ürgajaloo tähtsündmused. *Eesti Loodus*, nr 3.
- Nestor, H. Einasto, R. 1997. Development of Ordovician and Silurian carbonate sedimentation basin kogumikus Anto Raukas and Aada Teedumäe (toim) *Geology and mineral resources of Estonia*, Institute of Geology; –Tallinn: Estonian Academy Publishers, lk 192-204.
- Orviku, K. 1940. Lithologie der Tallinn-Serie (Ordovizium Estland). Acta Comment. Univ. Tartuensis, A36, 1, 1–216.
- Orviku, K. 1961. Diskontinuiteedipinnad Volhovi ja Kunda lademes. – Geoloogiline kogumik. Tartu, lk 16–25.
- Pirrus, E. ja Einasto, R. 1987 / Пиррус, Э. Эйнасто, Р. 1987. Классификация стратиграфических пробелов и седиментационных перерывов в палеозое Прибалтики // ENSV TA Toimetised. Geoloogia 36 kd., nr 1, lk 36-44.

- Saadre, T. 1992. Distribution pattern of the Ordovician discontinuity surfaces, East Baltic region. *Bull. Geol. Surv. Estonia*, 2/1, 16–26.
- Saadre, T. 1993. Middle and Upper Ordovician discontinuity surfaces in northern Estonia (zonality based on their impregnation type). *Bull. Geol. Surv. Estonia*, 3/1, 33–39.
- Suuroja, K. 2001. Kärddla meteoriidikraater. Tallinn.
- Vääri, E. 2000. Võõrsõnade leksikon. Kuues uuendatud trükk, Eesti Raamat, 1-1072.
-

Rein Einasto (reinasto34@gmail.com) – Tallinna Tehnikakõrgkool, Pärnu mnt. 62, 10135 Tallinn

Katastroofide füüsika: tormiaju ja tsunami

Tarmo Soomere

Oleme Läänemere ääres harjunud sellega, et veetase meres püsib üsna ühtlasena, varieerub vaid õige veidi, enamasti mõnekümne sentimeetri võrra aastaegade rütmis ning tõuseb ebameeldivalt kõrgele vaid üksikutes tormides. Samade asjadega Vahemerel harjunud Aleksander Suurt üllatas India ookeani rannikul tõus ja mõõn, mis lõhkus palju laevu ja tegi muidu pahandust. Tõusu ja mõõna käitumine on praeguseks üksikasjadeni tuntud. Kohtades, kus veetase märgatavalt muutub, on vastav prognoos igapäevane rutiin ning kõrgeim ja madalaim veeseis ning nende saabumise aeg on sageli teadetatahvliitel kõrvuti bussi ja rongi sõiduplaaniga. Kuigi veetase võib tõusu-mõõna tsüklis muutuda enam kui 10 m võrra, on selle põhjused ning käitumine nii ajas kui ka ruumis täpselt teada ning seega ei saa mõistlike olendite jaoks olla katastroofide põhjuseks.

Teisiti on asjad siis, kui meri tuleb meile külla ootamatult. Avaookeani rannikuid tabavad vahel kõikepurustavad tsunamid. Kuigi nende kõrgus on enamasti palju väiksem avamere suurimate tuulelainete kõrgusest, võib nendes liikuma läinud veemass jõuda enam kui 500 meetri kõrgusele rahulikust veepinnast. Tsunamisid sünnitavad enamasti merepõhja all toimunud maavärinad, harvem vulkaanipursked või asteroiditabamused, mistõttu säärase lainete prognoosimine on sisuliselt võimatu ning nende eest hoiatamine keerukas ja kulukas.

Ka meie igapäevane tuul ja õhurõhk võivad merevee ootamatult käituma panna. Sellisel puhul räägime tormiajust ehk rannaäärsete alade üleujutusest. Sageli tungib meri peale vaikselt, kuid veel ohtlikumal moel kui tsunami puhul: vesi tulvab sisemaale pikaks ajaks ning ellujäämise šansid kahanevad selle tõttu märgatavalt.

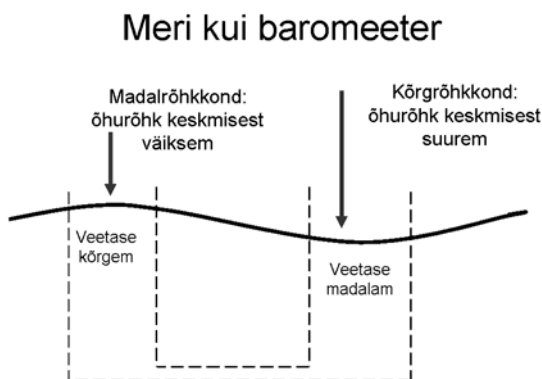
Mineviku kuulsate tsunamide ja rannaäärsete alade üleujutuste kohta on eestikeelses aimekirjanduses autori sulest ilmunud mitmeid ülevaateid (Soomere 2005a,b,c; Soomere 2011). Samuti on värskelt ilmunud mahukas raamat (Pretor-Pinney 2012), mis põneval moel paljastab hulga lainemaailma (sh. tsunami) saladusi. Seetõttu käsitlen allpool vaid tormiaju ja tsunami toimimise mehaanikat ja dünaamikat, ennekõike fokuseerudes nende sarnasustele ja erinevustele.

Võimalus, et vesi tulvab merelt sisemaale, olgu siis tuulest aetuna või tsunami poolt liikuma panduna, on seotud pinnalainete tekkimist võimaldava fundamentaalse omadusega: veepinna asend saab üsna vabalt muutuda ning vastavad häiritused kergesti levida. Sellise muutumise võivad käivitada mitmed tegurid: õhurõhk (sh. selle häirituste liikumine), pikkade lainete (seišid, Kelvini lained) levimine, mere kohal puhuva tuule poolt

tekitatud veepinna lokaalne kalle ranna vahetus läheduses või murdlainete võõndis moodustuv veepais. Selles loetelus toodud üksikute tegurite mõju jääb enamasti mõistlikkuse piiresse. Rannaäärsete alade laialdased üleujutused on seega tüüpiline näide katastroofidest, mis sünnivad enamasti mitmete tegurite kumuleerumisel.

Meri kui baromeeter

Baromeetriline tõus on veepinna loomulik reaktsioon õhurõhu muutumisele tormiga seonduvas madalrõhkkonnas. Kui õhurõhk mere kohal varieerub, liigub teatav hulk vett kõrgema rõhuga piirkondadest madalama rõhuga aladele. Põhimõtteliselt on selle nähtuse puhul tegemist ühendatud anumate mõiste laiendusega. Erinevus gümnaasiumi füüsikatundidest meelde jäänud igasuguse keerulise kujuga anumate ja mere vahel on vaid selles, et toru rollis, mis anumaid ühendab, on kogu veemass (joonis 1). See vahe on siiski oluline. Suhteliselt peenikese ühendustoru puhul reageerib veepind eri anumates teatava ajanihkega. Vastaval liikumisel meres on aga laineline iseloom. Seetõttu liigub õhurõhu muutumise signaal avaookeanis väga kiiresti (nn. pika laine kiirusega; sellest allpool) ning veetase järgib rõhkkondade käitumist praktiliselt momentaanselt. Läänemeres piiravad vee liikumist kitsad ja madalad väinad, mistõttu torudega ühendatud anumate mudel on siin märksa adekvaatsem ning veepinna reaktsioon õhurõhu muutustele võib hilineda või olla märksa väiksem kui avaookeanis.



Joonis 1. Baromeetriline tõus

Baromeetriline tõus moodustab tavaliselt päris väikese osa tormiajust, vaid mõnikümmed sentimeetrit. Selle suurust on lihtne hinnata hüdrostaatika reeglite alusel. Veetaseme muutumine η_B on ookeani soolase vee puhul $\eta_B \approx 1.04\Delta p$ juhul, kui Δp on mõõdetud millibaarides keskmise õhurõhu (1013 millibaari) suhtes ja η_B väljendatud sentimeetrites. Läänemeres on vee soolsus märksa väiksem kui ookeanis; vastavalt on vee tihedus mõne protsendi võrra väiksem ja koefitsiendi 1,04 võib ära jätta. Pole vahet, kas tegemist on kõrg- või madalrõhkkonnaga, esimesel juhul veetase alaneb ja teisel tõuseb.

Meteoroloogiline tsunami

Eelmises jaotuses esitatud analüüs on adekvaatne vaid siis, kui rõhkkonnad ei liigu. Kui aga õhurõhu häiritus liigub teatava kindla kiirusega, on võimalik teatavat tüüpi resonantsi tekkimine. Sellisel puhul rõhkkond ergutab üht konkreetset lainet ning tekivad nii laevalained kui ka meteoroloogilised tsunamid.

Vaatleme jällegi lihtsustatud situatsiooni, mil õhurõhu häiritus kujuga $p_0 = f(Ut - x)$ liigub üle kindla sügavusega h mere konstantse kiirusega U . Õhurõhu häirituse täpne kuju ehk funktsioon f on ebaoluline. Taoline häiritus tekitab loomulikult ka teatava vee liikumise. Seda kirjeldavad lihtsaimal moel kaks lineariseeritud võrrandit: pidevuse (ehk massi jäävuse) võrrand ja impulsi liikumissuunalise komponendi võrrand (ehk Newtoni teine seadus) madala vee lähenduses.

Jättes matemaatilised detailid kõrvale, annab nende võrrandite kombineerimine järgmise lahendi veepinna häirituse η jaoks, mis liigub koos õhurõhu häiritusega:

$$\frac{\eta}{h} = \frac{p_0/\rho}{U^2 - gh}$$

Siin on ρ vee tihedus ja g raskuskiirendus. Kui $U=0$ (õhurõhu häiritus on paigal), väljendab saadud lahend baromeetrilist tõusu.

Huvitav nähtus tekib aga siis, kui õhurõhu häirituse liikumise kiirus on võrdne pikkade lainete leviku kiirusega $c = \sqrt{gh}$ kõnesoleva mereala jaoks. See kiirus on tuntud ka kriitilise kiirusena, millega liiguvad laevad (kiirlaevad) tekitavad ebatavaliselt kõrgeid ja pikki laineid. Teoreetiliselt võib siis veepinna häiritus kasvada kuitahes suureks. Kui häirivaks teguriks on suhteliselt suure ulatusega õhurõhu häiritus, on tulemuseks nn. meteoroloogiline tsunami. Tegelikuses piiravad kasvu mitmed muud

tegurid ning taolistel kiirustel liikuvate häirituste poolt tekitatud nähtuste adekvaatseks analüüsiks tuleb rakendada märksa keerukamaid kontseptsioone ja võrrandeid.

Huvitav on ka märkida, et kui $U < c$, on rõhu häiritus ja veepinna muutus vastandfaasis, kuid juhul, kui $U > c$, on need samafaasilised. Seega võib ebatavaliselt tugeva reaktsiooni tekitada nii liikuv kõrg- kui ka madalrõhkkond. Kui õhurõhu häiritus liigub väga kiiresti ($U \gg c$), on veepinna reaktsioon nõrk. Tekkiva häirituse amplituud läheneb nullile kui $U \rightarrow \infty$. Selle füüsikaline põhjendus on lihtne: kui häiritus libiseb väga kiiresti üle mere, ei jõua vesi üldse liikuma hakata.

Statsionaarne tormiaju

Tuule otsene mõju veemassidele võib tekitada märksa suuremaid veepinna muutusi kui baromeetiline tõus. Veepinna kohal puhuva tuule ja märksa aeglasemalt voolava vee kiiruste erinevuse ning sellega seonduva õhu ja vee vahelise hõrdejõu tulemusena tekib veepinnal teatav pinge. Veemasside reaktsiooni sellele jõule mõistetakse tormiajana klassikalises tähenduses. Kuigi tuule poolt tekitatud pinge veepinnal pinnaühiku kohta on võrdlemisi väike, rakendub see tugevate ja suurt mereala katvate tormide puhul väga laialdasel alal. Seetõttu võib tuule summaarne mõju avalduda katastroofilise üleujutusena.

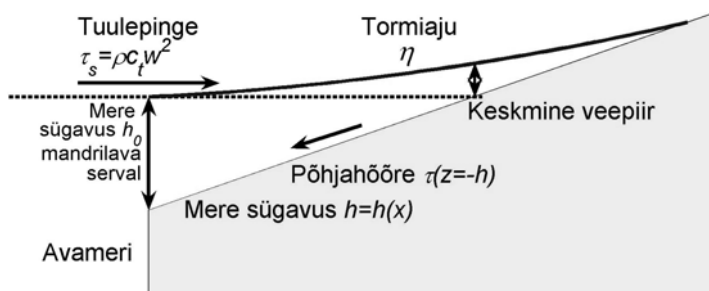
Tuulepinge täpset suurust ei suudeta veel teoreetiliselt määratleda, mistõttu see leitakse mitmesugust laadi eksperimentide alusel tuletatud lihtsustatud seostest. Tormituule tekitatud pinge τ_w veepinnal loetakse tavaliselt võrdeliseks tuule kiiruse ruuduga $\tau_w = \rho c_t W^2$, kus W on tuule kiirus ja $c_t \sim 10^{-6}$ teatav (hõrde)tegur.

Veepinna kuju mandrinõlval (või suhteliselt madalas rannikumeres) saab kergesti arvutada nn. madala vee teoorias kasutatavate võrrandite abil näiteks siis, kui ühtlane tuul puhub piisavalt pikka aega otse ranna poole. Sellisel juhul tekib mingi aja pärast tasakaal tuule mõjul ranna poole pressitava pinnakihi ja rannalt gravitatsioonijõu mõjul tagasi voolava veemassi vahel. Kolmas arvestatav komponent selles süsteemis on vee hõõrdumine vastu merepõhja (joonis 2). Keerukamalt väljendudes: eeldatakse, et piisavalt pika tormi kestel tekib rannikumeres statsionaarne olukord, mil vee pinnale rakenduv tuulepinge on tasakaalustatud hüdrostaatilise rõhu gradiendi ja põhjahõrdest tekkiva pinge τ_h vahega. Kõnesolevas lähenduses kirjeldab veepinna η kuju järgmine võrrand:

$$\frac{d\eta}{dx} = \frac{\tau_w - \tau_h}{\rho g(h + \eta)},$$

kus x -telg on suunatud ranna poole.

Selles lihtsas seoses tuulepinge, põhjahõõrde, vee sügavuse ja veepinna kalde $d\eta/dx$ vahel peituvad tormiaju paljud olulised omadused. (Veepinna kaju määratlemiseks tuleb saadud diferentsiaalvõrrand veel lahendada; sellest veidi allpool). Kuna tuule kiiruse suurenemisel kasvab tuulepinge kiiremini kui põhjahõõre, ning selle tõttu omakorda suureneb veepinna kalle igas mere punktis, tõuseb ka maksimaalne veetase ranna ääres. See asjaolu peegeldab lihtsat kogemust: kui puhume väga tugevasti kuuma kohvi peale, loksus kohv üle tassi serva.



Joonis 2. Ranna poole puhuva tuule poolt tekitatud tormiaju

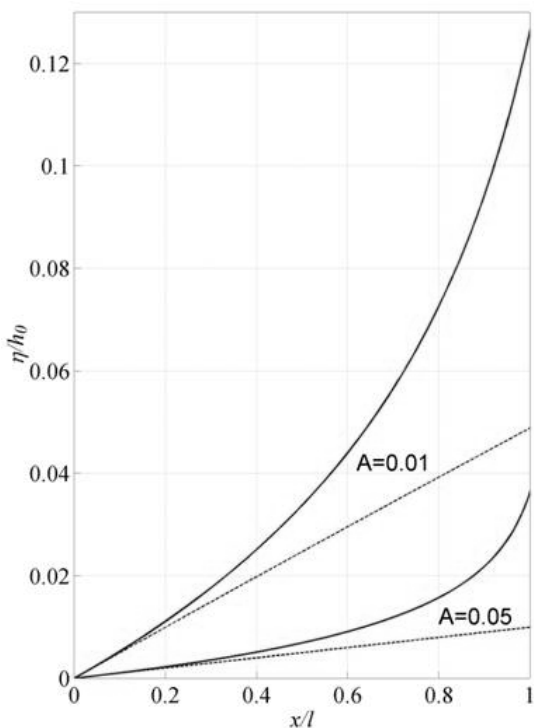
Märksa olulisem ning sageli kahe silma vahele jäetud asjaolu on, et veepinna kalle on jämedalt pöördvõrdeline mere sügavusega. Seda väljendab tegur $(\eta + h)$ võrrandi parema poole murru nimetajas. Seega on väga sügavas meres tuule tekitatud veepinna kalle väike ja tormiaju tagasihoidlik ka tugevaimates tormides. Seevastu randades, mis piirnevad madalaveeliste merealadega, on rannaäärsete piirkondade üleujutus seda tõenäolisem, mida laiem ja madalam on madalmeri. Nii tulenevad sagedased katastroofilised üleujutused Mehhiko lahe rannal, kus tormiaju kõrgus on korduvalt ületanud 6 m, ennekõike mitte seal möllavate orkaanide erakordsest tugevusest, vaid palju enam sealsest väga laia ja madalast mandrilavast. Samal põhjusel on üleujutused üsna haruldased Põhja-Ameerika Vaikse ookeani poolsel rannikul, aga ka enamasti järsult sügavneval Atlandi ookeani rannikul. Eestis on selle tõttu võimalikud väga kõrged veetasemed Pärnus ja Haapsalus, kuid näiteks Paldiski on üleujutuste suhtes võrdlemisi immuunne. Peterburi tammi ees on vee

sügavus märksa suurem kui Neeva suudmes. Vastavalt on madalam ka tammi juures esinev maksimaalne veetase.

Tuletatud võrrandile saab leida analüütilise lahendi ja selle kaudu lihtsad seosed tuule pinge ja tekkiva veetõusu vahel; näiteks ühtlase sügavusega rannikumere ja konstantse kaldega merepõhja jaoks (joonis 3). On märkimisväärne, et ühtlase sügavusega rannikumere puhul (mis on mõistlik mudel nii meremüüri, otse merre laskuva pankranniku kui ka Peterburi tammi puhul) on veetaseme maksimaalne kõrgus rannal märksa väiksem kui tasapisi madalduva mere ja aeglaselt tõusva ranna puhul. Vahe on enam kui kahekordne. See on igati loogiline, kuna järjest madalamaks muutuv asu meres on veepinna kalle seda suurem, mida lähemale rannale jõuame.

Maksimaalne veetaseme tõus rannajoonel on käsitletavas lähenduses võrdne mere sügavusega rannanõlva merepoolses servas (st. kohas, kus sügavus järsult suureneb). Tuletatud võrrandit rakendatakse tavaliselt vaid keskmise veepiirini. Põhimõtteliselt ei piira miski selle kasutamist ka sisemaal, kuni veetõusu ei peata rannakaitserajatised, liivaluited või rannakaljud. Madalatel rannaaladel võib maapinna profiil aga tõusta sama laugelt nagu rannanõlvgi. Nii on see paljudes Lääne-Eesti randades, aga ka Pärnus, kus rannahoone kõrvalt omal ajal liivaluited ära veeti ja rannarajoon nõnda merele avati. Tormiaju võib ulatuda siis päris kõrgele, näiteks piki otse ranna poole minevat laia asfaltteed. Kuna aga veemassi paksus maapinna kõrgenedes järjest kahaneb, on siingi teatav piir, mille üle teaduskirjanduses veel praegugi arutletakse. Muidugi tuleb silmas pidada, et tegemist on üsna lihtsustatud, vaid tasakaalulist situatsiooni kirjeldava võrrandiga; pealegi eeldatakse, et merepõhi on sile, rand sirge ja tuul puhub täpselt ranna poole. Need tingimused on realistlikus meres harva rahuldatud. Seetõttu tuleb kõnesoleva võrrandi lahendeid interpreteerida ligikaudsetena, pigem veetõusu suurusjärgu hinnangutena.

Juhul, kui tuul puhub ranna suhtes teatava nurga all, sobib kirjeldatud meetodika otse maa poole suunatud komponendi poolt tekitatud veetõusu hindamiseks. Piki randa suunatud komponendi mõjul tekib aga hoovus. Kui tormi poolt kaetud mereala on piisavalt suur, hakkab hoovust omakorda mõjutama Coriolisi jõud. Sõltuvalt poolkerast võib see tormiaju nii võimendada kui ka summutada. Seega avaldavad tuule kiiruse mõlemad komponendid mõju tormiaju tekkimisele. Ranna poole suunatud komponent tekitab „klassikalise” tormiaju, kuid piki randa suunatud komponent modifitseerib seda.



Joonis 3. Tormiaju dimensionoitu kõrgus erinevatel kaugustel rannast horisontaalse (punktirjoon) ja konstantse kaldega merepõhja (pidevjoon) puhul.

Coriolisi jõu lisandumine on ekvivalentne rannadõlva kalde teatava muutumisega. Nii näiteks võis Coriolisi jõu mõju mõnevõrra suurendada 1953. aasta üleujutuse veetasel Inglismaa idarannikul, kui sinna jõudis põhjatuulte poolt üles aetud tormiaju. Eesti rannik on tugevasti liigendatud, mistõttu on nii tekkiva hoovuse kiirus kui ka selle ulatus piki randa tagasihoidlikud ning tekkiv efekt näiteks Tallinna lahes mõne millimeetri piires.

Lokaalne veetõus murdlainete vööndis

Veetaseme lokaalne tõus (*wave setup*) sünnib ranna lähistel murdlainete vööndis. Seda tingib lainete poolt edasi kantava impulsi transformeerumine osaliselt murduvatelt lainetelt rannalähedasele veemassile. Sobiv eestikeelne sõna selle jaoks praegu puudub.

Tegelikult tekitavad rannale lähenevad lained üsna keeruka veetaseme muutuste mustri (joonis 4). Tavamõtlemise jaoks on mõnevõrra ootamatu, et kõrgetes (kuid veel mitte murduvates) lainetes veetase alaneb. See efekt ilmneb vaid suhteliselt madalas vees. Veetaseme muutus siinuslainetes avaldub järgmisel kujul:

$$\eta = -\frac{H^2}{8} \frac{k}{\sinh(2kh)} = -\frac{H^2}{8} \frac{2\pi/L}{\sinh(4\pi h/L)},$$

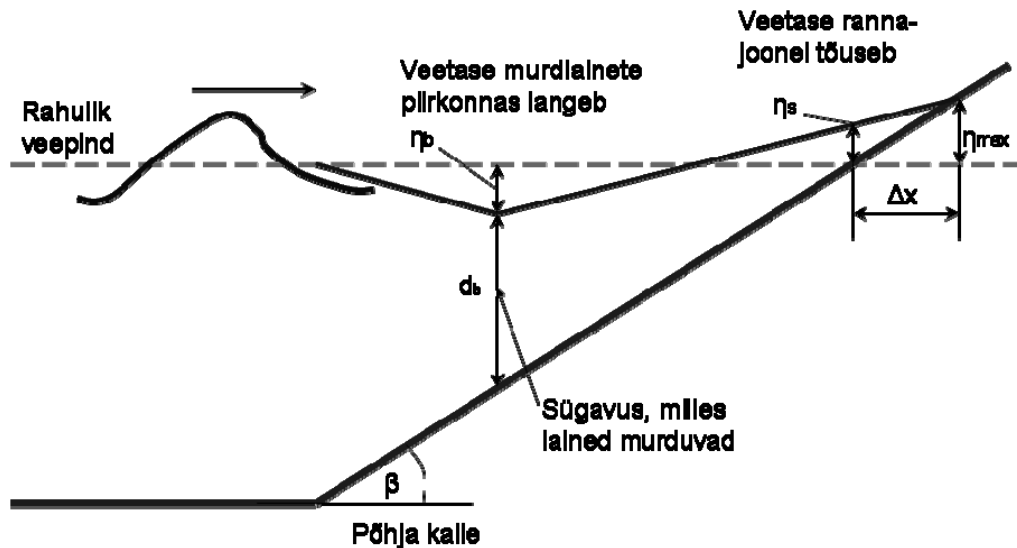
kus H on lainekõrgus, k lainearv ja L lainepikkus. Ka selle seose tuletamisel on tehtud rida eeldusi. Nii näiteks kasutatakse lineaarset laineteooriat ning eeldatakse, et merepõhi on sile ja horisontaalne.

Lisanduvat lokaalset veetaseme tõusu η_{su} saab lihtsalt hinnata konstantse kaldega rannanõlva jaoks. Jättes kõrvale matemaatilised detailid, väljendab veetõusu murdlainete vööndis valem:

$$\eta_{su} = -\frac{H_b^2}{16h_b} + \frac{3\kappa^2/8}{1+3\kappa^2/8}(h_b - h),$$

kus h on vee sügavus vaadeldavas kohas ning h_b vee sügavus murdlainete vööndi merepoolses servas. Koefitsient κ määratakse oletusest, et murdlainete vööndis rahuldavad lainete kõrgus H ja vee sügavus h seost $H = \kappa h$. Suurus H_b on murduma hakkavate lainete kõrgus murdlainete vööndi merepoolsel serval; teisisõnu, $H_b = \kappa h_b$. Lisanduva veetõusu kõrgus rahulikule merele vastaval rannajoonel $\eta_{su} \approx 0.188H_b$ avaldub toodud valemist juhul $h = 0$ ning $\kappa = 0.78$ (mis on tavaline murduvate lainete kõrguse kriteerium). Lisanduv veetõus on maksimaalse kõrgusega $(\eta_{su})_{\max} \approx 0.23H_b$ sisemaal.

Oluline on siin asjaolu, et üha suuremad lained avamerel tähendavad järjest kõrgemale tõusvat vett neis kohtades, kus lained tulevad randa rannajoonega risti. Erinevad autorid pakuvad lisanduva veetõusu kõrguseks rahulikule merele vastaval rannajoonel 15–17% olulisest lainekõrgusest enne lainete murdumist. Kui tugevas tormis on lainete kõrgus avamerel näiteks 5 m, moodustab kirjeldatud moel tekkiv lisanduv veetõus ligikaudu 1 m, mis on oluline osa summaarsest veetasemest. Samuti on märkimisväärne, et veetaseme tõus (nii mudeli järeltuste tasemel kui ka tegelikkuses) jätkub sisemaal, nii et vesi tungib märksa kaugemale, kui seda võiks oletada rannajoonel fikseeritud veetaseme alusel.



Joonis 4. Veetaseme muutumine rannale lähenevates lainetes

Tormiaju komponendid

Teatavas mõttes on tormiaju analüüs (vähemalt matemaatilises mõttes) suhteliselt lihtne ülesanne niipea, kui selle komponentide suurus on teada. Nimelt on summaarse veetaseme moodustumine enamasti praktiliselt lineaarne protsess. Teisisõnu, summaarse tormiaju kõrguse adekvaatse hinnangu annab üksikute komponentide summeerimine. See ei tähenda muidugi, et veetaseme tõusu prognoos oleks lihtne ülesanne. Matemaatikutele omaselt peidetakse tegelik keerukus lihtsalt varjatud kohtadesse.

Lõviosa (kuni 80%) veetaseme tõusust moodustab enamasti tuuleaju, mis on ka kõige raskemini prognoositav komponent. Baromeetiline efekt, Coriolisi jõu mõjul tekkivad muudatused ja murdlainete poolt lisatud veetõus on märksa väiksemad. Suletud ja poolsuletud merealadel ning teatud laiusega mandrilava serval paiknevates kohtades võib lisanduda veekogu omavõnkumiste ehk seišide mõju. Liikuvate õhurõhu häirituste tekitatud meteoroloogilised tsunamid ei ole väga sagedased, kuid näiteks Peterburi jaoks tõenäoliselt kõige ohtlikumad.

Toodud materjali alusel on üsna lihtne näiteks Pärnu lahes 2005. aasta jaanuaritormis aset leidnud rekordiline veetõus komponentideks jagada. Tuuleaju oli eeldatavasti 1,5 m ringis. Lainekõrgus vahetult enne lainete murdumist oli ligikaudu 2,5–3 m ning murdlainete poolt põhjustatud veepinna tõus seega 0,5 m piires. Rekordist (2,74 m) puuduva osa andis see, et juba enne tormi oli kogu Läänemeres palju rohkem vett kui tavaliselt ning mere keskmine veetase oli ligikaudu 0,7 m kõrgem paljuaastasest keskmisest.

Tsunami

Kaks viimast kuulsat tsunamit, 2004 India ookeanis ja 2011 Jaapani rannikul, tuletasid meelde, et rannikul elamine on mitte ainult kallis, vaid ka ohtlik; ja et oht võib tulla vägagi ootamatult. Nii nagu tormiaju puhul, võib ühes kohas veemassile mõjunud signaal käivitada hukutava jõu hoopis teises kohas. Kui tormiaju on siiski suhteliselt lokaalne nähtus ja seotud seda tekitanud tuulega, siis tsunami võimalik kaugmõju on tänu selle lainelisele iseloomule radikaalselt suurem. Selles mõttes ei ole õige vaadelda tsunamit kõrge veetaseme erijuhuna. Võrreldes tormiajuga on ka tsunami erakordse purustusjõu taga selle laineline loomus, mis organiseerib veeosakeste muidu suhteliselt juhusliku liikumise ühtseks tervikuks.

Tsunami on oma nime saanud jaapanikeelsetest sõnadest "tsu", mis tähendab sadamat, ja "nami", mis tähendab lainet; kokku seega "laine

sadamas”. Lainetuse seisukohalt on tsunami teatud tüüpi pinnalaine, mida eristab spetsiifiline tekkemehhanism, suhteliselt suur pikkus, sageli ebataavaliselt aeglane sumbumine ning vahel ka solitonilaadsed omadused. Tsunami kõrgus ületab väga harva tormilainete maksimaalse kõrguse. Tsunamiideks loetakse lained, mis tekivad merepõhja liikumise tagajärjel (maavärina või maalihke tõttu), vulkaanipurske tõttu või siis, kui suur mass (pool mäge, osa jääliustikust või meteoriit) merre kukub.

Kõige sagedamini tekib tsunami maavärina tõttu. Seetõttu registreeritakse lõviosa tsunamidest Vaiksel ookeanil. Ka hiiglaslikud vulkaanipursked (nt. Krakatau või Santorini) on tekitanud tsunamisid. Euroopas on tsunami hästi tuntud nähtus (nt. Lissabon 1755 või Messina 1908). Kõrgeimaid tsunamisid on tekitanud maalihked (nt. kuni 250 m kõrgusele ulatunud laine Vajont’i veehoidlas Itaalia põhjaosas või üle 500 m kõrgusele tunginud veemass Lituya lahe rannal Alaskal 1958). Nii kõrged tsunamid on haruldased. Enamasti jääb ka kõige laastavamate tsunamide kõrgus rannale paiskumise hetkel alla 10 meetri ning avamerel alla 1 meetri.

Pikkuse ja perioodi osas on tsunami pinnalainete seas auväärset teisel kohal. Selle üksikute komponentide pikkus on üldiselt saja kilomeetri ringis, seega palju väiksem kui tõusu-mõõnalainetel. Tsunamilainete periood on palju pikem tuulelainete perioodidest, kuid palju lühem tõusu-mõõnalainete perioodidest. Seega tsunami kui laine ükski eraldi võetud omadus ei ole erakordne. Tsunami ohtlikkus peitub selle erinevate omaduste kombinatsioonis.

Tsunamil on sageli mitmed solitoni omadused. Lihtsaim soliton vee pinnal kujutab endast üksikut veevalli (üksiklainet), mis liigub ilma oma suurust ja kuju muutmata ning mis teise samasugusega kohtudes võib küll ajutiselt deformeeruda, kuid pärast kokkusaamist jätkab oma teed endise kuju ja kiirusega. Klassikalises laines võngub veepind üles ja alla rahuliku veetaseme suhtes. Seevastu solitoni levimisel on vee pind kõikjal üle rahuliku veetaseme. Kui näiteks 3 m kõrguses klassikalises laines liigub veepind 1.5 m allapoole ja samavõrra ülespoole, siis sama kõrge soliton tõstab vee pinna kuni 3 meetri kõrgusele. Siiski, solitonilaadsed jooned vaid suurendavad tsunami ohtlikkust, kuid selle algpõhjustele on võimalik jälile jõuda juba klassikalise laineteooria raames.

Kiirus, kompaktsus ja kuju

Et tsunami pikkus ületab vähemalt paarkümmend korda vee sügavuse, siis tema liikumise kiirus on ligikaudu \sqrt{gh} – ookeani tüüpilise sügavuse

6 km puhul umbes 250 m/s ehk 800 km/t, mis on reaktiivlennuki kiirus. Kuna Sumatra saare põhjaosa oli 2004. aasta India ookeani tsunami epitsentrist vaid sajakonna kilomeetri kaugusel, jõudis tsunami sinna veerand tunniga. Sri Lankat ja India idaosa tabasid hiidlained poolteise kuni kahe tunni pärast. Tõhoku 2011. aasta maavärin toimus üsna Jaapani ranniku lähistel ning hiidlaine tabas randa juba paarikümne minutiga, mis tingis isegi Jaapani jaoks väga suure hukkunute arvu.

Kuigi tsunami liigub avamerel reaktiivlennuki kiirusega, on veesakeste kiirused ootamatult tagasihoidlikud. Veesakeste maksimaalne horisontaalkiirus pikas laines $a\sqrt{g/h}$ sõltub ainult laine amplituudist a ja vee sügavusest h . Seega on 200 km pikkuse ja 60 cm kõrguse tsunami poolt 6 km sügavuses meres tekitatud veesakeste kiirused vaid paar cm/s, seega palju kordi väiksemad tüüpilisest hoovuste kiirusest. Seetõttu on tsunami ja merepõhja vastasmõju praktiliselt olematu ning tsunami sumbumine põhjahõõrde tõttu tagasihoidlik.

Tavaliste merelainete kõrgus kahaneb tekkimiskohast eemaldumisel selle tõttu, et lainetus koosneb erineva pikkusega komponentidest, mis sügavas vees liiguvad erineva kiirusega. Seetõttu hajub tormilainete energia üha suuremale merealale ka siis, kui kõik lained liiguvad samas suunas. See mehhanism aga ei toimi tsunamilainete puhul, mis on nii pikad, et kõigi komponentide leviku kiirused on peaaegu võrdsed. Seetõttu püsib tsunami suhteliselt kompaktsena ka tekkekohast võrdlemisi kaugel.

Samuti jaotub tormilainete energia aja jooksul üha suuremale pinnale ning lainete kõrgused vähenevad „tänu” sellele, et lainete harjade pikkused aja jooksul kasvavad. See mehhanism toimib üldiselt ka tsunamide puhul. Erandiks oli siin 2004. aasta India ookeani tsunami, mille tekitanud maavärin pani liikuma ligikaudu 1200 kilomeetri pikkuse tsooni kahe tektoonilise laama vahel. Selline omadus oli suhteliselt vähetähtis Sumatrat laastanud laine tekkimisel, küll aga mängis oma osa kaugemates randades. Fundamentaalselt oluline asjaolu on siin, et teatav osa tekkinud lainest oli väga pika ja praktiliselt sirge harjaga. Ka sellistel lainetel on tendents jaotuda järjest laiemale merealale, kuid see mehhanism hakkab mõjutama sirge laineharja keskosa alles siis, kui kaugus tekkimiskohast ületab mitmeid kordi sirge osa pikkuse; seega paljude tuhandete kilomeetrite kaugusel. Sirge pikaharjalise laine fronti levimisel väheneb lainekõrgus väga aeglaselt.

Sadamalaine: nähtamatu avamerel, tappev rannikul

Ookeanil peaaegu märkamatu tsunami transformeerumine purustavaks veemassiks rannikupiirkonnas on tingitud samadest mehhanismidest, mis ohjavad lineaarsete lainete ümberkujunemist muutuva sügavusega vees. Laine levimisel sügavamalt merealalt madalamale periood ei muutu, kuid laine kõrgus, pikkus ning veeosakeste kiirused teisenevad kindlate reeglite järgi. Pikkade lainete puhul sõltub kõigi nimetatud suuruste käitumine mitte laine enda omadustest, vaid sügavuse muutmisest. Rehkendus on võrdlemisi lihtne; aluseks saab võtta tuntud füüsilise printsiibi – energia voo säilimise. Lainete kõrguse kasv nende madalasse vette jõudmisel on üldtuntud nähtus, mida põhjustab nii energia kui ka laineharjade leviku aeglustumine. Lainete liikumisel sügavuselt h_1 sügavusele h_2 muutub lainekõrgus $(h_1/h_2)^{1/4}$ korda. Teoreetiliselt kasvab 6,25 km sügavusest veest 10 m sügavusele jõudnud laine kõrgus 5 korda ehk 60 cm kõrgusest lainest saab 3 m kõrgune. Toodud hinnang kehtib muidugi vaid seni, kuni laine kõrgus on palju väiksem vee sügavusest.

Nii laine pikkus kui ka selle liikumise kiirus madalasse vette jõudmisel kahaneb võrdeliselt ruutjuurega sügavuste suhtest $(h_1/h_2)^{1/2}$. Paarisaja kilomeetri pikkune laine, mille periood on ligikaudu 13 minutit ning mis 6,25 km sügavuses vees liigub kiirusega umbes 250 m/s, on kümne meetri sügavuses vees 8 km pikkune ja levib kiirusega ligikaudu 10 m/s. See on juba pigem hästi treenitud jooksja kiirus.

Tsunami ohtlikkuse olulisim komponent seisneb lainelise liikumise organiseerivas mõjus, mis sünkroniseerib veeosakeste energia ühtseks ja purustavaks jõuks. Veeosakeste kiirus madalasse vette jõudvas tsunamis kasvab nii laine kõrguse suurenemise kui ka vee sügavuse vähenemise tõttu, kokku $(h_1/h_2)^{3/4}$ korda. Üldmainitud parameetritega tsunami tekitab seega 10 m sügavuses vees hoovuse kiirusega ligikaudu 3 m/s. Selle numbri taga on aga mitme kilomeetri laiune ja mitme meetri kõrgune veemass, mille rannale jõudev laine on pannud organiseeritult liikuma. Kuni päris madala veeni, vahel peaaegu kuni rannajooneni, hoiavad seda koos mehhanismid, mis ohjavad lainete liikumist merel ja mille mõjul on tsunami rannast eemal praktiliselt ohutu. Alles ranna vahetus läheduses käivitub tsunami põhiline surmatoov tegur – tohutu jõuga sisemaa poole tormav veemass.

Tsunami ja Eesti

Eesti vetes kauges minevikus esinenud tsunamidest annavad tunnistust geoloogilistes läbilõigetes leitud liivakihid. Ajaloolistel aegadel on tsunamid olnud Pärnut või Peterburi uputanud veetõusudega võrreldes üsna tagasihoidlikud. Väiksemat sorti tsunamisid on ette tulnud nii Riia lahel kui ka Läänemere avaosas ja Soome lahel. Lähiajaloo tugevaim, Osmussaare maavärin 1976. aastal tekitas väidetavalt kuni 1,5 m kõrgusele ulatunud tsunami. Maakoor on aga siinkandis võrdlemisi rahulik, Eesti rannasid laastav tsunami vähetõenäoline ning atmosfääritingimuste põhjustatud üleujutused märksa tõsisemad ka tulevikus. Külma sõja ajal arvestati võimalusega, et madalal Läänemere kohal lõhkevad aatomipommid võivad tekitada arvestatava tsunami. Teoreetiliselt võib tsunami tekkida ka Läänemeres paiknevate gaasijuhtmete lekkimisel mere pinnale jõudnud gaasi plahvatamisel. Ja muidugi tekitaks uus Neugrundi meteoriid vähemalt lähikonnas väga suuri purustusi.

Mitmete Eesti teadlaste huvid on seotud tsunamide dünaamikaga. Teatavas mõttes läbimurdeks neis uuringutes oli 2011. aastal avaldatud tõestus, et kiirilaevalained ja maalihete poolt põhjustatud tsunamid on dünaamiliselt ekvivalentsed (Didenkulova 2011). Selline sarnasus võimaldab kasutada Tallinna lahte loodusliku laboratooriumina nende hävitavate katastroofide uuringuteks ohututes ja hästi kontrollitavates tingimustes.

Loe lisaks:

- Didenkulova I. 2011. Laine põhised ohud rannavööndis. *Teadusmõte Eestis VIII*. Meri. Järved. Rannik. Eesti Teaduste Akadeemia, 103–115.
- Pretor-Pinney G. 2012. Lainevaatleja käsiraamat, *Imeline Teadus*, Tallinn, 310 lk.
- Soomere T. 2005a. Märatsev meri: Kagu-Aasia tsunami, *Horisont* 2/2005, 10–17.
- Soomere T. 2005b. Märatsev meri: Kui vesi tungib peale, *Horisont* 3/3005, 32–38.
- Soomere T. 2005c. Üleujutus – mere valuline reaktsioon tormidele, Universum valguses ja viimas, koostanud U. Veismann ja R. Veskimäe, OÜ Reves Grupp, Tallinn, 243–255.
- Soomere T. 2011. Tõhuku maavärin ja tsunami. *Horisont*, 3/2011, 28–30.

Tarmo Soomere (soomere@cs.ioc.ee) Tallinn Tehnikaülikool, Küberneetika Instituut, Akadeemia tee 21, 12618 Tallinn

Mis on tsunamisetted ja kuidas on need seotud Eestiga?

Siim Sepp

Tsunamisettete uurimine on suhteliselt uus ja vähetuntud sedimentoloogia haru, kuigi esimesed uuringud ulatuvad siiski pisut enam kui poole sajandi tagusesse aega.

1960. aastal Tšiili ranniku lähedal toimunud Valdivia maavärin on siiani kõige võimsam mõõdetud maavärin (magnituudiga 9,5 (M_w)) (Wen jt. 2011). Maavärina tekitatud tsunamilained ületasid Vaikse ookeani ning tekitasid suuri purustusi isegi Jaapanis, tuhandete kilomeetrite kaugusel epitsentrist. Seda sündmust võibki lugeda tsunamisettete ehk tsunamiitide uurimise alguseks (Shiki ja Tachibana 2008). Märkimisväärselt andis tsunamisettete uuringutele hoogu juurde 2004. aasta Sumatra-Andamani maavärin magnituudiga 9,2, mille tagajärjel kaotas elu üle 200 000 inimese. Tsunamisettete uurimisele panid aluse jaapanlased ning valdav osa sellesuunalisest uurimistööst on jaapanlaste tehtud ka tänasel päeval, mida ilmekalt näitlikustavad ka käesoleva artikli viited. Jaapanlaste suur huvi tsunamide ja tsunamisettete vastu on kergesti mõistetav, sest tugevad subduktsioonivöönditega seotud maavärinad on Jaapanis sagedased ning just selliste maavärinatega on seotud ka tsunamide tekkimine.

Tsunamisettete uurimise muudab keerukaks asjaolu, et pole olemas ühtegi kindlat tunnust või tunnuste komplekti, mille abil neid ühemõtteliselt teistsuguse tekkeviisiga settetest eristada (Sugawara jt. 2008). Tsunami võib kanda väga eriomelise materjali, alates saviosakestest kuni suurte rahnudeni (Shiki jt. 2008b). Näiteks tsunamilainete poolt settitatud liivakihti on sageli väga raske vaid sedimentoloogiliste tunnuste abil tsunamitekkeliseks pidada.

Siiani on valdavalt uuritud kaasaegseid tsunamisetteid, mille tekkeviis on väljaspool kahtlust. Nende abil on üritatud leida tunnuseid, mis aitaksid identifitseerida ka märksa kaugemas geoloogilises minevikus toimunud tsunamide tekitatud setteid, kuid siiani on edu olnud võrdlemisi tagasihoidlik. Selleks, et settekompleksi teke läbi tsunamilainete leiaks kinnitust, peab ta olema hästi säilinud ning uurimiseks ligipääsetav paljudest kohtadest, et oleks võimalik jälgida settekompleksi sees toimuvaid ruumilisi muutusi. Nii näiteks on leitud, et tsunamide tekitatud setteprofiilis esineb rütmiline gradatsiooniline kihilisus, kihtide basaalsed osad on jämedateralisemad ning kihtide rannikupoossed osad on peeneteralisemad. Tsunamisettel on palju tunnuseid, mis võivad esineda, aga ei pruugi. Näiteks merepõhjast lahtirebitud kivitükid, merekarpide fragmendid ning ebatavaliselt kõrge raskete mineraalide kontsentratsioon (Shiki ja Tachibana 2008).

Tsunami poolt maha jäetud setete tekkeviisi mõistmiseks on vaja omada ettekujutust tsunamilainetest endist. Tsunamilained erinevad tavalistest merelainetest eelkõige väga pika lainepikkuse (vahemaa laineharjast laineharjani) poolest. Kui avatud rannikul on järjestikuste tormilainete vaheline periood maksimaalselt 10-20 sekundit, siis tsunamilaine lainepikkus võib ulatuda saja kilomeetrini ja periood kümnest minutist ühe tunnini (Fujiwara 2008).

Just seetõttu iseloomustabki tsunamisetteid gradatsiooniline kihilisus. Lainefront omab palju energiat ning kannab seega peenema fraktsiooni endaga kaasa, setitades välja vaid jämedaimad purdosakesed. Kahe laine vahel on aga piisavalt aega, et meri saaks rahuneda ning isegi saviosakesed jõuaksid settima hakata. Mudaste vahekihtide esinemine tsunamiidi profiilis on üks tunnuseid nende määramisel (Shiki jt. 2008b).

Tsunamisetted muutuvad tavaliselt maismaale lähemale liikudes üha peenemaks kuni lõpuks kiiduvad välja. Peenenemise põhjuseks on asjaolu, et lainete energia ehk setete kandmise võime väheneb maismaa suunas liikudes. Maismaale tunginud lainete energia üha väheneb ning ühel hetkel hakkab sügavale sisemaale tunginud vesi mere poole tagasi valguma, kandes endaga kaasa rohkelt orgaanilist ainet ning tänapäeval ka mitmesugust inimtekkelist materjali. Seega on tsunamisettele iseloomulikud tunnused, mis viitavad voolusuuna rütmilistele muutustele (Fujiwara 2008).

Tsunamilained kannavad vaid sellist materjali, mis on neile kättesaadav. Seega ei ole teatud tunnuste mitteesinemine veel tsunamihüpoteesi tagasilükkamiseks piisavalt tugevaks argumendiks. Tõsi on ka vastupidine – tsunamilainele iseloomuliku tunnuse esinemine tsunami esinemist veel ei tõesta. Seega on olukord keerukas ning abiks tuleb iga väiksemgi tunnus, mis võiks settekihi tekkeviisi määramisel abiks olla. Üheks selliseks tunnuseks on setete mineraloogiline koostis. Kui tsunamisetted sisaldavad materjali, milles leidub märkimisväärses koguses raskeid mineraale (mineraalid tihedusega üle $2,9 \text{ g/cm}^3$), siis võib tsunami neid efektiivselt kontsentreerida, moodustades rasketest mineraalidest rikastunud kihte. Selle näiteks on 1992. aastal Nicaragua rannikut tabanud tsunami, mis jättis endast maha rasketest mineraalidest rikastunud kihtidega setteprofiili (Higman ja Bourgeois 2008). Nicaragua on selliste setete moodustumiseks hea asukohaga, sest rannaliiv sisaldab piirkonna vulkaanilise aktiivsuse tõttu rohkelt raskeid mineraale (magnetiit, ilmeniit, pürokseen, oliviin, jne).

Nicaragua näite najal võib öelda ka seda, et rasked mineraalid esinevad eelistatult koos põhjast lahtirebitud kivide (*rip-up clast*) ning jämedateralisemate setteosakestega (Fujiwara ja Kamataki 2008), mis on ka loogiline, sest suurema tihedusega mineraalide settimiskiirus on võrreldav

mõõtmeltest märksa suuremate, kuid väiksema tihedusega tavaliste liivamineraalide (kvarts, päevakivi) settimiskiirusega.

Kas senikirjeldatud eksootilistel setetel on mingi seos ka Eestiga? Selgub, et võib-olla isegi on. 2012. aastal Tartu Ülikoolis kaitstud magistritöös (Sepp 2012) väitis käesoleva artikli autor, et Osmussaare lõunarannikult leitud konglomeraatsete veeriste näol võib tegu olla Ordoviitsiumis (466 Ma) toimunud tsunami tekitatud tsunamiidi basaalsest kihist pärit fragmentidega.

Millel selline väide põhineb? Peamiselt on asi väga paljude eespool kirjeldatud tsunamisetetele iseloomulike tunnuste koosinemises, mille tekkele on väga raske leida alternatiivset ning sarnase seletusjõuga hüpoteesi.

Osmussaare konglomeraadid sisaldavad fosfaatseid konkretsioone ning fosfaatsete brahhiopoodide kodade fragmente, mis väga tõenäoliselt pärinevad Kallavere kihistust. Võimalik, et tegemist on merepõhjast lahtirebitud kivi- ja fossiilitükkidega, kuid ei praegu ega ka Ordoviitsiumis ei olnud tänase Osmussaare ümbruses Kallavere kihistu merepõhjas paljandunud. On selge, et see materjal, mis praegu lebab Osmussaare rannal, on pärit kaugemalt, tõenäoliselt tänase Hiiumaa lähistelt, kus Kallavere kihistu ja Pakri kihistu (kust konglomeraatsed veerised ise suure tõenäosusega pärinevad) vahetult üksteisega kokku puutuvad. Konglomeraatide teekonda Hiiumaalt Osmussaarele on aga võrdlemisi keerukas seletada näiteks mandrijää liikumisega.

Pakri kihistuga tuleb Osmussaare konglomeraate seostada seetõttu, et piirkonnas puuduvad alternatiivsed settekehad, mis sarnase koostisega kivimite allikaks võiksid olla. Pakri kihistu ligipääsetavad paljandid koosnevad valdavalt peenemast materjalist (Põldsaar 2009), mistõttu võib eeldada, et antud konglomeraatide lähteala, kust mandrijää nad Osmussaare randa transportis, asub kusagil meres. Osmussaare konglomeraatide tsement on dolomiitne, mis aga kuni viimase ajani valmistas suurt peavalu nende seostamisel seniste teadmiste kohaselt kaltsiitse tsemendiga Pakri kihistu lubiliivakividega. Oma magistritöö käigus läbiviidud uuringute käigus leidsin, et see seni faktina aktsepteerimist leidnud teadmine ei pea paika. Vähemalt osaliselt on Pakri kihistu dolomiidistunud (Hiiumaal), mis lisab oluliselt kaalu hüpoteesile, et Osmussaare dolomiitse tsemendiga veerised on tõepoolest pärit Pakri kihistust.

Osmussaare veeristele on iseloomulik erakordselt kõrge raskete mineraalide sisaldus. Kõige olulisemaks raskeks mineraaliks on rauarikas granaat almandiin, mis pärineb Eesti aluskorra kristalsetest kivimitest. Seega pidi hüpoteetilise tsunami lähtealal olema ka aluskorra paljand. Konglomeraatides sisalduvad mineraalifragmentid (eelkõige päevakivi mikroliin, mis samuti pärineb Eesti aluskorrast (tõestatud SEM-uuringu

abil)) on väga nurgelised, mis välistab võimaluse, et tegemist on kulunud rannaliivaga. Sellest lähtuvalt järeldasin, et jämedateraliste, halvasti sorteeritud, rohkelt nurgelisi klaste, fosfaatseid veeriseid, fossiilide fragmente ja raskeid mineraale sisaldavad konglomeraadid võivad esindada kunagisest tsunamilainest väljasettinud jämedateralist materjali.

Kui Osmussaare konglomeraadid on tsunamitekkelised ja pärinevad Pakri kihistust, siis võiks ju eeldada, et ka Pakri kihistu ise on välja settinud tsunamilainetest? Jah, selle hüpoteesi järgi peaks tööpooldest vähemalt osa, kui mitte terve Pakri kihistu olema tsunamitekkeline ning tõenäoliselt just siin on võti, mille abil on võimalik tõestada või ümber lükata Osmussaare konglomeraatide tsunamiga seotud tekkehüpoteesi, sest Pakri kihistu näol on tegemist ulatusliku settekihiga (tõsi küll, mitte just väga hästi paljandunud), mitte vaid üksikute veeristega rannas. Pakri kihistul on tsunamisetele iseloomulikke tunnuseid nagu rütmiline kihilisus ning mudakate vahekihtide esinemine jämedamas settematerjalis, kuid nende detailide täpsem lahtimõtestamine on edasiste uuringute teema.

Kasutatud kirjandus

- Fujiwara, O. ja Kamataki, T. 2008. Tsunami Depositional Processes Reflecting the Waveform in a Small Bay: Interpretation from the Grain-Size Distribution and Sedimentary Structures, kogumikus: Shiki, T., Tsuji, Y., Yamazaki, T. ja Minoura, K. (toim.) *Tsunamiites – Features and Implications*, Elsevier Science, 133-152.
- Fujiwara, O., 2008., Bedforms and Sedimentary Structures Characterizing Tsunami Deposits, kogumikus: Shiki, T., Tsuji, Y., Yamazaki, T. ja Minoura, K., (toim.), *Tsunamiites – Features and Implications*, Elsevier Science, 51-62.
- Higman, B. ja Bourgeois, J. 2008. Deposits of the 1992 Nicaragua Tsunami, kogumikus: Shiki, T., Ysuj, T., Yamazaki, T. ja Minoura, K. (toim.) *Tsunamiites – Features and Implications*, Elsevier Science, 81-103.
- Põldsaar, K. 2009. Pakri kihistu ehitus ja teke: Tartu, käsikiri TÜ geoloogia osakonna raamatukogus, Tartu Ülikool.
- Sepp, S. 2012. Origin of the Conglomerate from the Southern Coast of Osmussaar, Tartu, http://www.sandatlas.org/Mag_Siim_Sepp.pdf.
- Shiki, T. ja Tachibana, T. 2008. Sedimentology of Tsunamiites Reflecting Chaotic Events in the Geological Record - Significance and Problems, kogumikus: Shiki, T., Ysuj, T., Yamazaki, T. ja Minoura, K. (toim.) *Tsunamiites - Features and Implications*, Elsevier Science, 341-357.
- Shiki, T., Tachibana, T., Fujiwara, O., Goto, K., Nanayama, F. ja Yamazaki, T. 2008b. Characteristic Features of Tsunamiites, kogumikus: Shiki, T., Ysuj, T., Yamazaki, T. ja Minoura, K. (toim.) *Tsunamiites - Features and Implications*, Elsevier Science, 319-340.
- Sugawara, D., Minoura, K. ja Inamura, F. 2008. Tsunamis and Tsunami Sedimentology, kogumikus: Shiki, T., Ysuj, T., Yamazaki, T. ja Minoura, K. (toim.) *Tsunamiites - Features and Implications*, Elsevier Science, 9-49.

Wen, R., Ren, Y., Li, X. ja Pan, R. 2011. Comparison of two great Chile tsunamis in 1960 and 2010 using numerical simulation. *Earthquake Science*, 24, 475-483.

Siim Sepp (siim.sepp@gmail.com) - Sandatlas (<http://www.sandatlas.org/>)

Holotseenis toimunud intensiivne tuuletegevus Iisaku uuringualal

Edyta Kalińska ja Māris Nartišs

Luided moodustuvad aladel, kus tingimused eoolsete (tuuletekkeliste) setete kuhjumiseks on soodsad – leidub küllaldases koguses liiva ja tuuled on piisavalt tugevad selleks, et liiv liikuma panna (Raukas 1999). Nii Eesti rannikualade kui ka sisemaa luidestikes esineb erinevaid tuuletekkelisi setteid ja pinnavorme. Sellisteks on näiteks katteliivaga kaetud künkad (coversands hillocks), väljapuhumisinõod (blowouts) ja tuulekulutusuurded (deflation hollows) (Raukas 2011). Iisaku uuringuala asub Kirde-Eestis (joonis 1) ja kuulub nn. „Euroopa liiva- ja lössivööndisse” (Zeeberg 1998).



Joonis 1. Iisaku uuringuala asukoht Euroopa liivade ja lösside vööndis (Zeeberg 1998 järgi). LGM (Last Glaciation Maximum) markerib viimase jäätumise piiri

Iisaku piirkonna katteliiva lasundid moodustavad kuni 9,5 m kõrgusi paraboolluited, lasudes otse jääajaegse Peipsi jääjärvelistel setetel, mille vanus on korreleeritav Pandivere otsamoreeni vanusega. (Hang 2003; Kalm jt. 2011). Luidete teke algas pärast seda, kui lahtised pinnasetted muutusid tuulele avatuks ja ümbertransportimisele kättesaadavaks (Raukas 1999). Dateeringud (termoluminescents- ja optiliselt stimuleeritud luminescentsmeetoditel) on tehtud kolmest Iisaku ala uuringuprofiilist ning näitavad setete Holotseeni-ealisust (Raukas ja Hütt 1998; Raukas 1999, 2011). Iisakust ida pool olevate luidete liiva vanuse dateerimisel saadi viis üksteisega kokkusobivat tulemust: esimeses uuritud profiilis dateeriti 0,4 m

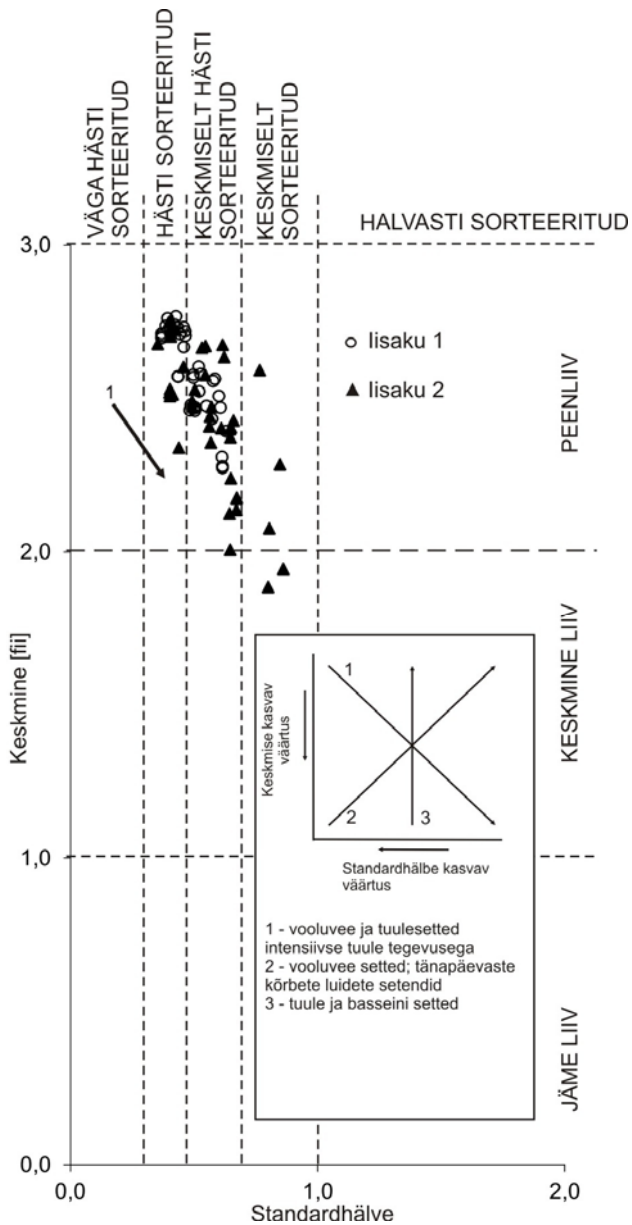
sügavusel luidete vanuseks umbes 4000 aastat ja 2,5 m sügavusel 5900 aastat. Teises uuritud profiilis 2,4 m sügavusel 4700 aastat, 3,7 m sügavusel 5400 aastat ja 4,8 m sügavusel 7100 aastat. Iisakust läände jääva luiteliiva vanusemäärangud on järgmised: 0,6 m sügavusel 5200 aastat ja 3,5 m sügavusel 6900 aastat (Raukas, 1999). Seega leidis luiteliivade kuhjumine aset Holotseenis, Atlantikumi Kliimaoptimumil ja Subboreaalsel kliimaperioodil. Võrreldes lõunapoolsemate aladega (näiteks Poola või Holland), kus silmapaistvamad eoolsete setete kuhjumised toimusid Hilis-Pleniglatsiaalis, Vara-Drüüases ja Hilis-Drüüases, kuhjusid Eesti katteliivade lasundid suhteliselt lühikese aja jooksul.

Metoodika

Katteliiva tekstuuride olemuse interpreteerimiseks uuriti liiva proove (kokku 79) kahes uuringukohas (Iisaku 1 ja 2). Selleks, et hinnata kliimaatiliste protsesside olulisust setete akumulatsioonil, kasutati järgmisi tunnuseid: suhe Folki ja Wardi (1957) granulomeetria indeksite vahel ja nendevahelised seosed, kumulatiivsete kõverate kuju tõenäosus-skaalal (Visher 1969), liiva fraktsiooni (0,5-0,8 mm) jäävate kvartsiterade ümardatust ja matistumist Cailleux' (1942) järgi ning Mycielska-Dowgiało ja Woronko (1998) modifikatsioonidega ja kergeste mineraalide (kvarts, päevakivid ja eriti liiva fraktsiooni (0,5-0,8 mm) jäävad vilgud) sisaldust protsentides.

Tulemused ja arutelu

Iisaku luitesetted on esindatud peeneteralistele, hästi, keskmiselt hästi ja harvem keskmiselt sorteeritud liivadega. Esineb kergelt negatiivne kõrvalekalle, mis viitab setete rikastumisele jämedama fraktsiooniga. Standardhälbe (σ_1) ja keskmine terasuuruse (M_z) väärtuste suhe näitab (joonis 2) esimest koordinaatide süsteemi (Mycielska-Dowgiało ja Ludwikowska-Kędzia 2011) koos keskmise terasuuruse suurenemise ja väheneva sorteeritusega (σ_1).



Joonis 2. Iisaku tuulesetete standardhälbe ja keskmise (fii) suhe.

Selline süsteem on iseloomulik settekeskkondadele, milles transpordenergia on suure muutlikkusega ja mis on eoolsetes setetes harva leitav (Mycielska-Dowgiało ja Ludwikowska-Kędzia 2011). See on iseloomulik märkimisväärse tuuledünaamikaga piirkondadele (Sarre ja Chancey 1990; Besler 1996; Wang jt. 2003).

Kumulatiivsed kõverad näitavad hästisorteeritud (järsult kaldu) saltatsioonipopulatsiooni esinemist, millesse on transpordi käigus segunenud ka jämedamat liiva. Eestis on liivad peamiselt matid, kuid mittekulutatud teradega, (NU/M), mis mõnes uuritud profiilis on valdavad (ca 27 - 61%). Iisaku uuringukohtadele on iseloomulik suurim "tüüptera" varieeruvus (EM/EM, EM ja NU/M terade segu) ja suhteliselt kõrge päevakivide (mineraalid, mis on mehaanilistele kulutustele halvasti vastupidavad) sisaldus (kuni 30% mõnes profiilide osas).

Need tunnused viitavad tuulesettelsele keskkonnale - matistunud terade suur hulk viitab nende tekkele tugevate tuulte tingimustes. Samaaegne mitteümarunud terade domineerimine ja märkimisväärne päevakivide sisaldus liivafraktsioonis viitavad nende lühikesele transporditeekonnale ja samal ajal intensiivsele kuhjumisele. Lühidistsiline tuuletransport, mida on vaadeldud Lääne- ja Põhja-Euroopas (Seppälä 1972; Schwan 1988; Käyhko jt. 1999), oli tõenäoliselt "vastutav" lähtesetete kujunemisel tuuletekkelisteks katteliivadeks (Mycielska-Dowgiało 1993). Hoolimata eoolste protsesside väga lühikesest kestusest, moodustusid Iisakus selgelt eristatavad luited, suhtelise kõrgusega kuni 9,5 m. Niisiis, ainuüksi luudete suurus ei ole piisav eoolsete protsesside kestuse määramisel.

Tõlkis Kadri Sohar

Kasutatud kirjandus

Besler, H. 1996. Granulometrische Sandtypen im Wüstenvergleich (Häufigkeitsverteilungen als Informationsträger). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 40, 23–46.

Folk, R.L. ja Ward, W. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sed. Petrol.*, 27, 3-26.

Hang, T. 2003. A local clay-varved chronology and proglacial sedimentary environment in glacial lake Peipsi, eastern Estonia. *Boreas*, 32, 416-426.

Kalm, V., Raukas, A., Rattas, M. ja Lasberg, K. 2011. Pleistocene glaciations in Estonia. rmt-s J. Ehlers, P.L. Gibbard ja P.D. Hughes, (toim.): *Developments in Quaternary Science*, 15, 95-104.

Käyhko, J. A., Worsley, P., Pye, K. ja Clarke, M.L. 1999. A revised chronology for aeolian activity in subarctic Fennoscandia during the Holocene. *Holocene*, 9(2), 195-205.

Mycielska-Dowgiało, E. 1993. Estimates of Late Glacial and Holocene aeolian activity in Belgium, Poland and Sweden. *Boreas*, 22, 165-170.

Mycielska-Dowgiało, E. ja Ludwikowska-Kędzia, M. 2011. Alternative interpretations of grain-size data from Quaternary deposits. *Geologos*, 17(4), 189-203.

Raukas, A. 1999. Aeolian activity. rmt-s A. Miidel and A. Raukas (toim.), *Lake Peipsi. Geology*. Sulemees Publishers, Tallinn, 120-124.

Raukas, A. 2011. Evolution of aeolian landscapes in north-eastern Estonia under environmental changes. *Geographia Polonica*, 84 (1), 117-126.

Raukas, A. ja Hütt, G. 1988. On the luminescence dating of aeolian deposits in Estonia. *Baltica*, 11, 17-24.

Sarre, R.D. ja Chancey, C.C. 1990. Size segregation during aeolian saltation and sand dunes. *Sedimentology* 37, 357–365.

Schwan, J. 1988. The structure and genesis of Weichselian to early Holocene aeolian sand sheets in Western Europe. *Sedim. Geology*, 55, 197-232.

Seppälä, M. 1972. Location, morphology and orientation of inland dunes in northern Sweden. *Geogr. Ann.*, 54A, 85-104.

Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., Qu, J. ja Zhao A. 2003. Grain size characteristics of dune sands in the central Taklimakan Sand Sea. *Sedimentary Geology*, 161, 1–14

Visher, G.S. 1969. Grain size distribution and depositional processes. *Journal of Sed. Petrol.*, 39, 1074-1106.

Zeeberg, J.J. 1998. The European sand belt in eastern Europe and comparison of Late Glacial dune orientation with GCM simulation results. *Boreas*, 27, 127-139.

Edyta Kalińska (edyta.kalinska@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14a, Tartu
Māris Nartišs - Lāti Ülikool, Geograafia ja Maateaduste Teaduskond, Alberta 10, LV-1010, Riia, Lāti

Kas Universum on sõbralik paik?

Laurits Leedjärv

Planeet Maa on lahutamatult seotud Päikesega. Meie asukoht parajal kaugusel ühest kollakast tähest kindlustab Maal sellised füüsikalised tingimused, mis muuhulgas lubavad vedela vee eksistentsi. Viimane omakorda on hädavajalik elu – vähemalt sellise, mida Maal tunneme – tekkeks ja kestmiseks. Maa atmosfäär ja magnetväli kaitsevad meid Päikeselt tuleva, elule ohtliku kiirguse eest. Kui arvame end toime tulevat ka aeg-ajalt Maaga pörkivate asteroididega (ja komeedituumadega?), siis võib kergesti tekkida mulje, et elame siin Päikesesüsteemis üsna kenasti kaitstult ja muu Universum meile eriti korda ei lähe.

Tegelikult oleme siiski hiiglasliku Universumiga, mis koosneb peamiselt tumedast ainest ja tumedast energiast, hoopis tihedamalt seotud. Kasvõi juba selles mõttes, et planeedid ja nende asukad koosnevad enamasti hoopis teistest ja raskematest keemilistest elementidest kui vesinik ja heelium, mis Universumis üldiselt domineerivad. Kõik need raskemad elemendid on sünteesitud tähtedes. Päike ja tema planeedid tekkisid umbes 9 miljardit aastat pärast Suurt Pauku. Selleks ajaks oli sünteesitud piisavalt vajalikke keemilisi elemente, varem polekski taoline planeedisüsteem tekkida saanud. Kõik need 9 miljardit aastat ja sellele järgnenud ca 4,6 miljardit aastat on Universum paisunud – järelikult on omamoodi paratamatus, et elame väga vanas ja suures Universumis. Päikesesüsteem ei saakski eksisteerida isoleeritult.

Päike on tavaline täht ja teeb läbi evolutsioonitee, mis on määratud eelkõige tema massiga. Hiljemalt 4–5 miljardi aasta pärast on Päikesest saanud punane hiidtäht, mille välised kihid ulatuvad Maa orbiidini. Meie olemine võib talumatult kuumaks minna juba varemgi, ca 1,5 miljardi aasta pärast. See on asjade loomulik käik looduses. Vaevalt leidub Universumis kohta, kus elu toetavad tingimused igavesti kestaksid.

Enam-vähem samal ajal, kui Päike teeb oma viimseid hingetõmbeid punase hiiuna, ähvardab meid veel üks oht. Meie kodune Linnutee galaktika võib kokku põrgata oma naabriga, Andromeeda galaktikaga. Galaktikate kokkupõrked ei tähenda reeglina mingit erilist „suurt pauku”. Tähtedevahelised kaugused on ikkagi nii suured, et need omavahel tavaliselt ei põrku. Sellegipoolest võivad muutuda paljude tähtede orbiidid ja asukohad. Mõnede arvutuste järgi on ca 50% tõenäosus, et Päikesesüsteem heidetakse tekkiva ühisgalaktika tuumast ca 3 korda kaugemale kui ta on praegu Linnutee tuumast. Iseenesest ei pruugiks see

maisele elule katastroofiline ollagi, kui igasugune elu Maal ei oleks juba enne paisuva Päikese kuumuses hävinud.

Ülalkirjeldatud protsessid on pikaajalised ja nende vastu saab ehk mingil moel valmistudagi, kuid lisaks toimuvad Universumis ka kiired sündmused, mida pole võimalik täpselt ennustada. Maise elu seisukohalt on ilmselt kõige ohtlikumad supernoova plahvatused. Elu täielikku väljasuremist või globaalset muutumist põhjustaks supernoova eri hinnangutel 3–30 parseki (1 pc = 3,26 valgusaastat) kaugusel. Teadaolevalt pole nii lähedal ühtegi tähte, mis võiks (lähitulevikus) plahvatada supernoovana. Siiski ei saa välistada ka kaugemate supernoovade märkimisväärset mõju maisele elule. Viimase poole sajandi jooksul aktuaalseks saanud gammakiirguse sähvatused (GRB) on ilmselt eriti võimsad supernoova plahvatused (vahel nimetatakse neid ka hüpernoovadeks). Seni on neid avastatud ainult teistes kaugetes galaktikates. GRB toimumine Linnutees on siiski äärmiselt vähetõenäoline. Samas võiks üks selline sündmus hävitada elu suures osas Linnuteest (või mistahes muust galaktikast, kui seal juhtub elu olema).

Supernoova plahvatuse järel saab tähest neutrontäht või must auk. Viimane on üsna süütu „tegelane”, kuid hästi tihedalt kokku pakitud neutrontäht (1 cm³ neutrontähe ainet kaalub 10⁸–10⁹ tonni) võib, kui tal juhtub olema ka erakordselt tugev magnetväli (10¹⁴–10¹⁵ gaussi), teoreetiliselt samuti olla elule väga ohtlik. Selliste eksootiliste objektide (magnetaride) sattumine Päikesesüsteemi lähedusse on siiski väga vähe tõenäoline.

Eeltoodust võib järeldada, et ootamatused Universumist võivad meid tabada nii mehaanilise löögina kui ohtliku kiirgusena. Kas siis Universum on sõbralik paik või mitte? Loodusseadused sellist mõistet nagu „sõbralikkus“ ei tunnista. Need toimivad omasoodu ja kui Universumis leidub olendeid, kes arvavad end neid seadusi mõistvat, peavad nad oma tegemisi ka loodusseaduste järgi kohandama. Inimkonna peamine mure on ilmselt maise ökosüsteemi säilitamine elukõlblikuna, kuid silmas tasub pidada ka meie elukeskkonda laiemas mõttes – Universumit..

Laurits Leedjärv (leed@aai.ee) - Tartu Observatoorium, 61602 Tõravere, Tartu.

Katastroofid ulmekirjanduses

Kristjan Sander

Katastroofimotiiv on ulmekirjanduses levinud, kuigi mitte nii levinud, nagu Hollywoodi filmitoodangu põhjal oletada võiks. Filmides on katastroof või maailmalõpp keskne sündmus, mida kujutatakse võimalikult detailselt ja suurejooneliselt; kirjanduses aga sageli vaid viis, kuidas autor tegevuskoha likvideerib (nagu Jules Verne „Saladuslikus saares“ (1875)) või siis, vastupidi, moodustab (nagu ühes esimeses nii-öelda postapokalüptilises romaanis, Richard Jefferies’e „After London’is“ (1885)). „After London“ toimub fantastilises maailmas, milles Inglismaa elanikkond on katastroofiliselt vähenenud, suurlinnad hävinud, geograafia muutunud ning sisse seatud feodaalne pärisorjus. Katastroof ise on toimunud kauges minevikus ja selle kujutamise vastu autor huvi ei tunne.

Juhul, kui katastroof on teose keskne teema, püüab autor tihti kirjeldada kaasaegseid inimesi või tegevuskohti ebatavalises olukorras. See pole üksnes ulmekirjandusele omane; sama toimub ka **robinsonaadides** (näiteks juba mainitud „Saladuslikus saares“ või sageli ka ulmekirjandusega seostatavates William Goldingu „Kärbeste jumalas“ (1954)). Ka katastroofijutustuste hulgas leidub realistlikke teoseid, kuid väga tihti kujutatakse siiski mingit seninägematu ulatusega kataklüsmi või vapustavat muutust. Selle asetamine lugejale tuttavasse ümbrusse muudab toimuva tõepärasemaks, paneb lugeja kaasa mõtlema ning lisab pinget.

Kirjandusteoorias nimetatakse ulmekirjanduse olemuslikuks osaks **kognitiivset võõristust**, mida loovad lugejale tavapärasest maailmast hälbivad, kuid siiski võimalikud nähtused, **noovumid**¹⁵ (milleks antud juhul on katastroof). Selleks, et hõlbustada lugeja sisseelamist fantastilisse sündmustikku ja talle nii-öelda naha alla pugeda, kasutatakse tihti **kontranoovumit** – talle hoopiski kodusena tunduvat elementi¹⁶. Nii suurendab katastroofijutustuse mõju see, kui kirjeldatakse lugejale igapäevaelus, tuttavas ümbruses toimuvat suurõnnetust. Realistlikus ümbruses toimuva katastroofijutustuse autor peab aga olema tugev nii realisti kui ka fantastina: kuna põhirõhk on igapäevase olme kokkukukkumisel, on selle realistlik kujutamine tegelikult **tihtipeale isegi**

¹⁵ **Org, A.** Ulmekirjandus: žanri dimensioonid (magistritöö Tartu Ülikoolis, 2001), 29–32.

¹⁶ **Sander, K.** Ulmekirjandus ja võimalikud maailmad (Algernon aprill 2010, http://algernon.edu.ee:8080/docs/ROOT/Algernon40/Kriku_veerg/docShowArt?arti d=1922&comment=1&commentlist=1&showArch=yes&type=news_item&archYear=0).

olulisem kui keskmises peavoolu teoses. Vead lugejale hästituntu kujutamisel või tegelaste ebaloogiline käitumine hädaolukorras paistavad kohe silma ja kahandavad lugemisrõõmu.

Teine on lugu siis, kui autor tahab katastroofi kujutamiseiga öelda midagi muud, tehes sellest oma maailmavaatelse sõnumi komponendi. Sellisel juhul on tavaliselt näha, et see, mida autor oma teosega öelda tahab, on talle olulisem kui toimuva tööepära.

Järgnevalt mõned näited. **Herbert George Wellsi „Maailmade sõjas“ (1898)** kujutatakse realistlike kirjeldustega ja tolle ajastu teaduslik-tehnilise maailmapildiga küllaltki ranges kooskõlas marsslaste rünnakut kaasaegsele Inglismaale ja Londonile – paikadele, mis pidid lugejatele olema hästi tuntud. Sellele eelnes nn. invasioonijutustuse žanri uus tulek¹⁷ – 1871. aastal ilmunud George Tomkyns Chesney jutus „The Battle of Dorking“ ründavad Inglismaad kõiki moodsa tehnika võimalusi kasutavad sakslased ja sellised lood said kiiresti populaarseks. Wells niisiis uuendas juba sissetöötatud žanri, tuues sisse marsslased. Pärast I maailmasõda võtsidki tulnukad valdavas osas teostes lõplikult sissetungijate rolli üle, kuigi kuhugi ei kadunud ka maise tulevikusõja kujutamine (20. sajandi lõpu märkimisväärsim näide on autori meelest Tom Clancy „Red Storm Rising“ (1986)). Astrofüüsik **Gregory Benfordi romaanis „Matter’s End“ (1989)** kirjeldatakse lähituleviku maailma, milles vastutustundetute geenimanipulatsioonide, keskkonnasaastamise ja muude pahategudega on India ökoloogia „tuksi keeratud“. Samas viiakse kuskil sama maa ammendatud kullakaevandustesse ehitatud laboratooriumis läbi katse, millega õnnestub prootoni eluiga kindlaks teha. Seda tuleb kontrollima lääne teadlane, kes leiab, et kõik on õige ja saadab sellekohase teate raadio teel laiali. Järgneb raskestijälgitav maailmalõpukirjeldus. Maailmalõpp on (vist?) seletatav sellega, et iidne Jumal, kelle unenägudes meile tuntud maailm eksisteerib, avastuse laiemalt teatavaks tegemise peale üles ärkab. Ei ole põhjust kahelda, et füüsikalise avastuse tegemist on autor kirjeldanud enam-vähem pädevalt, kuid sellel, mis järgneb, puudub teadusliku maailmapildiga igasugune seos ning ilmselgelt on teose eesmärgiks autori maailmavaate propageerimine. Nende kahe vahele võiks asetada samuti tuntud astrofüüsiku ja ulmekirjaniku **Fred Hoyle’i romaani „The Inferno“ (1973)**. Romaani esimeses pooles kujutatakse realistlikult äsjaplahvatanud supernoova avastamist ja seda, kuidas kõigile aegamööda kohale jõuab, et see sündmus lõpetab väga tõenäoliselt elu Maal. Otsustaval hetkel aga, kui peategelane ja tema lähedased keldris hinge vaaguvad, katab Maa vari, millele ei ole ühtki muud seletust, kui et Jumal on planeedi ette

¹⁷ **Clarke, I. F.** *Voices Prophesying War: Future Wars 1763-3749* (New York: Oxford University Press 1992, 2., täiendatud trükk) alustab alamžanri lugu 18. sajandi teisest poolest, kui levis narratiiv õhupallidel meresid ületavatest armeedest.

oma kaitsva käe sirutanud. Romaani teises pooles toimub kokkuvarisenud tsivilisatsiooni ülesehitamine; selle peateema on aga hoopis karge ja ehe separatism. London ja kogu ülejäänud Inglismaa on kaotanud suurema osa rahvastikust, järgneb Šotimaa esiletõus ning romaan lõppeb kirjeldusega, kuidas mägilased taas oma vabadust kaitsevad; sedakorda õnnestunumalt kui 18. sajandil.

Katastroofi võimalikult usutavale kujutamisele keskendunud teoste puhul võib küsida, milliseid katastroofe ulmekirjanduses rohkem kasutatakse. Olulisemad on sõda, tulnukate invasioon, pandeemia, astronoomilised katastroofid (juba mainitud supernoova jt.), kõikvõimalikud keskkonnakatastroofid ja muud tehnoloogilised õnnetused. Tuleb märkida, et nii mõnigi kord jääb ilukirjandus reaalsete sündmuste varju – nii näiteks küsivad Tšernobõli katastroofi piirkonna elanikud kibedalt, kas ulmeromaanide lugejad ei tahaks tulla vaatama, kuidas üks katastroof tegelikult välja näeb¹⁸, vihjates arvatavasti vendade Strugatskite tuntud invasiooniroomaanile „Väljasõit rohelusse“ (1980). Geoloogilisi katastroofe (maavärinad, vulkaanipursked jne.) kujutatakse ulmekirjanduses tunduvalt harvem.

Ulmekirjanduse meetodit, milles fantastilised sündmused toimuvad meie igapäevarealsuses või selle ekstrapolatsioonis, nimetatakse **ekstrapolatiivseks kirjutamiseks**¹⁹. Sellisel juhul kujundatakse tegeliku maailma uurimise teel pilt sellest, milliseks muutuks meid ümbritsev objektiivne reaalsus noovumi lisandumisel. Valdav enamus katastroofiromaane on loodud just sel meetodil. Alternatiiviks eelnimetatule on **spekulatiivne kirjutamine**, mille puhul pole selge, mismoodi võiks meie maailma aluseks võtta, et jõuda teoses kujutatud maailmani. Esimesel meetodil kirjutatud teosed muutuvad silmnähtavalt koos ühiskonnaga, teist meetodit kasutavad žanrid on arengult staatilisemad (nii on lugusid kontaktidest haldjariigiga kirjutatud juba aastasadu ning ka J. R. R. Tolkieni laadis imeulmet kirjutatakse siiamaani).

Nagu ülal nägime, muutus invasioonizhanr teaduslik-tehnilise progressi käigus: umbes 150 aastaga jõuti kaasaegset tegelikkust – või kaasaegseid teadmisi tegelikkusest – ekstrapoleerides õhupallidessantidest marsslasteni. Teadusulmes laiemalt võib jälgida fantastide poolt enam kasutatud teadusarude vaheldumist. 19. sajandil oli alkeemikute pärandina esiplaanil veel keemia (Robert Louis Stevensoni „Dr. Jekylli ja Mr. Hyde’i kummalises juhtumis“ (1886) transformeerub peategelase isiksus seerumi, või kui soovite, siis nõiajooogi, joomisel). Ameerika teadusulme kuldajastul 1930-ndatest kuni 1950-ndateni hõivas selle füüsika (Isaac Asimovi Asumi-

¹⁸ **Aleksijevitš, S.** Tšernobõli palve (Tallinn: Maalehe Raamat 2007).

¹⁹ **Tomberg, J.** Ekstrapolaarne kirjutamine (magistritöö Tartu Ülikoolis, 2004).

triloogias töötavad ka taskulambid aatomijõul). Uue laine perioodil, 1960-ndatel ja 1970-ndatel aastatel, avastasid ulmekirjanikud enda jaoks „pehmemad“ teadused – antropoloogia, ajaloo, psühholoogia jm. 1970-ndate lõpus tulevad esimesed varase nn. küberpungi alamžanri jutud, mis tähistavad jõudmist infoühiskonda. Tänapäeva teadusulmes (näiteks Charles Strossi loomingus) on kõiksugu infotehnoloogilised vidinad, tehisreaalsus, tehisintellekt ja sellega seotud probleemid juba väga laialt levinud ning võib öelda, et küberneetika-informaatika on saanud või saamas ulmekirjanduses populaarseimaks teadusharuks. Kui I maailmasõjani öitses Suurbritannias invasioonilugude alamžanr (olgu siis marsslastega või ilma) ning Külma sõja ajal esines sageli hävitava III maailmasõja (tuumasõja) motiiv (eriti silmapaistva näitena võiks mainida Walter Milleri „Ülistuslaulu Leibowitzile“ (1959)), siis infotehnoloogia ajastu ulme on välja arendanud oma spetsiifilise viisi, kuidas maailma lõpetada. Selleks on **singulaarsus**.

Singulaarsus on sündmus, mille järel toimuva kohta ei ole põhimõtteliselt enne singulaarsuseni jõudmist võimalik oletusi teha. Tehnoloogiline singulaarsus on tehnikasaavutus, mis muudab maailma tundmatuseni. Singulaarsuse saabumine on senise maailmakorralduse suhtes suurim kujuteldav katastroof, kuid samas ei ole see erinevalt varasematest üheselt negatiivse tähendusega – põhimõtteliselt on tegu hoopis arenguhüppega. Arvatavasti esimesed, kes tehnoloogilise singulaarsuse võimalikkust arutasid, olid matemaatikud Stanislaw Ulam ja John von Neumann 1950-ndatel²⁰ aastatel.

Tehnoloogilise tsivilisatsiooni senine areng on toimunud sujuvalt ja olgugi, et mõned muutused võivad tunduda kiired või järsud, võidi neid piisava geniaalsuse puhul kaunis ammu ette näha. Nii näiteks ennustas vürst Vladimir Odojevski 19. sajandi esimesel poolel oma utopistlikus lõpetamata romaanis „Aastal 4338“ (käsikiri verkuna avaldatud 1926) blogide teket: paljudes majapidamistes asendavad kirjavahetust žurnaalid, mis sisaldavad teavet pererahva tervisest, perekondlike uudiseid, igasuguseid mõtteid ja kommentaare, väikesi leiutisi, kutseid lõunale koos menüüga jne. Kaugel elavad sõbrad levitavad seejuures infot „magnetilise telegraafi“ abil. Senises inimkonna ajaloos pole ükski tehnoloogiline singulaarsus aset leidnud.

Charles Stross pakub ühe võimaliku tehnoloogilise singulaarsusena välja tõelise, ise ennast täiustava **tehisintellekti** tekke (näiteks loos „Antibodies“ (2000)), kuid singulaarsus võib olla ka näiteks **transhumanistlik** (inimteadvused kolivad tehisreaalsusse ja elavad seal

²⁰ **Bostrom, N.** „A History of Transhumanist Thought“ 2005. <http://www.nickbostrom.com/papers/history.pdf>

igavesti, üks põhjalikumaid jutte on näiteks Greg Egani „Wang’s Carpets“ (1995)). Mõlemal juhul on tegu uut moodi maailmalõpuga, mis ei pea tingimata olema halb (olles tehnoloogia pideva arengu tõttu igal juhul vältimatu) ja mida fantast pigem ootab kui pelgab. Kui neid kontseptsioone millegi reaalsega võrrelda, siis vahest käitumuslikult moodsa inimese tekkimisega üleminekul hilispaleoliitikumile. Kui stiilipuhtas katastroofiulmes kujutatakse tihti väheste ellujäänute toimetulekut katastroofi järel, siis singulaarsuse puhul peaks selle üleelanud maailma kujutamine juba definitsiooni kohaselt võimatu olema ning kõigiti ootuspäraselt ongi C. Strossi ja mõne teise autori vastavad katsed küllaltki loetamatud. Küll aga sarnaneb singulaarsuse saabumise kujutamine oma ülesehituselt tihti peale katastroofooloo algusega.

Kindlasti ütleb just sellise, teed tulevikku lahti jätva maailmalõpukujutluse levik tänapäevase ühiskonna kohta midagi olulist, kuid mida täpselt, jäägu formuleerida järeltulevatele põlvkondadele.

Lõpetuseks mõni sõna katastroofimotiivist **eesti ulmes**. Alustada tuleb **August Gailiti „Purple surmaga“ (1921)**, mis kirjeldab punase lööbega algavat, kogu inimkonda hävitava pandeemiat. Haiguse kirjeldus sarnaneb seejuures täpselt Jack Londoni jutustuse „The Scarlet Plague“ (1912) pandeemiaga, mis jätab Põhja-Ameerikasse alles vaid mõnikümmend inimest, kuid ühe olulise erinevusega – Gailiti romaanis tabab haigus ainult mehi ja jätab naised puutumata. Romaan on paljuski sümbolistlik, täis kümnete lehekülgede pikkusi dekadentlikke targutusi tsivilisatsiooni mandumise ning naissoo roojasuse teemal ja allakirjutanu arvates tänapäeval loetav ainult ajaloolisest huvist. **August Mälgu** emigratsiooni ilmunud **„Projekt Victoria“ (1978)** esindab teoseid, milles autor kasutab apokalüpsist maailmavaatelite arusaamade kuulutamiseks ilukirjanduslikus vormis – seninägematu geoloogiline katastroof saabub siis, kui inimkond oma tegevusega ületab planeedi vastupanuvõime ja too tüütuist „putukaist“ viimaks vabaneda otsustab.

Kati Murutari „Puugid kuubis“ (2004) jutustab kliimasoojenemise ning kosmilise katastroofi järgsest maailmast. Asteroid on hävitanud Põhja-Ameerika ja Eestis (mida on hakatud nimetama Deltaks) elavad inimesed saarekestel, mis veel veest välja ulatuvad. Peateema pole aga ka siin mitte Delta elukorraldus, vaid hoopiski turmtuli „puukideks“ nimetatava rahvakillu pihta, kelles on kerge ära tunda mustlasi. **Enn Kasaku „Vaba pattulangemise seaduses“ (2009)** muutuvad äkitselt füüsikaseadused nii, et ettenähtavaks tulevikuks katkeb elektrivarustus. Katastroof on ka selles romaanis vaid lavakujundus ja küsimused, millega autor üritab süvitsi tegeleda, hoopis teistlaadsed kui tehnoloogilise tsivilisatsiooni kokkuvarisemisega seonduv. Viimastel aastatel on järjest ilmunud kaks teost: **Mari Järve** pandeemiaromaan **„Esimene aasta“ (2011)**, mis on seni

kõige stiilipuhtam katastroofiromaani näide eesti kirjanduses ning **Rein Põdra** „**Laev**“ (2012), mida käesoleva loo autor pole jõudnud lugeda, kuid mis on arvustuste põhjal filosoofiline mõtisklus tõusvasse maailmamerre uppunud Eesti kohal üksinda seilavast laevnikust.

Nagu näeme, ei ole katastroofide teemal fantaseerimine siinmail just eriti populaarne olnud, kuigi viimasel ajal võib asi muutumas olla. Eesti ulmekirjanduses leidub vaid üks näide pikemast jutustusest, mis tegeleb suurõnnetuse kui sellise lahkamisega ning postapokalüptilised motiivid täidavad reeglina pigem tausta osa hoopis muust rääkimiseks. Samas on kanooniline katastroofiromaan, mis kujutab väheste ellujäänute võitlust ja ülesehitustööd, ka Lääne ulmekirjanduses madalseisu jõudmas ning „Esimene aasta“ võib, mõningasest tehnoloogilisest konarlikkusest hoolimata, jääda eesti kirjanduses pikaks ajaks ainsaks omataoliseks.

Kristjan Sander (kristjans@hot.ee) – Tartu Ülikooli, Ajaloo ja arheoloogia instituut, Lossi 3, 51003 Tartu.

Jõulud Alutagusel (müstifikatsioon)

Enno Reinsalu

20xx aasta sügis oli sademeterohke. Novembri alguseks oli vett tulnud aasta jagu, aga vihm ei lakanud. Läänetuul tõi seda juurde veel detsembri algulgi. Estonia kaevanduse pumbad töötasid pidevalt ja täisvõimsusega. Nii oli see olnud sellest ajast peale, kui ülesvett töötanud Viru kaevandus suleti. Sedavõrd, kuivõrd Viru veega täitus, oli kasvanud Estonia pumbajaamade koormus. Vesi tuli, nagu ikka – kõrgemalt madalamale, läbi lõheliste kivimite kaevanduste vahel, sealt, kus geoloogidel on Ahtme rikkevõänd. Ja vesi, mis põhja poolt tuli, polnud ainult Viru oma. Estoniasse jõudis ka kaugemate, veelgi varem suletud Sompas, Tammiku ning isegi Jõhvi uppunud kaevanduse vett.

Teisel advendil tuli päike välja. Külma päike – põhjatuul oli taeva puhtaks pühkinud. Lompidele tekkis jää. Maa hakkas kandma kergemat inimest, jahimehed metsa veel ei saanud. Siis põhjatuul vaibus ja hakkas jälle sadama. Nüüd juba lund, palju ja pehmet. Jõuluks oli maastik nagu sajandivanune piltpostkaart. Esimesel pühapäeval pööras tuul põhja ja ilm läks karmiks tuisuks. Riigimaanteid suudeti lahti hoida, teisi mitte eriti. Lund tõrjuti ka Estonia kaevanduse teedelt – kaevandus töötas, sest põlevkivi nappis. Elektri turuhind oli kõrge, kuna Põhjalas oli pakane ja Daugava vee-elektri nõutas endale tuumajaamast ilma jäänud Leedu.

Teisel jõulupühapäeval vaibus Virumaal tuul. Elektrituulikud tardusid. Kuu tuli täiena välja. Alutaguse metsades valitses jõulurahu. Ööl vastu kolmandat püha kõmises maa Tarakuse taga. Kaks hektarit metsa vajus hetkega poolteist meetrit madalamaks. Soome seisvojaamad märkisid sinna kahemagnituudilise maavärina. Kuused võdisesid, viimased lumeriismed langesid okstelt. Tukkunud ronk lendas robinal üles ja röögatas: „Kraater!“ Siiski ei, see mis metsa oli tekkinud, ei olnud kraater, vaid suur ovaalne lohk. Pervedele jäänud kuused kummardusid vajumi poole, nagu tahaksid teada, mis nende kaaslastest seal allpool saab. Esialgu ei saanud midagi. Ainult juurte vahelt purskas vett. Hakkas tekkima lodu, millest suveks saab puude surnuaed.

Maa all, Ahtme kaevandusvälja edelanurgas, oli varisenud kambriplakk. Väsinud tervikud olid järele andnud. 60 meetri paksune lasum, igal ruutmeetril 150 tonni, igal tervikul 30 tuhat tonni, vajus alla ja ühes sellega ka maa. See oli selle kambriplaki kollaps. Neid oli varemgi juhtunud, sadades plakkides Viru, Ahtme ja Estonia kaevandustes. Seekord juhtus see uppunud kaevanduses.

On arutatud, kas uppunud kaevanduses võib esineda varinguid. On väidetud, viidates Archimedese seadusele, et kivimid, mis tervikuid rõhuvad, pole vees enam nii kaalukad – nende raskus väheneb samavõrra, kui võrra nende maht vett täidab. On isegi arvatud, et vesi ei lase kambreid kokku vajuda, rõhudes vastu. Nii on arutatud, et tõrjuda mõtet, mis juhtub, kui 50 tuhat kuupmeetrit vett tahab kokku vajuvate kivimite alt välja, maa peale või teise kaevandusse tungida. Ükskõik kuhu ja kuidas, kasvõi läbi kivi.

Nii hakkas selle ploki vesi välja tungima. Veidi lirtsatas maa peale, veidi purskus välja unustatud puuraukudest. Kurvaks asjaoluks osutus, et naaberplokis oli lagi juba varem varisenud. Naabri varing ei olnud maa peale jõudnud – olid vajunud vaid lae alumised paarikümmend meetrit kuni ülal peidus olnud karstikoopani. Neid koopaid oli palju - see on ala, mida teadjad geoloogid on nimetanud Kurtna rikkevõõndiks. Maaapealne mõõdistamine, elektrometria, mis ulatub 40 m sügavuseni, oli näidanud, et seal on midagi anomaalset, kuid kaevandajad, läinud karsti alt läbi, ei märganud muud, kui et põrand lainetab ja lagi on pude ega ei püsi hästi. No ja toestasid siis lage kindlamalt.

Selle karstivõõndi kaudu – mööda koobastikku ja ühendatud lõhede rägastikku, piki ürgset salajõge või suurt veesoont, tungis nüüd Ahtme vesi üle kaevanduste vahele jäetud tõkketerviku Estonia kaevanduse suunas. Veelõök, impulsiga miljon tonn-meetrit sekundis, uhas savi karstikoobastest välja, murdis kihte lõhede vahel ja avas Ahtme kaevanduse 20 miljonile kuupmeetrile veele tee Estonia kaevandusse. Kui veelõök kustus, jäi jääksurveks ikkagi veel 4 atmosfääri.

Selles Estonia kaevanduse paneelis, kuhu vesi tungis, inimesi ei olnud. Varu oli ammendatud, kaevõõned tühjad. Sellest ida poole, naaberpaneeli tööle tulnud kaevurid kuulsid küll kõminat, aga see polnud nende jaoks mitte midagi uut. Ikka oldi kuulnud ja tajutud, kui Estonias mõni plokk kokku kukkus. Kui see oli olnud lähedal, oli olnud tunda ka õhulõõki. Veelõögist polnud kellelgi aimu.

Kaevurid olid töö, sest põlevkivi oli vaja. Eesti Energia teine kaevandamiskoht, Narva karjäär, oli Puhatu looduskaitsealana jõudnud ja nokitses edasi vaid üksikutes kaevikutes. Sestap saadi peaaegu kogu kütus Estonia kaevandusest, kus nüüd tuligi töötada kolmes vahetuses, 7 päeva nädalas, isegi jõuluajal.

Esimesed märgid avariist tulid, kui seiskus idatiiva peakonveier. Veetulv läbi ammendatud ala oli konveieri kägardanud. Otsekohe edastati avariiteade üle kogu kaevanduse, kuid välja kirdeosas töötanud kaevurite jaoks oli juba hilja. Nende väljapääsuteed olid uppunud.

Vesi jõudis pumbajaamadesse. Veekogurid, mis olid pilgeni täis oma vett, võõrast ei mahutanud. Pumbad jäid vee alla, elektriseadmed lühistusid ja ahelreaktsioonina lülitus välja kogu kaevanduse elektritoide.

Vesi kobrutas mööda kaldus kihti lõuna poole. Kaevanduse kõige madalamas osas, lõunas, said kaevurid küll avariisõnumi, kuid täpsemalt teadmata, milles asi, ei hakanud rabelema. Arvates, et halvimal juhul on see kahjutuli, mida ennegi juhtunud, otsisid üles oma päästevahendid, tuletasid meelde, mida teha ja hakkasid šahti poole liikuma. Teel tulvas neile vastu vesi, mis veekäikudesse ja -kraavidesse ei mahtunud. Need, kes jõudsid käivitada liikurmasinad, hakkasid kaaslasi peale võtma ja läbi paksu veekihi vastu voolu ülespoole sõitma. Laaduri kopp mahutas kümneid mehi, oleks vaid kõiki leitud. Selja taga täitusid käigud ja kambrid.

Läänetiiva kaevurite olukord oli veidi parem. Kaevanduse tohtu allmaatühemik mahutas palju vett ja kuidagimoodi läbi kaevandatud ala murdes üritasid mehed jõuda kaevandushoovi. Enamik jõudis. Kuid oli ka neid, kes ei jõudnud. Mõned suutsid jõuda maa peale avaneva õhukaevuni, kuid sealt üles ei aidanud neid keegi. Mõned, kellele vesi õhukaevu põhjas järele jõudis ja kes mingi ujukiga end selle peal hoidsid, jahtusid aegamööda. Üks õnnelik, saanud imekombel mobiiliühenduse, päästeti.

Inimohvrite arvu poolest võrdus see avari keskmise lennuõnnetusega.

Uue aasta esimesel nädalal hakkasid Narva elektrijaamad otsi kokku tõmbama – kütus sai otsa. Kõigepealt peatati õligeneraatorid, et nende kivi anda elektrijaamale. Kütust, mitte ainult põlevkivi, ka kivisütt ja masuuti, üritati osta nii omadelt kui võõrastelt, kuid erilise eduta. Keegi ei olnud selleks valmis ja indu ei lisanud ka valitsuse kehtestatud eriolukord. Karm kord tuli kehtestada kasvõi seepärast, et Viru Keemia Grupi Ojamaa kaevanduse mehed olid keeldunud alla minemast, teades, et uppunud Somp ja Viru kaevandusest lahutab neid vaid 20 m karstunud tõkterevikut. Eesti Energiat ei päästnud ka Riigikogu luba minna Narva mäetöödega Puhatu suunas. Seal oli katend põlevkivi pealt eemaldamata ja draglainid konserveeritud. Läks aega, enne kui Puhatu alt kütust saadi. Ammu kavandatud Uus-Kiviõli kaevandust ei olnud. See polnud rahvale meeldinud, sest uue kaevanduse taga, õigemini all, oli nähtud ja kardetud fosforiiti.

Elektri hind, mida nüüd tuli 80% ulatuses sisse osta, kahekordistus. Kuid see polnud peamine – karmil talvel ei olnud turul vaba elektrit. Elektri tarbimist tuli piirata. Piirang tekitas ülekoormuse ja see omakorda voolukatkestusi. Lugematul arvul hukkus laudaloomi ja puurilinde. Juhtus muudki, aga see on teine teema.

Kulus aasta, enne kui Estonia kaevandusest asja sai. Kevadeks tamponeeriti vee voolutee Ahtme ja Estonia vahel. Selleks tuli rajada Pagari lähiste metsa terve tehas, kust pumbati maapõue kümneid tuhandeid tonne

põlevkivituha püdelikku. See tardus ja täitis tühemikud. Alustati ka aegavõtvat kaevanduse tühjaks pumpamist. Tootmise kiiremaks taastamiseks rajati Viru kaevanduse tehnoplatsist kagu poole metsa uus tehnoplats. Uuest kohast mindi kaldšahtidega maa alla. Estonia käikudeni jõuti kõrgusel +15 m merepinnast ja need olid juba üsna kuivad. Kohe hakati põlevkivi võtma, kust vaid sai. Sedavõrd, kuivõrd veetase taandus, jõuti kunagistele töökohtadele lõunaosas absoluutkõrgusel -15 m. Ent midagi töökõlblikku seal enam ei olnud. Kõik tuli uuesti toetada, seadmestada, mehitada.

Taastamine oluaks võimatu, kui Riigikogu poleks vastu võtnud seadust, mis andis põlevkivi kaevandajatele peaaegu et erivolitused. Aga selleks ajaks, kui Estonia kaevandus jälle arvestusväärset toodangut andma hakkas, ei olnud see enam Eesti Energia kaevandus. Eesti Energia oli pankrotis.

Autori kommentaar: see müstifikatsioon on kirjutatud vastuväidete tekitamiseks. Väitmaks, et see on võimatu. Mina, kui esitaksin vastuväiteid, ütleksin pigem, et see on vähetõenäoline. Kui vähe? Olen nõus, kui keegi tõestab, et sellise katastroofi tõenäosus on tuhat korda väikesem, kui analoogiline sündmus Hiina kaevandustes.

Enno Reinsalu (enno.reinsalu@ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut. Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Ellujääja portree

Oive Tinn

Mida on ühist mikroskoopilisel tsüanobakteril, arbuusiseemnega sarnaneval brahhiopoodil *Lingula*'l, *Claraia*-nimelisel kauni kujuga kammkarbil, ühtaegu nii roomajat kui imetajat meenutaval jässakal *Lystrosaurus*'el, ning koldtaimede hulka kuuluval lihakate lehtedega lahnarohul *Isoetes*'el?

Õige vastus on, et kõiki neid tuntakse *katastroofitaksonite* nime all. Ei, mitte seetõttu, et nad oleksid ise katastroofe põhjustanud. Sellise nime on nad ära teeninud sellega, et muidu tagasihoidlikud, varem märkamatult oma kitsas nišis eksisteerinud eluvormid kuulusid selle 5% liikide hulka, kes suutsid üle elada Permi ajastu lõpul kogu planeeti tabanud ränga ökoloogilise kriisi. Vähe sellest, lisaks suutsid nad sellest ka nii palju kasu lõigata, et paljunedes lausa astronoomiliste hulkadeni, täitsid oma väga ühekülgsede kooslustega täielikult teiste liikide poolt varem asustatud elupaigad, kuid olid võimelised kohastuma ka kõikmõeldavatel neile vähegi sobivatel külgnevatel aladel, mis olid eelmiste asukate surma järel tühjaks jäänud (Erwin 2006).

Väljasuremisi on Maa ajaloos toimunud väga mitmesuguse mõju, mastaabi ja kestusega, samuti on erinevad elustiku väljasuremiste põhjused. Kõigest erinevustest hoolimata on katastroofile järgnenud alati periood, mil võimust on võtnud liigid, kellele muutunud keskkonnatingimused pole olnud ületamatuks takistuseks, vaid koos vabanenud ökoloogiliste niššidega on hoopis soodustanud eluspüsivust ja piiramatut paljunemist. Laias laastus võib tegurid, millest sõltub taksonite eluspüsimine, jagada välisteks (keskkonna- või abiootilised faktorid) ja sisemisteks (bioloogilised faktorid), kuigi need kaks võivad tihtipeale ka üksteisega kattuda.

Need tegurid võivad suurte keskkonnamuutuste ajal mõjuda erinevatele liikidele erinevalt, põhjuseks asjaolu, et väljasuremise ajal ei saa paljud liigid hukka mitte otseselt abiootiliste mõjude tõttu, vaid on tegelikult üksteisele järgnevate ökoloogiliste kriiside ja kokkukukkuvate koosluste ohvrid (Roopnarine 2006). Üks kõige otsesemaid ökosüsteemide mõjutajaid ja mitmeastmeliste kriiside käimalükkajaid on primaarproduktiooni lakkamine, vallandades teiseste väljasuremiste laine kõrgemal troofilistel tasemetel. Teatud organismidel on võimalik sellest üle saada generalistliku toitumistrateegia abil – toidu suhtes vähem valiv olles.

On märganud, et väljasuremise riskifaktorid võivad „tavapärastel“ taustväljasuremistel ja massilistel väljasuremistel erineda. Näiteks tagavad taustväljasuremise ajal liigi püsivuse suur populatsioon ja lai geograafiline levik, samuti mängivad rolli kehasuurus (väikest organismi on kergem elus

hoida kui suurt) ja paljunemisviis (tõenäosuse liigina ellu jääda tagab korraka suure arvu järglaste saamine, kelle kasvatamiseks ei pea vanemad liiga palju vaeva nägema). Liikide püsimisele aitab kaasa ka lai ökoloogiline nišš, mereorganismidel ka näiteks laiem sügavustaluvus.

On arvatud, et massilised väljasuremised võivad toimida teatud määral juhuslikult (Jablonski 2004) ning võib selguda, et tegurid, mis aitasid taustväljasuremisete käigus ellu jääda – näiteks lai geograafiline levik – ei pruugi tagada ellujäämist suurte katastroofide ajal. Sellise erineva valikulisusega seletatakse ka seda, miks väljasuremisjärgne periood võib anda ootamatu võimaluse ellujäämiseks varem vähe levinud ning väikese tähtsusega rühmadele, näiteks imetajatele pärast dinosauruste kadumist.

Iseloomulik on ka valdavalt tsüanobakteritest, mikroskoopilistest vetikatest ja arhedest koosnevate stromatoliitide levik kahe suurema – Devoni ja Permi – väljasuremise järgselt. Stromatoliidid olid tavalised Eel-Kambriumi kooslustes, kuid Fanerozoikumil jooksul on nad olnud väga marginaalse tähtsusega, asustades tänapäeval vaid üksikuid ääremerelisi keskkondi. Selle põhjuseks on asjaolu, et mikroobimatid on tundlikud bioloogilise ja ökoloogilise stressi suhtes, kartes kõige enam enda ärasöömist hulkraksete loomade poolt. Kui aga keskkonnastress on nii tugev, et takistab hulkraksete tegevust, annab see võimaluse stromatoliitide eluks. Massilised väljasuremised tekitasid omamoodi ökoloogilise akna mikroobikooslustele, kes tavapärastes tingimustes ei oleks suutnud võistelda hulkraksete loomadega (Mata ja Bottjer 2012).

Kuid eksisteerib ka selliseid taksonid (liike, perekondi või kõrgemaid taksonid), kellel on õnnestunud üle elada mitte üks, vaid palju suuri väljasuremisi, taustväljasuremistest rääkimata. Selliste pikaajaliste taksonite hulgas on esindajaid väga mitmete limuste, okasnahksete, käsijalgsete ja lüljaljalgsete hulgas. Mitmed sellised liinid on elanud muutumatul kujul kümneid, mõned lausa sadu miljoneid aastaid. Nende lähedased sugulasliinid häabusid või evolutsioneerusid uuteks liikideks, kuid nad ise ei kadunud ka kõige rängemate katastroofide käigus. Need, kel on õnnestunud tänapäevani elada, on inimeselt saanud austava nimetuse *elav fossiil*.

Lee Hsiang Liow (2007) on püüdnud välja selgitada, kas sellistel pikaajalistel taksonitel on ka mingeid märkimisväärsed, väliselt nähtavaid ühiseid tunnuseid, mis on ehk mingil moel aidanud kaasa nende erakordsele vastupidavusele. Tema toetus eeldusele, et kuna organismi väliskuju ehk morfoloogia mõjutab organismi funktsioneerimist (Koehl 1996) ning teatud määral peegeldab ka füsioloogilist eripära ja ökoloogilisi eelistusi (Wainwright ja Reilly 1994), siis võiks selliste pikaajaliste liinide morfoloogias (ja nende võrdluses lähedaste, kuid lühiealiste taksonitega) peituda võti nende pikaajalisuse selgitamiseks. Liow' järelendus, milleni ta

jõudis pärast suurte andmehulkade läbitöötamist, oli ootamatu nii talle endale kui ka kolleegidele. Selgus, et need visad, väga pikalt muutumatuna püsinud liinid ei omanudki mitte mingeid erilisi või unikaalseid tunnuseid. Vastupidi – ükskõik, milliseid tunnuseid vaadeldi ja analüüsiti, olid nad igas mõttes oma rühma keskmised!

Seda ootamatut paradoksi võib selgitada sel moel, et kui evolutsioonilise protsessi käigus on juba „läbi katsetatud“ hulk erinevaid „mudeleid“ ning leitud optimaalne lahendus, siis sellest kõrvalekaldumine ei pruugi olla hea pikaajalise püsimise jaoks.

Seega – kes jäävad ellu? Kas kõige tugevamad? Ei, kõige vähenõudlikumad, kõige kiiremini paljunevad, võimalik, et kõige vähem nähtavad või vähem silma paistvad.

Väga pikaajalises perspektiivis eelnevast valikust kõige keskmisemad.

Ning viimaks need, kellel puuduvad kõik eelnimetatud omadused, kuid kellel juhtub lihtsalt teistest enam õnne olema, need, kel veab.

Kasutatud kirjandus

- Erwin D. H. 2006. Extinction: how life on earth nearly ended 250 million years ago. *Extinction: how life on earth nearly ended 250 million years ago*. i-viii, lk 1-296 .
- Jablonski D. 2004. Extinction: past and present. *Nature*, 427, 589-589.
- Koehl M. A. R. 1996. When does morphology matter? *Annual Review of Ecology and Systematics*, 27, 501-542.
- Liow L. H. 2007. Lineages with long durations are old and morphologically average: An analysis using multiple datasets. *Evolution*, 61, 885-901.
- Mata S. A. ja BOTTJER, D. J. 2012. Microbes and mass extinctions: paleoenvironmental distribution of microbialites during times of biotic crisis. *Geobiology*, 10, 3-24.
- Roopnarine P. D. 2006. Extinction cascades and catastrophe in ancient food webs. *Paleobiology*, 32, 1-19.
- Wainwright P. C. ja REILLY, S. M. 1994. Ecological morphology: integrative organismal biology. *Ecological morphology: integrative organismal biology*. i-viii, lk 1-367 .

Oive Tinn (Oive.Tinn@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A, 50411 Tartu.

Ostrakoodifauna taastumine Kinnekulle vulkaanipurske järel

Vincent Perrier, Tõnu Meidla, Oive Tinn ja Leho Ainsaar

Vulkanismi mõju keskkonnale ning vulkaanipursete seoseid elurikkusega on eriti põhjalikult uuritud viimaste aastakümnete jooksul (nt. Huff jt. 1992; Renne jt. 1995; Waškowska 2011). Vulkanismi, mis võib teatud juhtudel olla seotud ka meteoriitsete impaktidega, peetakse paljude Maa ajaloos toimunud suuremate väljasuremiste põhjustajaks (White ja Saunders 2005; Saunders ja Reichow 2009). Selliseid olulisi biosfääri muutusi seostatakse harvaesinevate, kuid väga võimsate ja pikaajaliste laavavooludega, mis on võimelised mõjutama atmosfääri/hüdrofääri koostist ja süsiniktsüklit.

Vähem on tuntud suuremõdulise plahvatusvulkanismi järelmõjud. Kuigi tuhavoolude ja teiste lühiajaliste keskkonnakriiside mõju elusorganismidele on dokumenteeritud nii mineviku kui tänapäeva keskkondades (nt. Heikoop jt. 1996; Hess jt. 2001; Galeotti jt. 2002; Waškowska 2011), on neis uuringutes kõige enam keskendunud foraminifeeridele. Kuna Alam-Paleosoikumis on ostrakoodid üks kõige rikkalikumaid ning kõige paremini fossiliseeruvaid rühmi, võiksid ka need olla üheks heaks vahendiks fauna taastumise uurimisel. Ostrakoodid ehk karpvähid on väikesed (täiskasvanuna 1-30 mm pikkused), enamasti bentilised, kahe kojapoolmega koorikloomad, kelle vanimad fossiilid pärinevad rohkem kui 500 miljoni aasta vanustest kivimitest.

Käesoleva uurimustöö eesmärgiks oli välja selgitada, kuidas toimus ostrakoodifauna taastumine pärast Paleosoikumi ühe võimsama vulkaanipurske (või pursete seeria) tagajärjel moodustunud Kinnekulle bentoniidi (Huff jt. 2010) settimist. Sellele küsimusele vastamiseks uuriti liikide levikut, liigirikkuse muutlikkust ja mitmekesisust vulkaanipurske jooksul ning enne ja pärast Kinnekulle sündmust.

Geoloogia ja stratigraafia

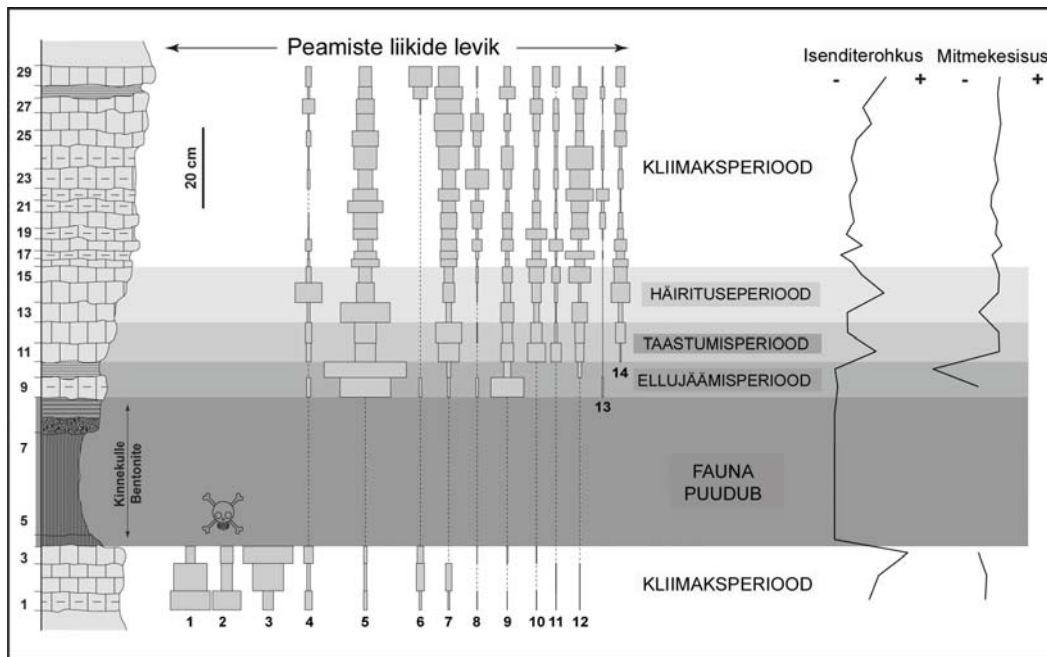
Ordoviitsiumi-vanuselistes kivimites Baltoskandia piirkonnas kõnelevad vulkaanilise tuha kihid (bentoniidid) rohkem kui 150st kunagi toimunud vulkaanilisest sündmusest. Kõige paksem neist tuhakihtidest on tuntud kui Kinnekulle bentoniit, mis on Ülem-Ordoviitsiumi kivimites jälgitav üle kogu Põhja-Euroopa. Seda magnituudiga 7-8 (Huff jt. 2010) toimunud plahvatuslikku purset peetakse üheks kõige võimsamaks Fanerosoikumis, purske käigus ülespaisatud tuhakiht kattis vähemalt $6,9 \cdot 10^5$ km². Kinnekulle bentoniit oli tõenäoliselt Avalonia vulkaanilises piirkonnas (mis oli kujunenud Tornquisti ja Iapetuse mere sulgumisel; Torsvik ja

Rehnström 2003) toimunud ühe (või mitme) vulkaanipurske tulemus. Tuhamaterjal kandus Lõuna-Rootsist, kus kihi paksus on ~200 cm, kuni 3000 km kaugusele, Peterburi ümbrusesse, kus kiht järk-järgult kaob (Bergström jt. 1995). Geoloogilise aja jooksul on vulkaaniline tuhk tihenened 3-4 korda (Huff jt. 1996) ning on diageneesi käigus muutunud K-rikkaks saviks või bentoniidiks. Eestis tähistab Kinnekulle bentoniit Keila lademe alumist piiri, Loode-Eestis asuvas Põõsaspea läbilõikes on selle paksus ~40 cm (Hints jt. 2003; joonis 1). Bentoniidikiht koosneb peamiselt K-päevakivi ja savi (illiidi ja smektiidi) segust. Kaltsiit, mis on nii lamavate kui lasuvate kihtide peamine koostisosa, puudub sellest kihist peaaegu täielikult (<5%).

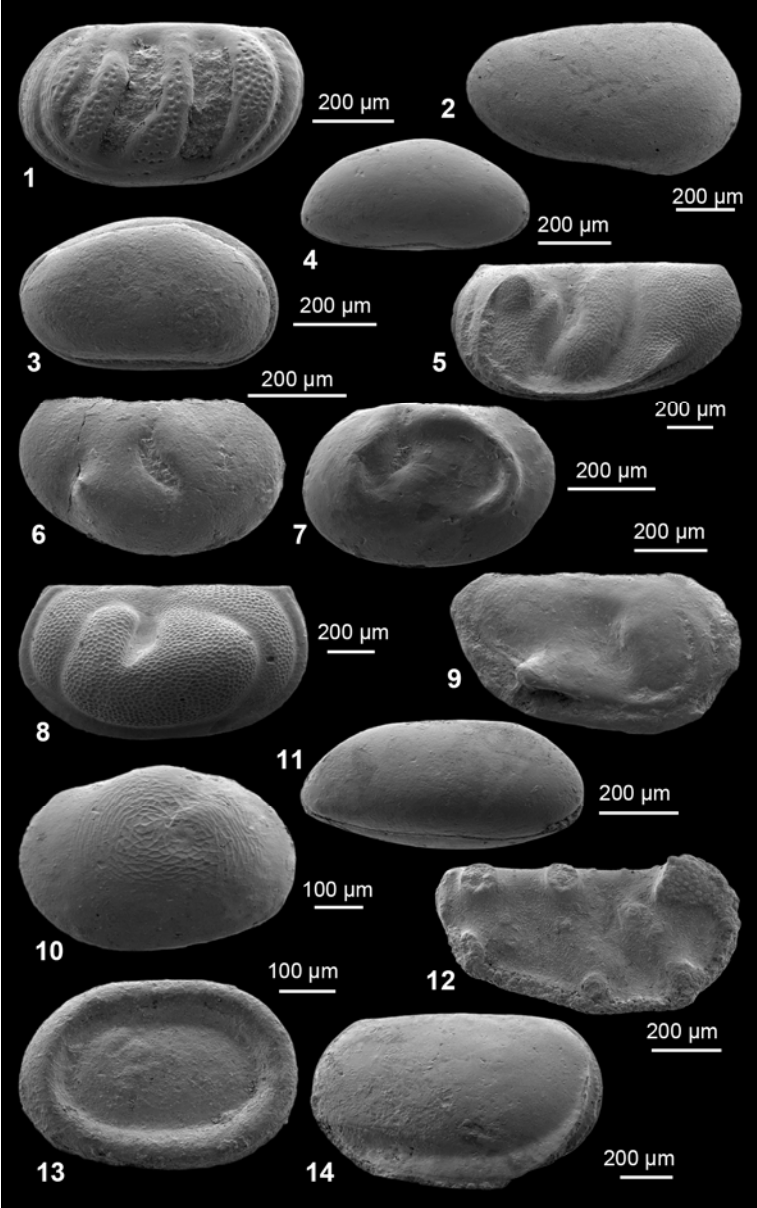
Tulemused

Keskmine ostrakoodirikkus Põõsaspea läbilõike proovides oli 2,16 eksemplari ühe grammi kohta (varieerudes 0,003-6,02 eksemplari vahel). Tuhakihi-alustes proovides (kihid 1-3) oli ostrakode väga palju (2,9-6 eksemplari grammi kohta) (vt. joonis 1). Bentoniidikihtides (kihid 4-8) langes nende hulk nullini ning püsis väga madalal tasemel (<0,3 eksemplari grammi kohta) kahes esimeses bentoniidikihi kohalt võetud proovis (kihid 9-10). Ka järgmistes proovides püsis ostrakoodide hulk suhteliselt madalal, v.a. kahes proovis (kihid 11 ja 14), kus see küündis kriisieelse tasemeni (vastavalt 3,4 ja 4,1 eksemplari grammi kohta). Alates kihist nr. 26 oli ostrakoodide hulk püsivalt bentoniidi-eelsel tasemel (2,3-4,2 eksemplari grammi kohta).

Kokku määrati läbilõikes 71 ostrakoodiliiki, keskmiselt leiti igast proovist 22 liiki. Kõige olulisemad muutused ostrakoodikoosluses toimusid Kinnekulle bentoniidi kohal. Tuhakihi-eelsetes proovides leidis palju liike (21-30), kuid kooslustes valdas kolm massiliselt esinevat liiki: *Tetrada memorabilis*, *Steusloffina anteroubata* ja *Olbianella braderupensis* (joonis 2). Bentoniidikihi alumisel pinnal kadus kokku 13 liiki, nende seas ka seni kõige arvukamalt esinenud ostrakoodid. Esimestes bentoniidipealsetes kihtides (kiht 9) ilmus eriline 'ellujäämiskooslus', kuhu kuuluvad ostrakoodid reageerisid kriisile erinevalt: mõned ilmusid ja kadusid kiiresti; mõned, kes olid olemas kihis nr 9, kadusid ning ilmusid hiljem uuesti; mõned, kelle populatsioon ei olnud väga suur enne kriisi, esinesid massiliselt bentoniidi-järgsetes kihtides (joonis 1).



Joonis 1. Põõsaspea läbilõike litoloogia, 14 peamise ostrakoodiliigi levik protsentides (%), faunajärgnevus, faunarahkus ja –mitmekesisus. Liikide tähistus sama mis joonisel 2.



Joonis 2. Peamised Põdsaspea läbilõikes (Ülem-Ordoviitsium, Keila lade) esinevad ostrakoodiliigid; Põd=eksemplar Põdsaspea läbilõikest, R=eksemplar Ristna läbilõikest.

(1) *Tetrada memorabilis* (TUG 1610–27), vasak poole, külgvaade, Põd. 1. (2) *Steusloffina anteroumbonata* (TUG 1610–60), parem poole, külgvaade, Põd. 1. (3) *Olbianella braderupensis* (TUG 1610–24), terve koda, parem külgvaade, Põd. 3. (4) *Longiscula parrectis?* (TUG 1610–86), noor eksemplar, parem külgvaade, Põd. 1. (5) *Sigmoopsis rostrata* (TUG 1610–7), vasak poole, külgvaade, Põd. 3. (6) *Disulcina interminata* (TUG 1610–10), parem poole, külgvaade, Põd. 1. (7) *Pedomphalella egregia* (TUG 1610–12), vasak poole, külgvaade, Põd. 24. (8) *Bolbina major* (TUG 1610–16), teknomorfne vasak poole, külgvaade, Põd. 26. (9) *Braderupia asymmetrica* (TUG 1610–1), parem poole, külgvaade, Põd. 11. (10) *Easchmidtella fragosa* (TUG 1610–76), terve koda, parem külgvaade, Põd. 11. (11) *Krausieloides* sp. (TUG 1610–83), terve koda, parem külgvaade, R. 14. (12) *Polyceratella aluverensis* (TUG 1610–68), parem poole, külgvaade, R. 8b. (13) *Circulina fimbriata* (TUG 1610–42), vasak poole, külgvaade, R. 9g. (14) *Tvaerenella longa longa?* (TUG 1610–53), parem poole, külgvaade, Põd. 27.

Taastumise mehhanism

Mil moel taastumine toimus ning millal saaks jälgida kriisieelse tipu taastumist? Kas see on seotud kriisieelse isenditerohkuse ja/või mitmekesisusindeksitega või hoopis ökosüsteemi (re)invasiooniga (re)koloniseerivate liikide poolt? Tulemused näitavad, et Kinnekulle tuhasadu põhjustas uurimisalal ostrakoodifauna suure väljasuremise, samas toimus keskkonna rekoloniseerimine pärast kriisi 'kiiresti', kuid astmeliselt.

Ellujäämisperiood

Esimestes kriisijärgsetes proovides oli ostrakoodide rikkalikkus ja mitmekesisus väga madal (joonis 1). Kriisijärgsed proovid (kihid 9-10) sisaldasid peamiselt ellujäämisliike (*Sigmoopsis rostrata*, *Braderupia asymmetrica*; vt. joonis 1-2). Need liigid ei olnud enne kriisi väga arvukad ning esindavad tõenäoliselt oportunistlikke taksoneid, kes kohastusid kiiresti uute keskkonnatingimustega.

Taastumisperiood

Pärast lühikest perioodi, mil domineeris ellujäämisfauna, ilmus taastumisfauna. Taastumisfauna oli segu uutest liikidest ja mõnedest ellujäänud liikidest, mis taasilmusid pärast algset ellujäämisperioodi. Põdsaspea läbilõikes ilmneb suurim taasasustamine ostrakoodidega kihtides 11-12 (+20 liiki).

Häirituse- ja kõrge mitmekesisuse taastumise periood

Pärast vulkaanipurset toimus isenditerohkuse, liigilise ja kõrgemal taksonoomilisel tasemel mitmekesisuse taastumine algsete väärtuste juurde väga kiiresti. Bentoniidi kohal, kihtides 11 ja 12, olid mitmekesisuse indeksid võrreldes varasematega juba kerkinud, kuid langesid kihis nr 13, tõustes uuesti 'platoost' kõrgemale 14. kihis. Pärast häirituseperioodi taastusid ka endised kõrged stabiilsete väärtustega mitmekesisuse indeksid.

Tõlkis Oive Tinn

Kasutatud kirjandus

- Bergström S.M., Huff W.D., Kolata D.R. ja Bauert H. 1995. Nomenclature, stratigraphy, chemical fingerprinting, and areal distribution of some Middle Ordovician K-bentonites in Baltoscandia. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar (GFF)* 117, 1–13.
- Galeotti S., Bellagamba M., Kaminski M.A. ja Montanari A. 2002. Deep-sea benthic foraminiferal recolonisation following a volcanoclastic event in the lower Campanian of the Scaglia Rossa Formation (Umbria-Marche Basin, central Italy). *Marine Micropaleontology* 44, 57–76.
- Heikoop J.M., Tsujita C.J., Heikoop C.E., Risk M. ja Dickin A. 1996. Effects of volcanic ashfall recorded in ancient marine benthic communities: comparison of a nearshore and an offshore environment. *Lethaia*, 29, 125–139.
- Hess S., Kuhnt W., Hill S., Kaminski M.A., Holbourn A. ja Leon M., 2001. Monitoring the recolonization of the Mt Pinatubo 1991 ash layer by benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology* 43, 119–142.
- Hints O., Hints L., Meidla T. ja Sohar K. 2003. Biotic effects of the Ordovician Kinnekulle ash-fall recorded in northern Estonia. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 50, 115–123.
- Huff W.D., Bergström S.M. ja Kolata D.R. 1992. Gigantic Ordovician volcanic ash fall in North America and Europe: Biological, tectonomagmatic, and eventstratigraphic significance. *Geology* 20, 875–878.
- Huff W.D., Kolata D.R., Bergström S.M. ja Zhang, Y.-S., 1996. Large-magnitude Middle Ordovician volcanic ash falls in North America and Europe: dimensions, emplacement and post-emplacement characteristics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 73, 285–301.
- Huff W.D., Bergström S.M. ja Kolata D.R. 2010. Ordovician explosive volcanism. Rmt: Finney, S.C., Berry, W.B.N., (toim.), *The Ordovician Earth System*. Geological Society of America Special Paper 466, pp. 13–28.
- Renne P.R. Zichao Z., Richards M.A., Black M.T. ja Basu A.R. 1995. Synchrony and Causal Relations Between Permian-Triassic Boundary Crises and Siberian Flood Volcanism. *Science*, 269, 1413–16.
- Saunders A. ja Reichow M. 2009. The Siberian Traps and the End-Permian mass extinction: a critical review. *Chinese Science Bulletin* 54, 20–37.

- Torsvik T.H. ja Rehnström E.F. 2003. The Tornquist Sea and Baltica-Avalonia docking. *Tectonophysics*, 362, 67–82.
- Waškowska A. 2011. Response of Early Eocene deep-water benthic foraminifera to volcanic ash falls in the Polish Outer Carpathians: Palaeoecological implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 305, 50–64.
- White R.V. ja Saunders A.D. 2005. Volcanism, impact and mass extinctions: incredible or credible coincidences? *Lithos* 79, 299–316.

Vincent Perrier (vincent.perrier@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A, 50411 Tartu

Tõnu Meidla (tonu.meidla@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A, 50411 Tartu

Oive Tinn (oive.tinn@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A, 50411 Tartu

Leho Ainsaar (leho.ainsaar@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A, 50411 Tartu

**Dinosaurused: aeglastest hiigelsisalikest lendavateks lindudeks.
Lühiülevaade Kriidi-Paleogeeni piiril toimunud ökoloogilisest
kriisist ja viimastest uuringutest**

Giuseppe Buono

Dinosauruste avastamise ja uurimise ajalugu on, tänu uutele avastustele ja pidevalt täienevale uuringuteks kasutatavale tehnoloogiale, täis suuri üllatusi, mis on meid sundinud oma vaatenurki täielikult muutma: praeguseks väljasurnud suurtest ja aeglastest sisalikest on saanud meie taevast hõivavad lendavad linnud. Käesoleva artikli autor soovib anda ülevaate selle imelise arenguloo kõige tähtsamatest sündmustest, tuues eelkõige välja viimaste aastate suuremad avastused.

Esimesed dinosauruseleid

Kuigi inimesed ja lennuvõimetud dinosaurused pole kunagi kohtunud, on nii dinosauruste kui ka teiste väljasurnud loomade fossiilsete jäänuste leiud inimestele alati väga sügavat muljet avaldanud. Need on pannud aluse legendidele draakonitest ja teistest mütoloogilistest olenditest.

Juba Vana-Rooma ja Vana-Kreeka kirjanduses on palju märkmeid fossiilileidude kohta (Mayor 2000). Kuigi enamus neist on seotud Kainosoikumi imetajatega, tundub, et legendid müütilisest greifist (LISA joonis 1), keda esmakordselt kirjeldas Herodotus oma teoses *Histories* (u. 430 e.Kr.) ja hiljem ka paljud teised (Ktesias, Aristeas, Pomponius Mela, Plinius Vanem, Apollonius Pausanias, Aelian) on saanud inspiratsiooni *Protoceratops*'i ja teiste dinosauruste pesajäänustest. Dinosauruste fossiile hakati neis nägema alles sajandeid hiljem, ning seda tänu kuulsale Roy Chapmani ekspeditsioonidele Gobi kõrbesse aastatel 1922-1925.

Sarnane saatus on ka Hiina „draakoniluudel“, mida on Hiina meditsiinis ravimina kasutatud juba ammustest aegadest saadik. Kuigi hiinlased kutsuvad draakoniluudeks kõiki fossiilseid luid, on enam kui tõenäoline, et pikad draakonid, keda võib näha paljudel hiina traditsioonilistel pidustustel, on inspireeritud pika selgrooga sisaljalgsetest (Sauropoda) ja neile lähedastest dinosaurustest (näiteks küllaltki levinud *Lufengosaurus* või võimas *Mamenchisaurus*). Seetõttu pole ka üllatav, et esimene kirjalik dokument dinosaurusejäänuste leiu kohta pärineb just Hiinast: Zhang Qu Läänepoolsest Jin'i dünastiast (265-420) teatas draakoniluude leiust Wuchengis Sichuani Provintsis (Dong 1992).

Sajandeid hiljem (1677) teatas inglise loodusteadlane Robert Plot, et on leidnud Piiblis kirjeldatud hiidinimese luu. See ei olnud aga ei midagi muud kui *Megalosaurus* 'e reieluu ning ühtlasi ka esimene teaduslikult kirjeldatud

dinosauruseluu leid. Ühendkuningriike võiski aastaid pidada n.ö „dinosauruste koduks“, kuna seal kirjeldati ka *Rutellum implicatum* (sisaljalgse ehk sauropoodi hammas; Lhuyd 1699), *Megalosaurus* (Buckland 1824), *Iguanodon* (Mantell 1825) ja *Hylaeosaurus* (Mantell 1699). Neist viimased kolm võimaldasid Richard Owenil (1842) luua uue taksonoomilise grupi - Dinosauria, otsetõlkes „hirmus sisalik“.

Selle uue ja muljetavaldava roomajaterühma leidude avastamine tõi järgnevatel aastatel kaasa arvukaid ekspeditsioone. Nende seas võib esile tuua eelkõige „luusõjad“ (*bone wars*) USA-s Edward Drinker Cope'i ja Othniel Charles Marshi vahel (Colbert 1984), sakslaste ekspeditsiooni Tansaaniasse 1909-1912 (Maier 2003) ja ekspeditsioonid Mongooliasse (mida aastatel 1922-1925 juhtis Chapman Andrews, hiljem aga poola-vene ja kanada-hiina ekspeditsioonijuhid (Wilford 1985)).

Nii said lõpuks alguse dinosauruste teaduslikud uuringud. Tänapäevased teadmised dinosaurustest ja nende paleobioloogiast olid küll veel mägede taga, kuid iga uus avastus tõi teadmisi juurde.

Nägemuse muutumine

Nii dinosaurustele kui lindudele omaste (nt. sulgede esinemine) anatoomiliste tunnustega *Archaeopteryx*'i leid (von Meyer 1861), algatas debati lindude pärinemise kohta dinosaurustest.

Veelgi tähtsamaks võib pidada aga *Deinonychus*'e kirjeldust (Ostrom 1969). See uurimus viis teadlased mõttele, et dinosaurused võisid olla püsisoojased loomad, kellel oli imetajatega väga sarnane ainevahetus. R. T. Bakker arendas seda arusaama oma teoses „The Dinosaur Heresies“ (1968, 1980, 1986) isegi edasi, kuid endiselt peeti seda „ketserlikuks“ ideeks, kuni viimased põnevad leiud ja fossiilide uurimismetodite areng muutsid meie arusaama dinosaurustest alatiseks.

Dinosauruste pesapaikade kirjeldused, näiteks *Maiasaura*'s, *Saltasaurus*'e ja Mongooliast leitud loomjalgsede (Theropoda) ja sarviksauruslaste (Ceratopsidae) pesad (Carpenter jt. 1994; Carpenter 1999; Chiappe ja Dingus 2001; Dingus jt. 2002) on andnud meile palju infot dinosauruste paljunemise ja lõimetishoolde kohta. Lisaks on juhuslikud embrüoleiud laiendanud meie teadmisi dinosauruste ontogeneesist ja heterokrooniast ning andnud väärtuslikku infot mitme grupi süstemaatika kohta (nt. Chiappe jt. 2007; Reisz jt. 2005; Norell jt. 1994; Horner 2000; Salgado jt 2005).

Üksikud medullaarse luukoe (kaltsiumkarbonaadirikas kude, mis võimaldab emasloomadel mune moodustada) leiud on aidanud määratleda dinosauruse sugu. Medullaarset kudet on leitud nii sisalvaagnaliste (Saurischia: *Allosaurus*, *Tyrannosaurus*) kui ka lindvaagnaliste

(Ornithischia: *Tenontosaurus*) dinosauruste jäänustel, seega võib arvata, et ilmselt tootsid seda kõik dinosaurused ning see meetod on kasutatav kõigi dinosauruseleidude soo määramisel (Lee ja Werning 2008; Varricchio jt. 2008).

Ihnoloogia (teadusharu, mis uurib eelajalooliste olendite elutegevuse kivistunud jälgi) võimaldab leida vastuseid küsimustele anatoomia, kehahoiu, käitumise ja sotsiaalse struktuuri kohta, mida on loomade kehafossiilide põhjal väga raske või lausa võimatu kindlaks teha (Lockley 1997, 2011; Milner jt. 2009). Sellised uurimused on andnud teadlastele palju uut infot ja kinnitanud juba olemasolevaid teadmisi pesaehituse (näiteks Vila jt. 2010), järglaste eest hoolitsemise ja eluviisi kohta. Ihnoloogia meetoditega saab täpsemalt hinnata ka loomade kiirust, kaalu (Alexander 1976, 1991; Thulborn 1981, 1990) ja jahipidamisstrateegiaid. Kombineerituna biomehaanika (nt. Sellers ja Manning 2007), andmetöötuse ja fotogrammeetriaga saame jälgedest teha üha paremaid koopiaid ja analüüse, mis kõik aitavad üha enam avada eelnevalt viidatud paleoökoloogilisi aspekte (nt. Remondino jt. 2010). Ihnoloogiliste uurimuste tulemusel avastatud sotsiaalsed struktuurid ja käitumismustrid on saanud kinnitust tänu haruharvadele, erakordsete kehafossiilide massleitududele, näiteks *Iguanodon berissartensis*'e „massihauale“ (Martin ja Bultynck 1990), või dinosauruste võitlusplatside (näiteks *Velaciraptor*'i ja *Protoceratops*'i fossiilid Mongoolias) leidudele (Kielan-Jaworowska ja Barsbold 1972). Kõik need avastused annavad meile piisava aluse väita, et sisaljalgsetel (Sauropoda), loomjalgsetel (Theropoda), sarviksauruslastel (Ceratopsia) ja nokissauruslastel (Hadrosauria) oli välja arenenud keerukas sotsiaalne käitumine (Fastowsky ja Smith 2004).

Dinosauruste füsioloogia täpsemal uurimisel on fundamentaalse tähtsusega **luude histoloogia** (Chinsamy-Turan 2005). Need uuringud on suure tähtsusega dinosauruste kasvukiiruse määramisel ja võimaliku püsisoojastete organismidele iseloomuliku ainevahetuse tõestamisel. Uuringute tulemused näitavad üldiselt, et dinosauruste luud koosnesid peamiselt fibro-lamellaarsest ja nn. haversiaalsest luukoest (luukude, kus veresoontest ümbritsetud Haversi kanalid läbivad kogu luud; iseloomulik imetajatele), mis sarnaneb pigem „kiirekasvulistele“ ja „soojaverelistele“ imetajatele kui lamellaar-tsonaalset tüüpi kasvuga tänapäevastele roomajatele.

Sisaljalgsete (Sauropoda) hiiglasliku kasvu põhjuste seletamisel on olnud määrava tähtsusega nende luudes laialt levinud „õhupaunade“ avastamine (nt. Sander jt. 2011); samuti oli see leid oluline loomjalgsete (Theropoda) lindudeks evolutsioneerumise uuringute juures. *Aerosteon riocoloradensis*'e fossiilsete luude kompuutertomograafiauuring (KT-uuring; ingl. k. *CT scan*) tuvastas looma kehaõõnes õhupaunade olemasolu,

mis on praegusel hetkel parim näide linnule omase hingamissüsteemiga dinosaurusest (Serenio jt. 2008).

Viimaste uuringute kohaselt kasutasid dinosaurused kommunikatsioonil eelkõige nägemismeelt. Neil olid tihti väga erilise välimusega (ja ilmselt ka kirevad) sarved, kuklaplaadid, harjad, purjelaadsed moodustised ja suled (vt. Hopson 1975). Lisaks, arvestades ka asjaolu, et paljudel dinosaurustel oli hästiarenenud kuulmisaparaat, on võimalik, et paljud neist kasutasid alternatiivseid mittevokaalse heli tekitamise viise (Senter 2008).

Lindudele omane klavikulaarsete õhukottide ja süürinksiga (organ hääle tekitamiseks) hääle tekitamise süsteem on dinosauruste seas teada vaid varastel lindudel (Enantiornithes). Ainsaks erandiks võib lugeda *Aerosteon*'i, kellel arenes lindude hääleorganitest eristuv klavikulaarsetest õhukottidest süsteem. Sellest järeldub, et kõigil dinosaurustel ei arenenud lindudele omast hääleaparaati. Lindjalgsitel (Ornithopoda) *Lambeosaurus*'tel on avastatud võimalik teistsugune hääle tekitamise süsteem „kõlakojana“ käituva õõnsa harja (*crest*) näol. Seda struktuuri on uuritud kompuutermodeleerimise (Diegert ja Williamson 1998; *Parasauropodus*'e fossiiliga) ja KT-skaneerimisega (Evans jt. 2009). Koljusisese anatoomia KT-uuringu tulemused on lubanud teadlastel püstitada huvitavaid hüpoteese *Lambeosaurus*'te haistmis- ja kuulmisaparaatide võimekuse kohta ning kuna neil dinosaurustel oli suhteliselt suurem aju (seotud harjaga), siis on eeldatud ka teatud erinevusi sotsiaalses käitumises. Samamoodi on KT abil uuritud ka loomjalgseid (Theropoda), sisaljalgseid (Sauropoda), *Anchilosaurus*'eid ja pakspeasauruslasi (Pachycephalosauria), mille tulemusel on püstitatud hüpoteese nende käitumise, eriti aga haistmis-, kuulmis- ja häälitsemisvõimete, samuti kolju anatoomia ja biomehaanika kohta (nt. Evans jt. 2009, Knoll jt. 2011, Snively ja Theodor 2011, Witmer ja Ridgely 2008, Young jt. 2012, Zelenitsky jt. 2011). Joonisel 2 (LISA) on välja toodud mõningad näited nende meetodite kasutamisest.

Fossiilsete väljaheidete ehk koproliidide uuringud annavad eelkõige aimu dinosauruste söömisharjumustest (nt. Chin 2007; Prasad jt. 2005; Thulborn 1991), kuid nende abil on saadud ka ebatavalisemat informatsiooni. Nii näiteks on Belgiast pärit koproliidide uurides leitud, et Vara-Kriidi vanusega *Iguanodon*'il olid kõhuparasiidid (Poinar ja Boucot 2006) ja et titaansauruslaste (Titanosauridae) seedesüsteemis puudus seedeferment (Ghosha jt. 2003; vaata ka Wings ja Sander 2007). Viimane avastus sobib hästi kokku gastroliidide esinemisega paljude sisaljalgsete (Sauropoda) ja ka mõningate teiste dinosauruste leiukohtades (Sanders jt. 2001) (**gastroliidid** on seedekulglas hoitavad kivid, mis on abiks toidu seedimisel (vaata Wings 2007)).

Lisaks koproliitide uurimisele annab dinosauruste **söömisharjumuste** kohta infot ka nende hambumuse ja teiste anatoomiliste eripärade võrdlemine (Fastowsky ja Smith 2004). Palju abi on erakordsetest dinosauruseleidudest, millel on mingil määral säilinud ka pehmed koed (nt. Tweet jt. 2008; Dal Sasso ja Maganuco 2011)

Hiljutised avastused: pehmed koed, suled, värvid ja lennuvõime areng

Suureks abiks lennuvõime tekke ja dinosaurustest lindudeks arenemise uurimisel on **Jeholi elustiku** haruldased sulgedega dinosaurused (ja linnud). Need fossiilid on leitud Yixiani ja Jiufotangi kihistutest ning annavad ülevaate kõigist Kirde-Hiinas 133-120 miljonit aastat tagasi selles ökosüsteemis elanud organismidest. Jeholi ökosüsteem koosnes märgaladest ja järvedest, mida mõjutasid väga tugevasti perioodilised vulkaanilise tuha pursked. Sellised tingimused olid aluseks erakordse säilivusega leiukoha, nn. *Lagerstätte*, tekkele. Maismaaloomad ja taimed uhuti peale surma õrnalt järvedesse (või nad surid järves), seejärel matsid vulkaanilise tuha voolud nad kiiresti enda alla, tekitades anoksilise keskkonna ja takistades ümbertöötlevate organismide tegevust (Zhou Z. jt. 2003). Selle tulemusel on tekkinud palju väga hea säilivusega fossiile, mille hulka kuuluvad näiteks terviklikud skeletid, pehmete kudede jäänused, nahamuustrid, maosisaldised ning lehtede ja õite jäänustega oksaraod.

Kõik need leiud on aidanud täita paljusid lünki dinosauruste ja lindude vahelistes seostes, sulgede tekkeloos ning evolutsioonis. Arvatavasti arenesid suled soomustest, algselt termoregulatsiooni eesmärgil, osutudes hiljem vajalikuks ka õhus liuglemisel ning lõpuks, esimeste tõeliste lendajate, *maniraptorite* puhul, ka lendamisel ((Lingham-Soliar 2010; Prum ja Brush 2002, 2003); (LISA joonis 3)).

Jeholi dinosauruste suurepäraselt säilinud suled aitavad valgust heita seni lahendamatu tundunud saladusele: dinosauruste värvusele. Minevikus said teadlased teha vaid oletusi, tuginedes nende kühmulistele roomajatenahale sarnastele nahastruktuuridele või nende fülogeneetilisele sugulusele lindudega (pigem küll lendavate loomjalgssetega (Theropoda)). Viimasel ajal on aga leitud, et fossiilsed suled võivad mõnikord säilitada jälgi värvipigmentidest. *Anchiornis huxleyi* värvipigmentide tuvastamise ja kaardistamise tulemusel sündis esimene detailne dinosauruse sulestiku värvide ja mustrite rekonstruktsioon (Li jt. 2010). Suure tõenäosusega ei jää see viimaseks, arvestades Jeholi rikkalikku ja hästisäilinud faunat (vt. Zhang jt. 2010). Osalisi värviläike on leitud juba ka teistel dinosaurustel (nt. *Psittacosaurus*'el ja *Sinosauropteryx*'il (Lingham-Soliar 2011; Lingham-Soliar ja Plodowsky 2010)) ning nt. *Confuciusornis sanctus*'e

puhul on edukalt katsetatud uut meetodit, mis põhineb jälgmetallide kasutamisel eumelaniini pigmendi biomarkeritena (Wogelius jt. 2011).

Kuid see pole veel kõik. Lisaks kõigile neile uskumatutele suliste teropoodide leidudele tehti teisigi suuri avastusi. Esiteks lükkas *Psittacosaurus*'e harjasetaoliste struktuuride avastamine nn. protosulgede ehk eelsulgede tekke vanemasse lindjalgsete (Ornithopoda) gruppi (Mayr jt. 2002). Teiseks viis kattedkoe kiudjate struktuuride avastamine primitiivsel erihammassauruslasel (Heterodontidae) *Tianyulong*'il (Zheng jt. 2009) hüpoteesi püstitamiseni, et sulgede või ogalaadsete eelsulgede esinemine võis olla palju levinum kui varemalt arvati (Lingham-Soliar 2010; Witmer 2009). Jeholist avastatud *Psittacosaurus*'e kiudjate nahastruktuuride uurimine on andnud detailset infot soomusmustrist ja värvi ning värvipigmentide diageneesi kohta. Arvestades, et selliseid struktuure on leitud ka üksikute teiste sulgede või kattedkoe jäänustega dinosauruste fossiilidelt, võib lähitulevikus oodata põnevaid avastusi veelgi.

Hiinast leitud sulgedega dinosaurused pole aga ainsad erakordsed leiud. Eelmise sajandi algusest teatakse tänu perekond Sternbergide tööle väga haruldasi pehmete kudede jäänustega (tihti jäljenditena) dinosaurusi (vt. Czerkas 1997). Nemat avastasid 1908. aastal Luskist (Wyoming, USA) esimesed dinosauruste muumiad, mis kuulusid liiki *Edmontosaurus annectens* (Osborn 1912). Hiljuti leiti veel mõned suurepärased nokissauruslase (Hadrosauria) eksemplarid. Aastatel 1994–2008 kaevati Montanast Judithi jõe kihistust välja hulk hästi säilinud *Brachylophosaurus*'te eksemplare, mille seas üks, kellel tundus olevat säilinud ka süda, sai hüüdnimeks „Leonardo“. See on hetkel kõige paremini säilinud dinosaurus, kes on kunagi leitud ning kelle skeletile pole ilmselt terves paleontoloogia ajaloos võrdset (Murphy jt. 2006).

Siiski pole siseorganite säilivuse poolest teist ligilähedaseltki nii head dinosauruse või mõne muu Kriidi-eelse looma leidu kui *Scipionix samniticus*. Kui esimesed teated temast kulmineerusid ülevaateartiklina mainekas ajakirjas *Nature* (Dal Sasso ja Signore 1998), oli selge, et kunagi varem ei oldud dinosauruse puhul nähtud pehmete kudede nii head säilivust. Mõned aastad hiljem Hiinast leitud sulgedega dinosaurused ja linnud oleksid ilmselt selle leiu sära tuhmistanud, kui viimased ülitäpsed uuringud selle pisikesse *Coelurosaurus*'e kohta poleks paleontoloogiamaaailma jätkuvalt šokeerinud (Dal Sasso ja Maganuco 2011). Eksemplari säilivuse ja fossiilsete jäänuste uuringutel kasutatavad uusimad meetodid ja tehnika (ultravioletvalguses (UV) tehtav fotograafia, kompuutertomograafia (KT) ja skaneeriv elektronmikroskoopia (SEM) koos elementide mikroanalüüsi võimalusega) võimaldasid seda dinosaurust korralikult lahata. Teadlased suutsid kirjeldada verd, veresooni, kõhrkudet, sidekudesid, lihaskudet, sarve kattedkudet ning hingamis- ja seedesüsteemi;

seejuures oli lihaskiudude ja veresoonte struktuur säilinud mikroskoopilisel tasemel! Need uuringud on andnud infot looma elukoha, söömisharjumuste, füsioloogia, metabolismi, hingamise ja kasvu kohta (LISA fototahvel 1).

Väga arglikult ja suurte küsimärkide all on hakanud ilmuma esimesi teateid orgaanilise materjali eraldamisest dinosauruste fossiilsetest jäänustest. Kasutades tavaliselt bioloogide tööpõllule jäävat meetodit – demineralisatsiooni – suutsid teadlased dinosauruste luudest eraldada pehmeid kudesid, mis olid säilinud raku tasemel (veresooned ja sidekude) ja valke (Schweitzer jt. 1997, 2005). Veelgi enam, esimesed katsed eraldada DNA-d on osaliselt peaaegu õnnestunud (Wang jt. 1997). Kuigi oleme veel väga kaugel reaalsest, elavast Juura ajastu pargist, ei tundu see idee enam sugugi nii võimatu olevat...

Järeldusena võib öelda, et dinosaurusi, või vähemalt enamikku neist, iseloomustas kiire ainevahetus, seltsinguline eluviis alustades ühise järglaste eest hoolitsemisega ja lõpetades ühisrindega röövloomade vastu (taimtoidulistel) või grupiviisilise jahipidamisega (lihatoidulistel), ning et linnud on arenenud loomjalgsetest (Theropoda).

Aga kes dinosaurused ikkagi olid? Päritolu ja areng

Dinosaurused arenesid ühest ürgsisalike (Archosauria) grupist paljude anatoomiliste muutuste kaudu (täpsem kirjeldus Nesbitt 2011). Nende seas oleks juba ainuüksi uue liikumisviisi areng, mille puhul jalad asetsevad selgroo suhtes täisnurga all ja paiknesid otse keha all, võinud olla piisav nende ülemvõimu saavutamiseks. Siiski arenes ka osadel teistel ürgsisalikel (Archosauria) välja sarnane liikumisviis. Oluline osa dinosauruste arengus oli ka kahekaarelise kolju tekkel ning hammaste paigutumisel hambasompdesse alveolaarses luus (kuigi ka need kaks omadust ei olnud iseloomulikud ainuüksi dinosaurustele).

Vanim tõeline dinosaurus, kellel on olemas kõik need tunnused, on Hilis-Kriidi vanusega (Karni iga, 230-220 Ma tagasi) Argentiinast Ischigualasto kihistust leitud fossiil. *Eoraptor* (Sereni jt. 1993) oli pisike (1 m), kerge loomake, kellel esinevad mitmed dinosaurustele omased tunnused koljlulus (tagalaubaluu puudub), jalgadel (reieluu on täiesti püstises asendis) ja hüppeliigeses (kontsluu asend on muutunud püstisemaks).

Dinosauruserühmade lahkne mine ei olnud väga kiire. Kuigi vaidlused selle ümber, kas nende levik toimus teiste loomadega elukoha pärast konkureerides ja peale jäädes või hõivates ökosüsteemi asustamata paiku, kestavad seniajani, kaldub enamuse arvamus teise hüpoteesi suunas. Esimesed dinosaurused moodustasid omaaegselt loomastikust väga väikese osa. Esimene suurem hargne mine toimus Nori eal peale Karni

väljasuremissündmust, mille käigus kadusid kõik suuremad taimtoiduliste rühmad (kakskoerhambulised (Dicynodontia), taimtoidulised koerhambulised (Cynodontia) ja kärsaksauruslased (Rhynchosauria). Selle hargnemise käigus tekkisid loomjalgsed (Theropoda) ja sisaljalgselaadsed (Sauropodomorpha), lindvaagnaliste (Ornithischia) levik toimus aga alles pärast Triiase-Juura väljasuremissündmust, mil kadusid nende konkurendid (Benton 2004; Sereno 1999).

Tänaseks on kirjeldatud üle 500 dinosaurusperekonna ja rohkem kui 1000 liiki, osaliselt ka tänu kladistikale (teadusharu, mis võimaldab arvutite abil klassifitseerida ka fossiilide fragmente). Dinosaurused on nende vaagnaluu ehituse põhjal jagatud kahte suurde rühma (nt. Weishampel jt. 2004): lindvaagnalised (Ornithischia) ja sisalvaagnalised (Saurischia) (LISA fototahvlil 2 on toodud dinosauruste lihtsustatud filogeneesipuu).

Selts **Saurischia** (sisalvaagnalised) koosneb peamiselt kõiki röövtoidulisi dinosaurusi hõlmavast rühmast Theropoda (loomjalgsed) ja „pikakaelaliste“ taimtoiduliste dinosauruste rühmast Sauropodomorpha (sisaljalgselaadsed).

Theropoda (loomjalgsed) (illustreeritud LISA joonisel 4):

- ▲ Herrerasauridae: ühed varajasemad loomjalgsed (Theropoda), nende hulka kuuluvad ka Lõuna-Ameerika *Herrerasaurus* ja *Staurikosaurus*;
- Ceratosauria (sarviksauruslased): primitiivsed suurekasvulised loomjalgsed (Theropoda);
- Carnosauria (lihasauruslased): hõlmab suuri lihasauruslasi nagu Allosauridae, Megalosauridae, Caracarodontosauridae, Spinosauridae (kaasa arvatud *Spinosaurus*, iseloomuliku selgmise purjega), Baryonychidae (kaasa arvatud kalatoiduline *Baryonyx* (Charig ja Milner 1997));
- Segnosauria (pikaldsauruslased): hõlmab haruldasi taim- või segatoidulisi *Therizinosaurus*'i;
- Coelurosauria (õõnessabasauruslased): hõlmab paljusid väikese- ja keskmisekasvulisi loomjalgseid; sellest rühmast arenes välja ka kuulus *Tyrannosaurus rex*, samuti linnud.

Sauropoda (sisaljalgsed) (illustreeritud LISA joonisel 5): selle rühma dinosaurustele oli iseloomulik väga pikk selgroog (seetõttu oli neil ka väga pikk kael ja saba):

- ▲ Vanimad esindajad: näiteks *Saturnalia*;
- ▲ Plateosauridae (lamesauruslased): paljude nende sugukondade õitsenguaeg langeb Triiase lõppu ja Juura algusesse; tuntumad perekonnad on *Plateosaurus*, *Lufengosaurus* ja *Massospondylus*;

- ⤴ Sauropoda: hõlmab sugukondade Cetiosauridae (vaalsaurused) ja Camarasauridae (õõnessaurused) hulka kuuluvaid massiivseid vorme; saledamaid, sugukonda Diplodocidae kuuluvaid vorme; sugukonda Brachiosauridae (käsisauruslased) kuuluvaid vorme, kelle esijäsemete luud on pikemad kui tagajäsemete luud ja sugukonda Titanosauridae (titaansauruslased) kuuluvaid vorme, kes elasid kuni Kriidi-Paleogeeni piiri (varasema nimetusega K/T piir) väljasuremissündmuseni ja kelle hulka kuuluvad Argentinosaursed ja paljud „rüütatud“ vormid, nagu näiteks *Saltasaurus*;

Selts **Ornithischia** (lindvaagnalised) koosneb kõigest ülejäänud rohusööjate gruppidest, hõlmates alamseltse Thyreophora (kilpsauruselised), Marginocephalia (äärispealised) ja Ornithopoda (lindjalgsed) ning lisaks mõndasid vanemaid vorme, näiteks *Pisanosaurus* ja sugukondadesse Fabrosauridae (fabrosauruslased) ja Lesothosauridae (lesotosauruslased) kuuluvad loomad (vt. Ornithischia mitmekesisuse ülevaadet LISast fototahvlitel 3 ja 4).

Alamseltsi Ornithopoda (lindjalgsed) kuuluvad dinosaurused olid koos harjaga dinosaurustega (alamsugukond Lambeosaurinae: lambeosaursused) paljudes Kriidi ajastu ökosüsteemides valdavad taimtoidulised.

Marginocephalia (äärispealised) hõlmab:

- ⤴ Pachycephalosauria (pakspeasauruslased), kes olid väga kummalised kahel jalal liikuvad paksenenud nn. „soomustatud“ koljuga dinosaurused (*Pachycephalosaurus*, *Stygmoloch* ja hiljuti avastatud *Dracorex*), teadlaste arvates kasutati paksendit võimuvõitluses nagu seda teevad tänapäeval elavad muskusveised;
- ⤴ Ceratopsia (sarviksauruslased), neljal jalal liikuvad nokaga dinosaurused, kelle hulka kuuluvad kõige kummalisema välimusega isendid sarvede ja ülemäära suurte kolju tagaosas paiknevate kaelustega;

Thyreophora (kilpsauruslased) kelle hulka kuuluvad:

- ⤴ kõige esimesed „rüütatud“ *Scutellosaurus*'ed ja *Scelidosaurus*'ed.
- ⤴ Stegosauria (katissauruslased), kuulsate seljaplaatidega *Stegosaurus*'te ja teiste kummaliste vormidega sauruslaste hulka kuuluvad näiteks Hiinast leitud *Huayangosaurus* ja Tansaania leitud ogaline *Kentrosaurus*;
- ⤴ Ankylosauria (soomuksauruslased), hõlmab enamikku suurte selga katvate nahaplaatidega ja mõnel juhul saba otsas asuvate suurte luustunud ogadega dinosaurusi.

Dinosauruste väljasuremine

On üldteada, et Kriidi ajastu lõpus (umbes 65,5 miljonit aastat tagasi) toimunud suur väljasuremissündmus mõjus dinosaurustele hukatuslikult. Kriidi-Paleogeeni väljasuremissündmus on üks viiest suurimast väljasuremisest Maa ajaloos ning ilmselt ka kõige paremini uuritud, kuna selle käigus lõppes ka dinosauruste evolutsiooniline ajalugu. Siiski on see väljasuremissündmus neist viiest kõige leebema mõjuga, põhjustades umbes 50% liikide ja 20% perekondade kadumise (Sepkoski 1993).

See sündmus mõjutas paljusid organisme nii maal, meres kui õhus. Peale lennuvõimetute dinosauruste surid täielikult välja ka suured lendavad dinosaurused (pterosaurused) ja merelised roomajad (mosasaurused ja plesiosaurused). Suuri kaotusi tervete sugukondade kadumise ja/või fauna muutumise näol on tuvastatud enamiku merelise mikrofauna ja makrofauna (ammoniidid), aga ka imetajate ja lindude juures. Kriisist suutsid suuremate kaotusteta välja tulla väga vähesed loomarühmad, näiteks kõhr- ja luukalad, putukad ja mõned roomajarühmad.

Üldiselt arvatakse, et väljasuremiselaine põhjustas toiduahela aluseks olevate taimede ja fütoplanktoni järsk vähenemine, mis viis toiduahela tasakaalust välja ning mis omakorda põhjustas paljude taimtoiduliste loomade ja seejärel ka röövloomade kadumise. Selline olukord oli eriti ebasobiv suurtele loomadele. Selle kohta, miks toimusid nii suured muutused taimestikis, on aga mitmeid teooriaid välja mõeldud, mõned neist on täiesti ebatõenäolised, paljud teised valed, kuid siiski kasulikud diskussiooni tekitamisel. Väga vähesed neist on peale väga tihedat sõelumist püsima jäänud ja neid võib kokku võtta alljärgnevalt (vt. Archibald ja Fastovsky 2004).

1) Impaktiteooria: kuulsaim Kriidi-Paleogeeni väljasuremiselaine teooria on seotud impaktsündmusega. See teooria pakuti välja, kui Itaaliast Kriidi-Paleogeeni piirikihtidest leiti umbes 65,5 miljonit aasta vanusega iriidiumist tugevasti rikastunud kiht (Alvarez jt. 1980). Maal leidub seda elementi väga vähe, asteroididel on seda aga rikkalikult. Hiljem leiti sarnaseid iriidiumiga rikastunud kihte paljudest paikadest kogu Maal. Üsna hiljuti avastati Yucatani poolsaarel Mehhikos ka tõenäoline impaktkraater (Alvarez 1997). Selle teooria järgi algatas sündmusteahela impaktsündmus, mis tõi kaasa väljasuremise tänu kuumalainele ja hiigeltsunamile. Edasi muutus väljasuremiselaine juba globaalseks ülemaailmse kliimajahenemise tõttu, mille põhjustas päikesekiirguse vähenemine Maal impaktkraatrist väljapaiskunud materjali tõttu. See põhjustas maismaalise ja merelise floora tugeva vähenemise, mis omakorda tõi kaasa

toiduahelate lagunemise. Kuna selliseid kraatreid on leitud veel, on välja pakutud ka mitme impakti hüpotees, kuid siiani pole nende sünkroonsuses kokkuleppele jõutud.

2)**Vulkanism:** praegustelt India ja Pakistani aladelt on leitud väga ulatuslikke basaldivoolusid. On pakutud välja teooria, mille kohaselt vulkanismi käigus atmosfääri paiskunud osakesed võisid viia globaalse jahenemiseni (vt. Courtillot 1990, 1996) ja toiduahela alguses olevate fotosünteesivate organismide drastilise vähenemiseni.

3)**Meretaseme langus:** Peamiselt Põhja-Ameerikast on leitud tõendeid Kriidi lõpul toimunud ulatuslikust meretaseme langusest, mis teoreetiliselt oleks võinud viia ökosüsteemide lagunemise ja ökoloogiliste barjääride tekkimiseni. Sellised sündmused oleksid mõjutanud peamiselt suurekasvulisi loomi.

4)**Kombineeritud sündmused:** viimase 20 aasta jooksul on üha rohkem hakatud tunnustama ideed, et väljasuremine toimus mitme faktori koosmõjul. Seda toetavad kaks tugevat põhjust. Esiteks, kõik eelmainitud sündmused ilmselt ei suudaks üksi põhjustada ülemaailmset väljasuremislainet. Teiseks on fossiilsete leidude kohatine esinemine Kriidi-Paleogeeni piirikihtides paremini seletatav mitmete sündmuste koosmõjuna (Archibald 1996, Archibald ja Fastovsky 2004).

Lõpetuseks, peame meeles pidama, et kuigi Kriidi-Paleogeeni väljasuremine mõjutas väga tugevasti Kriidi lõpus elanud dinosauruselike, pole need olendid kaugeltki mitte välja surnud, arvestades asjaolu, et lindude mitmekesisus on täiesti võrreldav imetajate arvukusega.

Tänuõnad

Ma olen väga tänulik toimetajatele Liisa Langile, Karin Truuverile ning Reet Nemliherile ja Liina Laumetsale, kes andsid mulle võimaluse kirjutada artikkel oma lemmikteemal. Dinosaurused on minu uurimistöö teemast väga kaugel, aga nad on tegelik põhjus, miks ma otsustasin hakata paleontoloogiks.

Lisaks avaldan siirast tänu kõigile teadlastele ja paleo-kunstnikele, kellelt sain enamuse selles artiklis kasutatud joonistest: Lawrence Witmer, Cristiano Dal Sasso, Thomas E. Williamson, Fabio Pastori, Nobu Tamura.

Pühendan selle artikli oma onu Angelo Saggiomo mälestusele, kes suri selle valmimise ajal. Raamatud dinosaurustest ja eelajaloolisest elust, mis ta mulle on kinkinud, on toitnud minu teadmishimu fossiilimaailma kohta.

Kasutatud kirjandus

- Alexander McNeill R. 1976. Estimates of speeds of dinosaurs. *Nature*, 261, 129–130.
- Alexander McNeill R. 1991. How Dinosaurs Ran. *Scientific American*, 264, 130-136
- Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. ja Michel H. 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208, 1095–1108.
- Alvarez, W. 1997. *T. rex and the Crater of Doom*. Princeton University Press, Princeton. 185 lk.
- Archibald 1996. Dinosaur Extinction and the End of an Era: What the Fossils Say. Columbia University Press. 237 lk.
- Archibald J.D ja Fastovsky D.E. 2004. Chapter 30. Dinosaur extinction. In: Weishampel D.B., Dodson P. ja Osmolska H. (toim.) 2004. *The Dinosauria* (2nd edn). Berkeley: University of California Press. 861 lk.
- Bakker R.T. 1968. *Hot-Blooded or Cold-Blooded??*. University of California Museum of Paleontology (www.ucmp.berkeley.edu/diapsids/metabolism.html).
- Bakker R.T. 1980. *Dinosaur heresy—dinosaur renaissance*. lk 351-462. kogumikus/rmt-s: R. D. K. Thomas, ja Olsen E.C. (toim) A Cold Look at the Warm-Blooded Dinosaurs. Westview Press, Boulder.
- Bakker R.T. 1986. *The Dinosaur Heresies*. William Morrow, New York. 481 lk.
- Benton M.J. 2004. *Vertebrate Paleontology*. Blackwell Publishers
- Buckland W. Rev. 1824. Notice on the *Megalosaurus* or great Fossil Lizard of Stonesfield. *Transactions of the Geological Society of London*, Series 2, 1, 390-396.
- Carpenter K. 1999. *Dinosaur Eggs, Nests, and Baby Dinosaurs*. Bloomington: Indiana University Press.
- Carpenter K., Hirsch K. ja Horner J. 1994. *Dinosaur Eggs and Babies*. Cambridge University Press.
- Charig A.J. ja Milner A.C. 1997. *Baryonyx walkeri*, a fish-eating dinosaur from the Wealden of Surrey. *Bulletin of the Natural History Museum of London*, 53, 11–70.
- Chiappe L.M. ja Dingus L. 2001. *Walking on eggs. The Astonishing Discovery of Thousands of Dinosaur Eggs in the Badlands of Patagonia*.
- Chiappe, L.M., Ji S. ja Ji Q. 2007. Juvenile Birds from the Early Cretaceous of China: Implications for Enantiornithine Ontogeny. *American Museum Novitates*, 3594: 46.
- Chin K. 2007. The paleobiological implications of herbivorous dinosaur coprolites from the Upper Cretaceous Two Medicine Formation of Montana: Why eat wood? *Palaios*, 22, 554–566.
- Chinsamy-Turan A. 2005. The Microstructure of Dinosaur Bone: Deciphering Biology with fine-scale techniques. 195 lk. The John Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Christian A. ja Dzemski G. 2011. Neck posture in Sauropods. Rmt-s Klein N., Remes K., Gee C.T. ja Sander P.M. (toim.) *Biology of the Sauropod Dinosaurs*:

- Understanding the Life of Giants*. Indiana University Press, Bloomington and Indianapolis, 251-261.
- Colbert E. H. 1984. *The Great Dinosaur Hunters and Their Discoveries*. Courier Dover Publications, lk 283.
- Courtillot V.E. 1990. A volcanic eruption. *Scientific American*, 263(4), 85-92.
- Courtillot V.E., Jaeger J.-J., Yang Z., Feraud G. ja Hofmann C. 1996. The influence of continental flood basalts on mass extinctions: Where do we stand? Rmt-s G. Ryder G., Fastovsky D.E. ja Gartner S. (toim.). *The Cretaceous-Tertiary Event and Other Catastrophes*.
- Czerkas S.A. 1997. Skin. lk 669–675. Rmt: *Encyclopedia of dinosaurs*. Currie P.J ja Padian K. (toim.). Academic Press.
- Dal Sasso C. ja Maganuco S. 2011, *Scipionyx samniticus* (Theropoda: Compsognathidae) from the Lower Cretaceous of Italy — Osteology, ontogenetic assessment, phylogeny, soft tissue anatomy, taphonomy and palaeobiology. *Memorie della Società Italiana de Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano*, XXXVII(I), 1-281.
- Dal Sasso C. ja Signore M. 1998. Exceptional soft tissue preservation in a theropod dinosaur from Italy. *Nature*, 392, 383-387.
- Diegert C.F. ja Williamson T.E. 1998. A digital acoustic model of the lambeosaurine hadrosaur *Parasaurolophus tubicen*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18 (3, Suppl.), 38A.
- Dingus L., Chiappe L.M. ja Coria R. 2002. *Dinosaur Eggs Discover! Unscrambling the Clues*. University of California Press, Berkeley, California.
- Dong Z. 1992. *Dinosaurian Faunas of China*. China Ocean Press, Beijing. lk 188.
- Evans D.C., Ridgely R. ja Witmer L.M. 2009. Endocranial anatomy of lambeosaurine hadrosaurids (Dinosauria: Ornithischia): a sensorineural perspective on cranial crest function. *Anatomical Record* 292, 1315–1337.
- Fastovsky D.E. ja Smith J.B. 2004. Chapter 26. Dinosaur Paleocology. Rmt: Weishampel D.B., Dodson P. ja Osmolska H. (toim.) 2004. *The Dinosauria* (2.trükk). Berkeley: University of California Press. 861 lk.
- Ghosh P., Bhattacharyya S.K., Sahnig A, Kard R.K., Mohabeye D.M. ja Ambwanid K. 2003. Dinosaur coprolites from the Late Cretaceous (Maastrichtian) Lameta Formation of India: isotopic and other markers suggesting a C3 plant diet. *Cretaceous Research*, 24, 743–750.
- Herodotus ca. 430 B.C. *Histories*, 1, 67-68.
- Hopson J.A. 1975. The evolution of cranial display structures in hadrosaurian dinosaurs. *Paleobiology*, 1(1), 21–43.
- Horner J. 2000. Dinosaur reproduction and parenting. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 28, 19–45.
- Kielan-Jaworowska, Z. ja Barsbold R. 1972. Narrative of the Polish-Mongolian paleontological expeditions, 1967–1971. *Palaeontologica Polonica*, 27, 5-13.
- Knoll F.L., Witmer M., Ortega F., Ridgely R.C. ja Schwarz-Wings D. 2012. The braincase of the basal sauropod dinosaur *Spinophorosaurus* and 3D reconstructions of the cranial endocast and inner ear. *PLoS ONE*, 7(1), e30060.
- Lee A.H. ja Werning S. 2008. Sexual maturity in growing dinosaurs does not fit reptilian growth models. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (2), 582–587.

- Lhuys E. 1699. *Lithophylacii Britannici Ichnographia, sive lapidum aliorumque fossilium Britannicorum singulari figura insignium*. Gleditsch ja Weidmann (toim.). London.
- Li Q., Gao K.Q., Vinther J., Shawkey M.D., Clarke J.A., D'Alba L., Meng Q., Briggs D.E. ja Prum R.O. 2010. Plumage Color Patterns of an Extinct Dinosaur *Science*, 327(5971), 1369–1372.
- Lingham-Soliar T. 2010. Dinosaur protofeathers: pushing back the origin of feathers into the Middle Triassic? *Journal of Ornithology*, 151, 193–200.
- Lingham-Soliar T. 2011. The evolution of the feather: *Sinosauropteryx*, a colourful tail. *Journal of Ornithology*, 152(3), 567–577.
- Lingham-Soliar T. ja Plodowski G. 2010. The integument of *Psittacosaurus* from Liaoning Province, China: taphonomy, epidermal patterns and color of a ceratopsian dinosaur. *Naturwissenschaften*, 97, 479–486.
- Lingham-Soliar T., Feduccia A. ja Wang X. 2007. A new Chinese specimen indicates that 'protofeathers' in the early Cretaceous theropod dinosaur *Sinosauropteryx* are degraded collagen fibres. *Proceedings of Royal Society of London B*, 274, 1823–1829.
- Lloyd G.T., Davis K.E., Pisani D., Tarver J.E., Ruta M., Sakamoto M., Hone D.W., Jennings R. ja Benton M.J. 2008. Dinosaurs and the Cretaceous Terrestrial Revolution. *Proceedings of the Royal Society B*, 275(1650), 2483–2490.
- Lockley M.G. 1997. The paleoecological and paleoenvironmental utility of dinosaur tracks. kogumik/rmt-s Farlow, J.O. ja Brett-Surman, M.K. (toim.). *The Complete Dinosaur*. Indiana University Press, Bloomington. lk. 554–578.
- Lockley M.G. 2011. 4.1.11 Trackways - *Dinosaur Locomotion*. In? Palaeobiology II. Briggs D.E.G. ja Crowther P.R. (toim). Blackwell Publishing Ltd.
- Maier G. 2003. *African Dinosaurs Unearthed: The Tendaguru Expeditions* (Life of the Past). Indiana University Press.
- Mantell G.A. 1825. Notice on the *Iguanodon*, a newly discovered fossil reptile, from the sandstone of Tilgate Forest, in Sussex. *Phil. Transactions of the Geological Society of London*, 115, 179–186.
- Martin F. ja Bultynck P. 1990. The Iguanodons of Bernissart. *Publication de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles*.
- Mayor A. 2000. *The First Fossil Hunters: Paleontology in Greek and Roman Times*. Princeton University Press. lk 384.
- Mayr G., Peters D.S., Plodowski G. ja Vogel O. 2002. Bristle-like integumentary structures at the tail of the horned dinosaur *Psittacosaurus*. *Naturwissenschaften*, 89, 361–365.
- McKellar R.C., Chatterton B.D.E., Wolfe A.P. ja Currie P.J. 2011. A diverse assemblage of late Cretaceous dinosaur and bird feathers from Canadian amber. *Science*, 333, 1619–1622.
- Milner A.R.C., Harris J.D., Lockley M.G., Kirkland J.I. ja Matthews N.A. 2009. Bird-like anatomy, posture, and behavior revealed by an Early Jurassic theropod dinosaur resting trace. *PLoS ONE*, 4(3):e4591.
- Murphy N.L., Trexler D. ja Thompson M. 2006. "Leonardo," a mummified *Brachylophosaurus* from the Judith River Formation. Rmt: Carpenter, K (toim.). Horns and Beaks: Ceratopsian and Ornithopod Dinosaurs. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press. lk 117–133.

- Nesbitt S.J. 2011. The early evolution of archosaurs: relationships and the origin of major clades. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 352: 1–292.
- Norell M.A., Clark J.M., Dashzeveg D., Barsbold R., Chiappe L.M., Davidson A.R., McKenna M.C., Perle A. ja Novacek M.J. 1994. A theropod dinosaur embryo and the affinities of the Flaming Cliffs dinosaur eggs. *Science*, 266, 779–782.
- Ostrom J.H. 1969. Osteology of *Deinonychus antirrhopus*, an unusual theropod from the Lower Cretaceous of Montana. *Peabody Museum of Natural History Bulletin* 30, 1–165.
- Owen R. 1842. *Report on British Fossil Reptiles*. Part II. Report of the Eleventh Meeting of the British Association for the Advancement of Science; Held at Plymouth in July 1841. London: John Murray. 60–204.
- Pisani D., Yates A.M., Langer M. ja Benton M.J. 2002. A genus-level supertree of the Dinosauria. *Proceedings of the Royal Society of London - Series B*, 269, 915–921.
- Plot R. 1677. *Natural History of Oxfordshire*. Oxford, 1677. 349 lk.
- Poinar G.Jr. ja Boucot A.J. 2005. Evidence of intestinal parasites of dinosaurs. *Parasitology*, 133, 245–249.
- Prasad V., Strömberg C.A.E., Alimohammadian H. ja Sahni A. 2005. "Dinosaur coprolites and the early evolution of grasses and grazers". *Science* 310(5751), 1177–1180.
- Prum R.O. ja Brush A.H. 2002. The evolution and diversification of feathers. *The Quarterly Review of Biology*, 77, 261–295.
- Prum R.O. ja Brush A.H. 2003. Which came first, the feather of the bird? *Scientific American*, 288, 86–93.
- Reisz R.R., Scott D., Sues H-D., Evans D.C. ja Raath M.A. 2005. Embryos of an early Jurassic prosauropod dinosaur and their evolutionary significance. *Science*, 309, 761–764.
- Remondino F., Rizzi A., Girardi S., Petti F.M. ja Avanzini M. 2010. 3D Ichnology - recovering digital 3D models of dinosaur footprints. *The Photogrammetric Record*, 25(131), 266–282.
- Salgado L., Coria R.A. ja Chiappe L.M. 2005. Osteology of the sauropod embryos from the Upper Cretaceous of Patagonia. *Acta Palaeontologica Polonica*, 50(1), 79–92.
- Sander P.M. et al. 2011. Biology of the sauropod dinosaurs: the evolution of gigantism. *Biological Reviews*, 86, 117–155
- Sander P.M., Klein N., Stein K. ja Wings O. 2011. Sauropod bone histology and its implications for sauropod biology. 276–302. Klein, N. Remes, K. Gee C.T. ja Sander P.M. (toim.) *Biology of the Sauropod Dinosaurs: Understanding the Life of Giants*. Indiana University Press, Bloomington and Indianapolis.
- Sanders F., Manley K., Carpenter K. 2001. Gastroliths from the Lower Cretaceous sauropod *Cedarosaurus weiskopfae*. Tanke D. H. ja Carpenter K. (toim) rmt: *Mesozoic vertebrate life: new research inspired by the paleontology of Philip J. Currie*. 166–180. Indiana University Press.
- Schweitzer M.H., Wittmeyer J.L. ja Horner J.R. 2005. Soft-Tissue Vessels and Cellular Preservation in *Tyrannosaurus rex*. *Science*, 307(5717), 1952–1955.

- Schweitzer MH, Marshall M, Carron K, Bohle DS, Busse SC, Arnold EV, Barnard D, Horner J.R. ja Starkey J.R. 1997. Heme compounds in dinosaur trabecular bone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94 (12), 6291–6296.
- Senter P. 2008. Voices of the past: a review of Paleozoic and Mesozoic animal sounds. *Historical Biology*, 20(4), 255–287.
- Sepkoski J.J. Jr. 1993. Ten years in the library: New data confirm paleontological patterns. *Paleobiology*, 19, 43–51.
- Sereno P.C. 1999. The evolution of dinosaurs. *Science*, 284, 2137–2147.
- Sereno P.C., Forster C.A., Rogers R.R. ja Monetta A.M. 1993. Primitive dinosaur skeleton from Argentina and the early evolution of the Dinosauria. *Nature*, 361, 64–66.
- Sereno P.C., Martinez R.N., Wilson J.A., Varricchio D.J., Alcober O.A., Larsson H.C. ja Kemp T. 2008. Evidence for Avian Intrathoracic Air Sacs in a New Predatory Dinosaur from Argentina. *PLoS ONE*, 3(9), e3303.
- Snively E. ja Theodor J.M. 2011. Common Functional Correlates of Head-Strike Behavior in the Pachycephalosaur *Stegoceras validum* (Ornithischia, Dinosauria) and Combative Artiodactyls. *PLoS ONE*, 6(6), e21422.
- Taylor M.P., Wedel M.J. ja Naish D. 2009. Head and neck posture in sauropod dinosaurs inferred from extant animals. *Acta Palaeontologica Polonica*, 54(2), 213–220
- Thulborn R.A. 1981. Estimated speed of a giant bipedal dinosaur. *Nature*, 292, 273–274.
- Thulborn R.A. 1990. *Dinosaur Tracks*. Chapman ja Hall (toim), London. 410 lk.
- Thulborn R.A. 1991. Morphology, preservation and palaeobiological significance of dinosaur coprolites. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 83(4), 341–366.
- Tweet J.S., Chin K., Braman D.R. ja Murphy N.L. 2008. Probable gut contents within a specimen of *Brachylophosaurus Canadensis* (Dinosauria: Hadrosauridae) from the Upper Cretaceous Judith River Formation of Montana. *Palaios*, 23, 624–635.
- Varricchio D.J., Moore R.J., Erickson G.M., Norell M.A., Jackson F.D. ja Borkowski J.J. 2008. Avian paternal care had dinosaur origin. *Science* 322, 1826–1828.
- Vila B., Jackson F.D., Fortuny J., Sellés A.G. ja Galobart À. 2010. 3-D Modelling of Megaloolithid Clutches: Insights about Nest Construction and Dinosaur Behaviour. *PLoS ONE*, 5(5), e10362.
- Von Meyer H. 1861. *Archaeopteryx lithographica* (Vogel-Feder) und *Pterodactylus* von Solenhofen. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefakten-Kunde*, 1861, 678–679, joonis V.
- Wang H., Yan Z. ja Jin D. 1997. Reanalysis of published DNA sequence amplified from Cretaceous dinosaur egg fossil. *Molecular Biology and Evolution* 14(5), 589–591.
- Weishampel D.B., Dodson P. ja Osmolska H. (toim) 2004. *The Dinosauria. 2nd edn* Berkeley: University of California Press. 861 lk.
- Wilford J.N. 1985. *The Riddle of the Dinosaur*. Knopf Publishing.

- Wings O. 2007. A review of gastrolith function with implications for fossil vertebrates and a revised classification. *Acta Palaeontologica Polonica*, 52(1), 1–16.
- Wings O. ja Sander P.M. 2007. No gastric mill in sauropod dinosaurs: new evidence from analysis of gastrolith mass and function in ostriches. *Proceedings of the Royal Society B*, 274(1610), 635–40.
- Witmer L. M. 2009. Dinosaurs: Fuzzy origins for feathers. *Nature*, 458, 293–295.
- Witmer L.M. ja Ridgely R.C. 2008. The paranasal air sinuses of predatory and armored dinosaurs (Archosauria: Theropoda and Ankylosauria) and their contribution to cephalic architecture. *Anatomical Record*, 291, 1362–1388.
- Wogelius R.A., Manning P.L., Barden H.E., Edwards N.P., Webb S.M., Sellers W.I., Taylor K.G., Larson P.L., Dodson P., You H., Da-qing L. ja Bergmann U. 2011. Trace metals as biomarkers for eumelanin pigment in the fossil record. *Science*, 333, 1622–1626.
- Young M.T., Rayfield E.J., Holliday C.M., Witmer L.M., Button D.J., Upchurch P. ja Barrett P.M. 2012. Cranial biomechanics of *Diplodocus* (Dinosauria, Sauropoda): testing hypotheses of feeding behaviour in an extinct megaherbivore. *Naturwissenschaften*, 99, 637–643
- Zelenitsky, D. K., Therrien F., Ridgely R.C., McGee A.R. ja Witmer L.M. 2011. Evolution of olfaction in non-avian theropod dinosaurs and birds. *Proceedings of the Royal Society B*, 278, 3625–3634.
- Zhang F., Kearns S.L., P.J. Orr, M.J. Benton, Zhou Z, Johnson D., Xu X. ja Wang X. 2010. Fossilized melanosomes and the colour of Cretaceous dinosaurs and birds. *Nature*, 463, 1075–1078.
- Zheng X., You H., Xu X. ja Dong Z. 2009. An Early Cretaceous heterodontosaurid dinosaur with filamentous integumentary structures. *Nature*, 458 (7236), 333–336.
- Zhou Z., Barrett P.M. ja Hilton J. 2003. An exceptionally preserved Lower Cretaceous ecosystem. *Nature*, 421, 807–814.

Jooniste allkirjad

Joonis 1. Vana-Rooma mosaiigil kujutatud greif (umbes 310 A. D.) Piazza Armerinast (Sitsiilia, Itaalia). www.theoi.com

Joonis 2. Paleontoloogias kasutatavad uued tehnoloogiad. Kompuutermodelleerimine, biomehhaanika ja kompuutertomograafilise skaneerimise kasutamine aitab dinosauruste füsioloogiat ja käitumist paremini ja täpsemalt mõista. Siin on mõned näited:

A- Parasautolophus' e harja kompuutermodelleering, millega on näha mitut toru või õhukanalit, mis seda läbivad. Taustal on näha fossiilne hari. (Diegert ja Williamson 1998) (Randy Montoya foto): <http://www.sandia.gov/media/dinosaur.htm> , autoriõigused: T.E. Williamson ja Sandia National Laboratories). **B** – Juveniilse ja noore täiskasvanu *Corythosaurus*' e kompuutertomograafia abil loodud koljurekonstruktsioonid. Ninaõõs on märgitud rohelisega, aju lillaga. Harjas paiknev keerdunud ninaõõs töötas hääle tekitamisel kui resonanceeriv kamber. Pikaksvenitatud aju ja sisekõrva struktuur kinnitavad, et „pardinokaga“ dinosaurused olid ilmselt võimelised keeruliseks sotsiaalseks käitumiseks (vt. Evans jt. 2009). Skaala pikkus on 20 cm. Witmeri ja Ridgely lahkel loal (<http://www.oucom.ohiou.edu/dbms-witmer/lab.htm>)

C – Kompuutertomograafia, segmenteerimise ja sellele järgnenud 3D visualiseerimise abil loodud *Euoplocephalus tutus*' e kolju rekonstruktsioon ninakõrvalkoobaste ja teiste kefaalsete (pea-) osadega. Ninaõõnes on näha nasaalset õhuteed (nool). Vasakpoolne nokmine dorsolateraalne (*rostradorsolateral*) vaade. Skaala pikkus 5,5 cm. Uuringutulemused näitavad, et ankülosauriidi ninaõõne eri osadel võis olla mitu funktsiooni: soojuse ja vedeliku tasakaal, vokaliseerimine ja haistmine (vt. Witmer ja Ridge 2008 ning Miyashita jt. 2011). Witmeri ja Ridgely lahkel loal (<http://www.oucom.ohiou.edu/dbms-witmer/lab.htm>).

D – Kompuutertomograafia ristlõiked *Stegoceras validum*' i koljust eesmisest kaldvaates. Tihe kompaktnen luu ümbritseb oletatavaid veresoonte teid, moodustades tundeid, mis jooksevad kolju ülaosa pinnale; kolme sellist on näha joonistel D ja E. Need struktuurid meenutavad sõraliste aju siinuste vaheseinu.

Joonis 3. Lendamise teke: Fabio Pastori joonistus. Vaagna ja käsivarreluu tõestatud evolutsioonilised muutused

Joonis 4. Theropoda liigirikkus: Fabio Pastori joonistus. Skaala pikkus on umbes 1 m.

Joonis 5. Sauropodomorpha liigirikkus: Fabio Pastori joonistus (NB! Sauropoodide kaela asend on praegu veel täpselt kindlaks määramata. Vt. detailsemalt Christian ja Dzemski 2011 ja Taylor jt. 2009).

Fototahvel 1. *Scipionyx samniticus* (Theropoda, Compsognathida) Pietraraja Plattenalki Alam-Kriidist (Pietraraja, Benevento, Itaalia).

A – pehmete kudede ülevaatlilik tabel;

B – reie tagaosas selgmise lihaskimbu isoleeritud lihaskiu SEM pilt

C – fosfatiseerunud kapillaari mõõtu veresoon pärasoole mikroproovis;

D - *Scipionyx samniticus* jälitamas *Eichstaettisaurus*' t, kunstniku nägemus Davide Bonadonnalt (veidi lõigatud);

E – holotüüp, skaala pikkus 2 cm;

F – ultraviolett-fluorestsents foto. Luud on pruuni värvi, pehmed koed fluorestseeruvad valkjaskuldsest kuni indigosinise värvuseni

G – kaksteistsõrmiksoole looke lähivaade, kus on näha limaskesta *plicae circulares* (rõngaskurrud). Skaala pikkus 2 mm

Legend: ab – A kiht; aduo – kaksteistsõrmiksoole tõusev looge; apa – apatiidi mikrokristallid; ba – bakterid; bv – veresoone; bvb – veresoone haru; dduo – kaksteistsõrmiksoole langev looge; ga – kõhuroidid; Ib – I kiht; lu – luumen; plci - *plicae circulares* (rõngaskurrud); mes – peensooleühendus; sar – sarkomeer (lihaskiukese struktuurne ja funktsionaalne osa [tõlkija märkus: Aul 1978]).

Kõik pildid on teinud Dal Sasso ja Maganuco 2012, siin kasutatud esimese autori loal.

Fototahvel 2. Ajaliselt kalibreeritud lihtsustatud klaadi Dinosauria fülogenees (Sereni 1999 põhjal, Lloyd jt. 2008, Pisani jt. 2002 järgi).

Fototahvel 3. Ornithischia liigirikkus 1: Marginocephalia, *Scelidosaurus* ja Ankylosauridae. Pilt põhineb enamjaolt Nobu Tamura joonistustel. Skaala pikkus on umbes 1 m.

Fototahvel 4. Ornithischia liigirikkus 2: Stegosauria, *Pisanosaurus*, Hypsilophodontidae, Iguanodontidae ja Hadrosauridae. Pilt põhineb enamjaolt Nobu Tamura joonistustel. Skaala pikkus on umbes 1 m.

Giuseppe Buono (giuseppe.buono@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A, 50411 Tartu

Suur hapnikusündmus – anaeroobide valitsemisaja lõpp

Lauri Joosu

Atmosfääri hapnikusisaldus on tänapäeval ca 21% ning viimase 550 miljoni aasta jooksul on see püsinud suurte kõikumisteta. Sellise üpriski stabiilse sisalduse on tinginud tasakaal bioloogiliste ja geoloogiliste protsesside vahel. Eluslooduses on teada üle 1,7 miljoni eukarüoodi ehk päristuumse organismi liigi (www.currentresults.com), kuid neile lisanduvad veel prokarüoodid ehk eeltuumsed organismid (bakterid ja arhed). Prokarüootide liikideks jaotamine ei ole alati võimalik, kuid kindlasti on neid kordades rohkem kui eukarüoote. Liikide arv ei ole püsiv - pidevalt tekib juurde uusi ning sureb olemasolevaid välja. Esimeste sadade miljonite aastate jooksul, kui elu Maal arenes, ei elanud siin ühtegi päristuumset organismi, keskkonnatingimused oleksid neile hukatuslikud olnud. Esimesed kaused jäljed elust Maal pärinevad umbes 3.8 miljardi aasta (Ga) tagusest ajast. Siis valitsenud keskkonnatingimused olid aga tänapäevastest väga erinevad. Atmosfääris puudus vaba hapnik, temperatuurid olid tõenäoliselt mõnevõrra kõrgemad, maismaa puudus täielikult või oli seda minimaalselt. Maal elasid vaid prokarüoodid, kes olid kohastunud eluks anaeroobsetes ehk hapnikuvabades tingimustes. 2,45–2,32 Ga tagasi toimus suur hapnikusündmus (inglise keeles *Great Oxygenation Event*), mille käigus tõusis hapniku tase atmosfääris 0,1%-ni tänapäevasest tasemest (Bekker jt. 2004). Antud kogus hapnikku oli piisav, et saada hukatuslikuks suurele osale seni elanud anaeroobidele, kuid samas anda võimalus eluks uutele organismidele.

Keegi ei tea, millised olid päris esimesed organismid ning meile teadaolev info elusorganismidest Eelkambriumis (4,6–0,542 Ga) on lünklik. Selle põhjuseks on vähene säilinud kivimimaterjal, kust võiks leida kunagise elutegevuse jälgi. Isegi neid leides tekib tavaliselt rida probleeme mõõtmistulemuste interpretatsioonil, sest elutegevusele sarnaseid signaale võivad anda ka mõned spetsiifilised abiootilised protsessid. Vanimad fossiilid on dateeritud 3,5-3,3 Ga vanusteks, samas kahtlevad mitmed teadlased, kas nende puhul on ikka tegemist kivistunud organismidega. Suure tõenäosusega võib väita, et Arhaikumis (4-2,5 Ga) elasid bakterid ja arhed, kuid ei saa välistada, et siis leidus ka meile tundmatuid eluvorme, mille sarnaseid analooge tänapäeval enam ei eksisteeri. Avastatud on hulganisti Arhaikumi vanusega stromatoliite, millest vanimad on 3,45 Ga vanused (Van Kranendonk jt. 2003) ja mis on säilinud lamineeritud ja kivistunud setteliste karbonaatsete sammastena. Tänapäevaste stromatoliitide näol on tegemist madalas vees „kasvavate“ sammastega, kus mikroobne matt seob endasse setteosakesi ning „kasvatab“ sammast kiht

kihilt kõrgemaks. Arvatakse, et sarnane olukord võis valitseda ka Arhaikumis, kus neid sambaid kasvatasid tsüanobakterid. Puudub aga täielik üksmeel, kas ka esimesi stromatoliite „kasvatasid“ tsüanobakterid või oli tegemist mittebioloogiliste protsessidega. Kindlamad tõendid tsüanobakterite poolt „kasvatatud“ stromatoliitidest pärinevad Arhaikumi lõpust. Nendest stromatoliitidest on leitud ka tsüanobakterite fossiile (Kazmierczak ja Altermann 2002).

Paljuski on veel selgusetu, kuidas varajase elu areng Maal toimus. Neoarhaikumi lõpu vanusega on leitud hästisäilinud kivimeid Belinwe rohekivimite vööndist Zimbabest (2,7 Ga). Sealsed geokeemilised mõõtmised viitavad keerukale mikroobsele kooslusele, kus elasid bakterid, kes redutseerisid merevees leiduva sulfaadi (SO_4^{2-}) sulfiidiks (S^{2-}) ning hiljem oksüdeeriti sulfiid jälle sulfaadiks. Seega olid esindatud nii väävli oksüdeerijad kui ka redutseerijad, mis tähendab, et Arhaikumi lõpus töötas bioloogiline väävliiringe. Lisaks on samadest kivimitest leitud tõendeid pinnalähedastest fotosünteesivatest bakteritest. Sügavamal, võimalik, et põhjasetetes, elasid metaanibakterid, kes lagundasid orgaanilist ainet ja tootsid metaani. Nendega koos elasid metanotroofid, kes kasutasid metaani süsiniku allikana (Grassineau jt. 2001; 2002).

Kuiigi eelnev mikroobse koosluse kirjeldus pärineb ühe asukoha andmetest, võib arvata, et Arhaikumi lõpuks vohas Maal elu ning bioloogilised protsessid suutsid mõjutada keskkonda globaalsel tasemel. Kuna atmosfääris ja ookeanis puudus vaba hapnik peaaegu täielikult (atmosfääris alla 10^{-5} % tänapäevasest tasemest), kasutasid organismid oma metaboolsetes radades oksüdeerijatena hapniku asemel teisi ühendeid.

Umbes 2,45 Ga tagasi hakkas hapniku sisaldus atmosfääris kiiresti tõusma, kuid selle põhjuseid ei ole täielikult mõistetud. Välja on pakutud erinevaid seletusi. Üheks võimalikuks põhjuseks peetakse järsult vähenenud vulkaanilist tegevust, mille käigus paiskub atmosfääri hapnikku siduvaid redutseeruvaid gaase. (Kump jt. 2001; Barley jt. 2005). Teise versiooni kohaselt toodeti fotosünteesi käigus hapnikku ning metaanibakterite poolt metaani. Atmosfääris oli kõrge metaani sisaldus ning hapniku olemasolul toimus fotokeemiline reaktsioon ($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}_2 + 4\text{H}\uparrow$), kus tekkinud vesinik eemaldus atmosfäärist maailmaruumi ning tekkis vaba hapniku saagis. Algselt kulus tekkinud hapnik maismaal olevate kivimite oksüdeerumiseks, kuid ühel hetkel hakkas seda üle jääma (Catling jt. 2001). Kolmas mudel pakub välja bioproduktiooni järsu suurenemise. Arvatakse, et Arhaikumis oli peamine bioproduktiooni limiteeriv tingimus fosfor, mis oli seotud vöödilistesse raua formatsioonidesse (BIF) ja erinevate rauaoksiidide koosseisu. 2,45 Ga tagasi olukord muutus, ookeanide sulfiidisisaldus tõusis järsult (sest maismaal oksüdeeriti väävliühendeid) ning raud sadestus välja püriidina.

Selline protsess vabastas varem seotud fosfori, mis soodustas primaarset bioproduktiooni (Bjerrum ja Cainfield 2002; 2004). Kokkuvõtvalt jagunevad teooriad kaheks: (1) enamus keskkonnast sai oksüdeeritud ning hapnikku hakkas üle jääma või (2) suurenes bioproduktioon ning hapnikku hakati rohkem tootma. Kindel on see, et kui varem jäi atmosfääris oleva hapniku sisaldus alla $10^{-5}\%$ tänapäevasest tasemest, siis suure hapnikusündmuse lõpuks (2,32 Ga) oli see tõusnud üle 0,1% tänasest tasemest (Bekker jt. 2004).

0,1% tänapäevasest tasemest tundub imevähe, aga ometi tõi see kaasa katastroofilised tagajärjed seni elanud organismidele. Hapnik on enamikule anaeroobidele mürk, sest tegemist on tugeva oksüdeerijaga. Selline hapnikusisalduse tõus aga tähendas, et elupaiku, millele nad olid kohastunud, jäi vähemaks ning konkurents suurenes. Anaeroobide valitsemiseaeg oli möödas. Varsti pärast suurt hapnikusündmust arenesid välja päristuumsed ja mitmerakulised organismid (Papineau 2010), kes suutsid uutes tingimustes paremini hakkama saada.

Kasutatud kirjandus

- Barley M., Bekker A. ja Krapez B. 2005. Late Archaean to early Proterozoic global tectonics, environmental change and the rise of atmospheric oxygen. *Earth Planet. Sci. Lett.* 238, 156–71.
- Bekker A., Holland H.D., Wang P.-L., Rumble D., Stein H.J., Hannah J.L., Coetzee L.L. ja Beukes N.J. 2004. Dating the rise of atmospheric oxygen. *Nature* 427, 117–20.
- Bjerrum C.J. ja Canfield D.E. 2002. Ocean productivity before about 1.9 Gyr ago limited by phosphorus adsorption onto iron oxides. *Nature* 417, 159–62.
- Bjerrum C.J. ja Canfield, D.E. 2004. New insights into the burial history of organic carbon on the early Earth. *Geochem. Geophys. Geosyst* 5.
- Catling D.C., Zahnle K.J. ja McKay C.P. 2001. Biogenic methane, hydrogen escape, and the irreversible oxidation of early Earth. *Science* 293, 839–43.
- Grassineau N.V., Nisbet E.G., Bickel M.J., Fowler C.M.R., Lowry D., Matthey D.P., Abell P. ja Martin A. 2001. Antiquity of the biological sulphur cycle: evidence from sulphur and carbon isotopes in 2700 million-year-old rocks of the Belingwe Belt, Zimbabwe. *Proc. Roy. Soc. Lond., B* 268, 113–19.
- Grassineau N.V., Nisbet E.G., Fowler C.M.R., Bickel M.J., Lowry D., Chapman H.J., Matthey D.P., Abell P., Yong J. ja Martin A. 2002. Stable isotopes in the Archaean Belingwe belt, Zimbabwe: evidence for a diverse microbial mat ecology. *Special Publ. Geol. Soc. Lond* Fowler C.M.R. Ebinger C.J. ja Hawkesworth C.J. (toim.) 199, 309–28.
- Kazmierczak J. ja Altermann W. 2002. Neoarchaean biomineralisation by benthic cyanobacteria. *Science* 298, 2351.
- Kump L.R., Kasting J.F. ja Barley M. 2001. Rise of atmospheric oxygen and the “upside-down” Archaean mantle. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2.

- Papineau D. 2010. Global Biogeochemical changes at the both end of Proterozoic: Insight to phosphorites. *Astrobiology* 10 (2), 165-181.
- Van Kranendonk M.J., Webb G.E. ja Kamber B.S. 2003. Geological and trace element evidence for a marine sedimentary environment of deposition and biogenicity of 3.45 Ga stromatolitic carbonates in the Pilbara Craton and support for a reducing Archaean ocean. *Geobiology* 1, 91–108.

<http://www.currentresults.com/Environment-Facts/Plants-Animals/number-species.php> (alla laetud 14.09.2012)

Lauri Joosu (lauri.joosu@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14A, 50411 Tartu.

Tšiili kaevandusvaring – 2010. aasta kaevandusõnnetus ja meediasündmus

Ingo Valgma, Vivika Väizene

San Jose kaevanduses Copiapós, Tšiilis kaevandati vasemaaki. Maagikeha asub 700 m sügavusel ning selleni viib spiraalne kaldkäik, mida nimetatakse rambiks. Mööda rampi sõidavad maasturid inimeste ja kaevanduskallurid kaevise vedamiseks, samuti laadurid. Rambi kaudu minnakse kaevandusse ja tullakse kaevandusest, seda kaudu veetakse kaervis välja ja kõik tööks vajalik alla. Ohutuse ja tuulutuse eesmärgil peab kaevanduses olema mitu väljapääsu. Nii nagu paljudes teistes, oli ka San Jose kaevanduses kulude kokkuhoiu eesmärgil vaid üks väljapääs.

Kuna San Jose kaevanduse rambi lagi ei olnud piisavalt toetatud, siis see varises ja ummistas rambi. Nii jäid kaevanduses töötanud kaevurid lõksu. Lae ebastabiilsuse tõttu hakkas see varingu puhastamise käigus veel rohkem varisema ja muutis ka päästjate töö ohtlikuks. Varingukoha korrastamine muutus võimatuks nii alt- kui ülaltpoolt.

Pärast varingu avastamist algasid päästetööd. Meediakanalid tekitasid õnnetusest suursündmuse, tänu millele tõttasid appi kõik kes tundsid lõksujäänutele kaasa ja nägid head võimalust ennast pildile sättida. Kaevurite leidmiseks ja nendeni pääsemiseks hakati puurauke puurima. Pärast korduvaid katseid leiti lõpuks kamber, kus kaevurid viibisid.

Esialgsetel otsimistöödel puuriti väikese läbimõõduga puurauke, mille puurimine käib kiiresti, kuna puurpuru on vähe ja jõud, mida puurimiseks vajatakse, on väike. Selle töö jaoks on olemas sobiv masin. Selliseid auke puuritakse mäenduses väga palju ja väga tihti, peamiselt lõhkamiseks, uuringuteks või pumpanamiseks.

Selleks, et inimesed 700 m sügavuselt maapinnale tuua, tuli puurida inimesest suurema läbimõõduga auk. Sellist auku nimetatakse šurfiks ehk antud juhul päästešurfiks, mis on oma olemuselt väikese läbimõõduga šaht, teisisõnu, suure läbimõõduga puurauk. Šurfi puurimine nõuab võrreldes puuraukude puurimiseks kasutatavate masinatega tunduvalt võimsamat tehnikat. Šurfe puuritakse suhteliselt vähe ja seetõttu ei ole nende puurimise tehnoloogiat niivõrd arendatud kui puuraukude oma.

Šurfi puurimiseks kasutatakse näritspuuri, mis surub kõvasulamist puurpea kivimisse, samal ajal seda pöörates. Puurpea küljes on nukid, mis muljuvad kivimi pulbriks. Tekkinud pulber ehk puurpuru pumbatakse pulbina maapinnale. Puurpea kuumenedes võib kõvasulam sulama hakata ja nukid puurpea küljest lahti tulla. Nii puuri pööramine kui surumine kivimisse nõuab jõudu. Võimsus, mida teisaldav puurmasin avaldada

suudab, on kuni 600 kW. Seega piirab puurimiskiirust puurnärtsa materjali kõvadus võrreldes puuritava kivimi kõvadusega, puurpea pöörlemiskiirus, millest on tingitud puuri ettenihkekiirus, pulbi väljapumpamise tootlikkus, šurfi seina tsementeerimise ehk betoneerimise tootlikkus, puuri kinnikiilumine või šurfi külgede varisemine, puurvarraste vahetamise kiirus ehk puuri august väljatõmbamise ja allalaskmise kiirus.

Meedias valitses õnnetuse toimumise ajal suur segadus. Kuna Tšiili riigikeel on hispaania keel ja info tõlgiti kõigepealt inglise ning seejärel eesti keelde, oli tulemuseks terminoloogiline segadus. Enne kui hakkasid ilmuma joonised ja skeemid toimuvast, polnud võimalik aru saada, kus kaevurid asuvad ja mida nende päästmiseks tehakse. Põhilised väited, mida Eesti meedia edastas, olid järgmised: „kaevurid on maa-aluses kaevanduses varjendis“, „nende päästmiseks puuritakse tunnelit ja kaevatakse puurauku“, „puurraugu puurimiseks kasutatakse *raise borerit*“, „puurmasin kaevab“, „kaevureid varitseb gaasiplahvatuse oht“, „esialgse šahti läbimõõt on 13 sentimeetrit“.

„Maa-aluse“ kaevanduse korral oleks olnud asi lihtne, sest see oleks pealt kaetud ja seega ilmselt madal, pigem 7m kui 700m sügavune allmaakaevandus. Ka "*varingukindel varjend*" oleks olnud hea lahendus, sest see oleks viidanud kaevanduse kõrgele ohutuse tasemele, mis oleks tähendanud ka korralikult toetatud rampe ja šurfe. Reaalsuses oli ilmselt tegu tavalise kambriga, mida kaevanduses kasutatakse näiteks masinate hooldamiseks. "*Tunneli puurimine*" tähendaks läbinduskilbiga horisontaalse käigu läbindamist, mis võtab aega kuid või aastaid ja antud juhul tähendaks stolli rajamist mäenõlvalt kaevandusse. Antud kohas sellist nõlva ei olnud. Ka jutt „*puurraugu kaevamisest*“ on arusaamatu, kuna puurauk on auk, mis on puuritud, kaevamine on aga kaevise raimamine ja väljamine puurimisest erineva tehnoloogiaga. Väite "*kaevureid varitseb sügaval gaasiplahvatuse oht*" analoog on võetud kivisöekaevandusest, kus kivisöest eraldub metaan, mis on kergesti plahvatav gaas. Maagikaevanduses plahvatavat gaasi ei ole. *Raise Boreri* (puurmasin suure diameetriga puuraukude puurimiseks, mille puurpea liikumissuund on alt üles; hõõrits e. otsetõlkes "*tõusev või tõusuohardi*") kasutamise väide on siiani selgusetu, kuna hõõritsa kasutamine eeldab, et suure läbimõõduga puurpea e. hõõrits asub kaevanduskäigus ja kinnitatakse puurvarda otsa, kui pilootpuurauk on ülalt alla käiguni puuritud. Seega saab seda masinat kasutada vaid kaeveõõnest ülespoole auku puurides nii, et puurpuru kukub alla. See muudab puurimise kiireks, kuna puurpuru pole vaja üles pumbata ja pole vaja puurida puru sees, mistõttu on puurimise takistus väike.

San Jose kaevanduses kasutati šurfi puurimiseks siiski näritspuurpink (drill rig) mis asus maa peal. Tegemine polnud ühelgi juhul ka šahtiga, vaid rambi, puurraugu ja šurfiga. Šurf on vertikaalne ehk püstkaeveõõs, mis

avaneb ülemisest otsast maapinnale. Šaht on aga nn. kapitaalkaeveõõs, mis on toetatud, varustatud tõstemasinatega ja on seega suure läbimõõduga. Üldjuhul šahte ja tunneleid läbindatakse, puurauke ja šurfe aga puuritakse. Mõningatel juhtudel suuremaid šurfe ka läbindatakse.

Puuritud šurfi paigutati päästekapsel või päästekong, mida kaevandusõnnetuste puhul ikka kasutatakse ja kaevurid tõmmati ükshaaval välja. Suurim oht, mis kapsliga tõmbamisel varitses, oli kapsli kinnikiilumine. Kui kivikild oleks surfi seinast ebasobivalt välja kukkunud, oleks kapsel võinud kinni kiiluda, tuues kaasa traagilised tagajärjed.

Mõni aeg pärast õnnetust pandi internetti üles temaatiline arvutimäng, mille abil iga soovija saab ise kaevureid kaevandusest päästa ning mis võimaldab saada parimaid selgitusi toimunud sündmuste kohta (LISA joonis 1).

Selle aasta maikuus toimunud üle-eestilise muuseumiöö raames oli võimalik Mäeinstituudi Mäemuuseumi külastajatel San Jose kaevanduses toimunut ise kogeda. Selleks oli valmis ehitatud liikuv makett, mis võimaldas igal soovijal ka ise kaevurite päästmisel „osaleda“. Esmalt anti taustinfot toimunud varingust, maa alla jäänud kaevurite seisukorrast ning tingimustest. Sündmuste järjestuse mõistmiseks olid välja toodud ajaskaalad koos skeemide ja kaeveõõnte paigutustega. Kaevanduse sügavusest parema ettekujutuse saamiseks oli toodud sügavuse võrdlus Eesti kõrgeima ehitisega.

Seejärel tuli osalejatel päästa Tšiili kaevur. Selleks saadeti mööda väiksema läbimõõduga puurauku kaevandusse väike pudel vett (LISA foto 1). Kui kaevur oli vee kätte saanud, oli ta valmis päästmiseks. Sügaval kaevanduses pandi kaevur päästešurfiga väiksema läbimõõduga kapslisse, seejärel võis päästja hakata tõstetorni ratast keerama, mis tõstis kapsli läbi šurfi maapinnale (LISA foto 2). Nii päästeti õhtu jooksul sadu kaevureid ning loodetavasti tekkis osalejatel parem arusaam sellest, kuidas päästmine tegelikult toimus.

Seekord läks kõik hästi, õnnetus San Jose kaevanduses lõppes kaevurite jaoks pääsemisega ning Tšiili kaevandusõnnetuse tulemusel sai suur osa inimkonnast teada, et maaki kaevandatakse kaevanduses.

Kasutatud kirjandus

Varingu infoleht <http://mi.ttu.ee/varing/> Mäeinstituut 2010

Muuseumiöö Mäemuuseumis <http://mi.ttu.ee/muuseumioo/> Mäeinstituut 2012

Ingo Valgma (ingo.valgma@ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Vivika Väizene (vivika.vaizene@ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Pinnasemehaanika elementaartõdedega arvestamine tagab tööde ohutuse

Jan Johanson

Üldise arusaama kohaselt on katastroof sündmus või sündmuste ahel, mis avaldab laiaulatuslikku mõju inim- või looduskeskkonnale. Kitsamas käsitluses võib katastroofina tõlgendada mõne väiksema kahjukannataja olulist kaotust. Nii juhtus tööõnnetus ühe kaevandamisteenust osutava ettevõttega, kus inimkahju õnneks puudus, küll aga oli oluline materiaalne kahju, mis muuhulgas pärssis tugevalt ettevõtte majandusnäitajaid.

Ülevaade juhtunust

Eelmise dekaadi viimase kolmandiku hakul (kulminatsioon oli 2006. aastal), aset leidnud kinnisvarabuum tõi juurde mitmeid põllupealseid elamuarendusi. Üks sellistest oli Kuusalu vallas Sõitme külas asuv Leegiranna elurajoon. *Oli* võib öelda sellepärast, et tänaseks pole kõnealune arendus inimeste poolt asustatud ja arendustegevus suures osas pooleli. 2007. aasta sügisel teostati arendusalal kaevetöid kommunikatsioonide ehitamiseks. Trassikraavi rajamise käigus varises teadmatuses või liigsest uljustest rajatud kaevetööde koos pinnasega 29,3 tonnise tühimassiga ekskavaator Hyundai 290LC-7A. Ettekujutuse tekkinud olukorrast annab foto (LISA foto 1).

Mäeinseneril on suhteliselt lihtne selgitada toimunu põhjusi, isegi kui ta ise ei näinud ekskavaatori varisemist. Siinjuures tulevad appi enamohtlike mäetööde projekteerimise alused ning pinnasemehaanika peamised seaduspärasused. Põhjus võib olla nii esimese kui teise või mõlema valdkonna reeglite eiramises.

Mäetehnilised karakteristikud

Trassikraavi rajamise näol on tegemist kaevetöödega. Ekskavaatoriga kaevetööde läbiviimisel tuleb tähelepanu pöörata sarnastele teguritele nagu mäetööde puhulgi. Mäetööde projekteerimise käigus koostatavate tehniliste jooniste koosseisus joonestatakse muuhulgas ee-passid, milles määratletakse konkreetse tööetapi käigus kasutatavad mäemasinad ning nende kasutamise ja kaevise laadimise ohutud karakteristikud. Üheks selliseks parameetrik on võimaliku varisemisala piiri määratlemine, mis sõltub kaevandatavast materjalist ja astangu kõrgusest. Põhimõte on selles, et ekskavaator ei sõidaks kaevist ammutades kaugemale, kui on

kaevandatava materjali loomulik püsikaldenurk ehk varisemisnurk (LISA joonis 1), vastasel juhul võib mäemasin koos nõlvaga alla variseda.

Käsitletavas arenduspiirkonnas moodustab maapinnalähedase geoloogilise läbilõike Alam-Kambriumi Lontova kihistu savi (intsidendi asukohas valdavalt saviliiv). Kambriumi savi parameetrid, millest varisemisala piiri arvutamisel tuleb lähtuda, on toodud järgnevas tabelis (Tabel 1).

Tabel 1. Savi varisemise nurgad

Nurk	Nurga väärtus, (°)
Kambriumi savi varisemisnurk (püsikaldenurk)	65-80°
Kasutatav kaevandamisnurk	80-90°

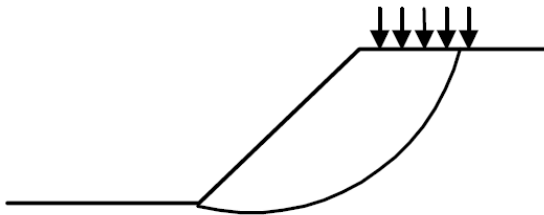
Ekskavaatori varisemise asukohas oli veepealse astangu kõrgus umbes 1,5 m. Etteantud parameetrite juures on arvutuslik varisemisala piiri laius kommunikatsioonitrassi servast, kasutades minimaalset varisemisnurka ja maksimaalset kaevamisnurka, 0,3 m. Arvestades kasutatava ekskavaatori maksimaalset ammutussügavust, milleks on 7,5 m ja maksimaalset ammutuskaugust, milleks on kuni 9 m, ei ole alust arvata, et sellise kaevamissügavuse ja rajatud trassi laiuse juures oli ekskavaator sõitnud varisemisalale. Võib julgelt väita, et isegi kogenematu juht ei opereeri selliste parameetritega ja ligi 29,3 tonni kaaluva ekskavaatoriga saviastangu varisemisala piiril. Seetõttu võib järeldada, et õnnetuse põhjuseks ei olnud ekskavaatori operaatori eksimus ohutusnõuetega arvestamisel, vaid tekkinud õnnetuse põhjus oli kusagil mujal.

Savi pinnasemehaanilised omadused

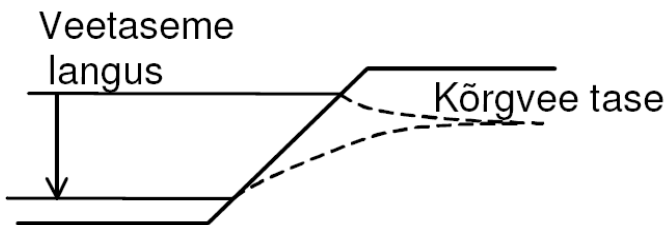
Kaevandamise projekti koostamisel varisemisala piiri määramist võib pidada lihtsustatud meetodiks. Tegelik pinnasemehaanika kõigi oma seaduspärasustega on oluliselt keerulisem ja erinevate sündmustega arvestamine (näiteks vihm ja veega küllastumine) nõuab ekskavaatori operaatorilt juba põhjalikumaid teadmisi. Siiski on võimalik ka keerulistesse arvutustesse laskumata pinnasemehaanika põhitõdede põhjal järeldusi teha. Nagu vaatlesime, on varisemisala piiri määramisel üheks muutujaks pinnase varisemisnurk. Viimase puhul on tegemist empiirilise määratlusega, väljakujunenud on optimaalne nurk, millega arvestatakse, kuid samas on see suhteliselt väikese varuteguriga. Teisisõnu võivad need

parameetrid ekstreemsetes või ebareeglipärastes tingimustes nõlva stabiilsuse seisukohast ebapiisavaks osutada.

Nõlva varisemist võib pinnase tugevuse ja maapinna kalde kõrval mõjutada ka pinnasevee liikumine ning staatiline ja dünaamiline lisakoormus. Nõlvast võivad eralduda üksikud plokid, toimuda pinnaseosakeste liikumine mööda nõlva pinda või terve pinnasemassiivi liikumine mööda sügavamal asuvat lihkepinda. Projekteerimisel arvestatakse loomuliku varisemise nurgaga, mille juures valitseb looduslik tasakaal. Kuid sellises olukorras võib tasakaalu kaotuse ja nõlva varisemise põhjustada nõlva koormamine näiteks mäemasinaga (LISA joonis 2). Lisakoormuse tõttu suureneb lihkumist põhjustav jõud (moment) rohkem kui nõlva kinnihoidev jõud (moment). Hüdrodünaamilise surve suurenemine nõlvas, näiteks veetaseme kiirel alanemisel nõlva ees olevas veekogus, põhjustab vee liikumise suunalise jõu suurenemise ja nõlva varisemise (Joonis).



Joonis 2. Lihkepind nõlva jalami dünaamilisel koormamisel



Joonis 3. Veetaseme kiire alanemine nõlva ees võib kaasa tuua nõlva varingut

Sügisel iseloomulikult oli õnnetuse toimumise päeval ja eelnevatel päevadel sadanud ohtralt vihma. Seetõttu oli saviliiv muutunud püdelaks

ning tavapärased savi omadustest tulenevad karakteristikud varisemisala piiri juures enam ei kehtinud ja ebastabiilne varisemisala ulatus nõlva pervaest oluliselt kaugemale. Monoliitsem savikiht, mis oli ühtlasi ka veepide, asus vahetult kaevetööde all, mistõttu kommunikatsioonide rajamine toimus osaliselt pinnasevee kihis (vaata LISA foto 1). Intensiivsel kaevamisel väljatav pinnas põhjustab süvendi, mis täitub kiirelt pinnaseveega (õnnetusse sattunud ekskavaatori kopa maht oli umbes 1,5 m³). Süvendi veega täitumine põhjustab lühiajalist lokaalset pinnaseveetaseme alandust, millega suureneb nõlva sees vee liikumissuunaline jõud ning nõlv muutub ebastabiilseks. Ohutus karakteristikute muutumise ja pinnasevee liikumise kokkulangevus põhjustas tõenäoliselt nõlva ebastabiilseks muutumise, mis tõi endaga kaasa varingu. Ekskavaatori operaator ei osanud sellega kogenematuses või teadmatusest arvestada.

Kokkuvõte

Tavaliselt toimuvad katastroofid mitme halva asjaolu kokkulangemisel. Nii allub ka käsitletud tööõnnetus traditsioonilistele õnnetuse toimumise tunnustele. Igapäevaselt stabiilsemate oludega harjunud ekskavaatori operaator ei osanud arvestada ala geoloogilise ehitusega ning veega küllastunud savi mehaaniliste omadustega.

Sügavale savisse vajunud ekskavaatorit vintsimisega kätte saada ei õnnestunud, masin tuli demonteerida ning vajas hiljem kapitaalremonti (mootor, hüdraulika, veermik jms). Kindlustusseltsid ohutusnõuete eiramisel tekkinud kahjujuhtumeid reeglina ei hüvita ning sellised olukorrad võivad väikeettevõtte majandusnäitajate ja edasise eksisteerimise seisukohast olla märgilise, kui mitte öelda katastroofilise tähendusega.

Kokkuvõtvalt on loo moraal selles, et ka ekskavaatori operaatoril tuleb tunda kuigi palju tegutsemispiirkonna geoloogiat, ohutuslade arvutamise sisulist poolt ja elementaarseid pinnasemehaanilisi seaduspärasusi. Vihmasel ajal tuleks savisel ning veega küllastunud pinnasel kaevetöid vältida või teha seda äärmise ettevaatlikkuse ning piisavalt suure ohutuslade varuteguriga. Alternatiivse võimalusena tuleks sellistes tingimustes kasutada punnseina, võimalusel rajada alale spetsiaalekskavaatoriga eelkuivendus või teha töid soodsamal aastaajal, kui sademeid on vähe ja sellest tulenevalt pinnaseveetaseme madal.

Kasutatud kirjandus

Eesti statistika kvartalikirjuri 4/09. Elamuehitus- ja kinnisvaraturg. Statistikaamet. Tallinn, 2009, 17 lk.

Maaameti X-GIS geoloogia kaardirakendus (<http://geoportaal.maaamet.ee>)
Valgma, I., Vesiloo, P., Haabu, T. ja Anepaio, A. 2009. Kasutatavate
kaevandamistehnoloogiate kirjeldus. TTÜ mäeinstituut. Tallinn, 2009, 41 lk.
Hyundai ekskavaatori mudeli info
(<http://tehnikamasinad.blogspot.com/2012/09/ekskavaator-hyundai-290lc-7a.html>)
Jaaniso, V. 2012. Pinnasemehaanika. TTÜ ehitusteaduskond. Tallinn, 2012, 247 lk

*Jan Johanson (jan@keskkonnabyroo.ee) - Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituut,
Ehitajate tee 5, Tallinn 19086*

JÄRELSÕNA

Karin Truuver

„Maa ajaloo on olnud mitmeid katastroofe“. Taoliste sõnadega on alustanud oma loengut päris mitu õppejõudu, kelle kursustel olen osalenud. Iga kord on need sõnad tekitanud ka veidi põnevust: inimest on ju ikka paelunud šokeerivad, hirmsate tagajärgedega sündmused. Tavaliselt on selliste katastroofide kirjeldamisel piiratud ajalises ja/või geograafilises mõttes sündmustega (nt. jääajad, suured vulkaanipursked, meteoriidiimpaktid, ulatuslikud väljasuremised jne.), millel on olnud väga drastilised tagajärjed. See on täiesti mõistetav, et tähelepanu pööratakse just tõeliselt suurtele katastroofidele, sest kuhugi peab ju piiri tõmbama, tudengitele (tegelikult ka laiemale üldsusele) ongi kõige olulisem teada tõeliselt suuri, globaalseid sündmusi, mis on maailma vapustanud ja tundmatuseni muutnud. Sellised sündmused on Maa elustikule tihti laastavalt mõjunud, hävitades terveid loomaliike ja -perekondi, vahel ka kõrgemaid taksoneid. Seega on taolised sündmused igati ära teeninud nime katastroof. Kuid, nagu üks väga hea ja tark inimene on mulle öelnud: iga muhk on teistpidi lohk. Tänu hävitavatele sündmustele on eluvõimaluse saanud uued olendid. Elu Maal pole seisma jäänud, vaid on sõna otseses mõttes edasi läinud. Iga hukk on olnud suur katastroof hävijate jaoks, nende koha ülevõtjatele aga kõige algus ja võimalus elule.

Meil, inimestel, on sellisest mõttekäigust lihtne aru saada, sest jutt käib möödunud aja sündmustest. Mida kaugematest, seda parem. Olukord on aga hoopis teine, kui tegu on tänapäevaste sündmustega, eriti veel sellistega, mis meid lähedalt puudutavad. Taolistel puhkudel pole tõdemused „elu ongi selline“ ja „see on looduse loomulik käik“, enam nii lihtsalt mõistetavad. Näiteks selline tunne on kindlasti paljudele meist tuttav: tänapäevaks lõplikult väljasurnud dinosaurustest või siis austraalia kukkurhundist on küll väga kahju, aga kui lahkub meie kallis sõber, ükskõik mis liiki ta kuulub, kurvastame ja oleme lohutamatud, kuigi ilmselt ei olnud ta oma liigi viimane esindaja. Sama kehtib ka väiksemate, igapäevasemat laadi kaotuste kohta. Olgu kahju materiaalsel või emotsionaalsel laadi, ikkagi on see ebameeldiv ja õnnetukstegev. Kui ebaõnn pikemaks ajaks meie õlale istuma jääb, võib inimesel pahatihti jääda mulje, et just tema on inimkonnast välja valitud „piksevardaks“ ja maailma murede kandjaks, selleks, et kõigil teistel lihtsam oleks. Taolistel hetkedel, istudes musta mure sügavas sünges augus, on üsna raske leida killukestki positiivset kogu selles masenduses. Ometigi on vanasõna – mis ei tapa, teeb tugevamaks – hästi tuntud ilmselt päris paljudele meist. Mure, kurbus, viha on väga inimlikud emotsioonid ning need tuleb läbi elada,

enda sees juppideks lahti võtta, neid üksikasjalikult analüüsida ja nende olemuse üle mõtiskleda. Ühel hetkel võib avastada, et see, mida just nüüdsama pidasime suureks õnnetuseks ja tõeliseks tõkkepuuks meie ees, võib hoopis olla käänakuks teel vajalike kogemuste ja uute võimaluste poole.

Oma tagasihoidliku elukogemuse juures olen avastanud, et elu kulgeb sinusoidaalselt üles-alla ning selleks, et jõuda tippu, peab paratamatult alustama madalseisust. Kes ei ole tundnud suurt kurbust, ei oska ka tõelist rõõmu tunda ning ilma pimeduseta ei oleks olemas valgust.

Maa ajaloos on olnud mitmeid katastroofe. See, mida katastroofina defineerime, on aga meie endi teha. Kõigest, nii halvast kui heast, tuleb õppida, sest iga kukkumine, ükskõik kui valus see ka poleks, annab meile võimaluse „komistuskivi“ üles korjata, seda uurida, tundma õppida ning edaspidi ühe kogemuse võrra rikkam olla.

Karin Truuver (karin.truuver@ut.ee) – Tartu Ülikool, Geoloogia osakond, Ravila 14a, Tartu

LISAD

*Mälestusi
Ivar Puurast ...*

Foto: Liisa Lang



Foto: Anna Lauk



Kutse

Ivar Puura

On hetki, mil kõik peatub
ja vajub vaikuse vatti
ja tee kuhu sammud on seatud
jäab sammude lakates katki

On hetki, mis tahavad öelda
et kuulaksid südame kutset
et peatuksid hetkeks, et mõelda
kas keegi on tulemas uksest

mis alati tolmuga kaetud
ja piitade külge löödud
ja raske vaibaga maetud
sest kõik on siit seismata möödunud

Ja äkki Sa seisad ja uks
läeb hingede kriiksudes lahti
jäab vaiksemaks südametuks
Sa kuulatad salamahti

neid sealpoolse vaikuse hääli
mis tasaste helide voona
Sul riivavad tunnete keeli
Sul tulevad sõnumit tooma

Sa polegi kunagi märgand
et keegi Sind aina hüüab
nüüd äkki kui lummusest ärgand
neid helisid tabada püüad

Sa pole siin iialgi käinud
kuid leiad siit tuttavaid jälgi
Sa polegi kunagi näinud
et keegi Sind ainiti jälgib

Kus oled Sa, kauguste kaja
kus oled Sa, helendav valgus
kes juhatas mulle raja
ja millele viib see algus

Sa hingad kesk vaikuse vatti
ja palud et lummus ei murduks
ei puruneks kildudeks katski
ja avanend uks ei sulguks



Käsijalgse karje
Ivar Puura
(Maardu, 1987)

Me põrm on jahvatet jahuks
ja külvat kesk laiuvaid põlde
meid palju veel põllule mahuks
ja Maa meile tänu võlgneks

Foto: Helje Pärnaste



kui teaksime toovat kasu
toites elava igavest ringet
kuid kahtlus ei anna asu
et puhtus on kadumas hingest

et keegi me järglaste hulgas
on hoolimatu ja maias
ning trambib masinail ringi
me teotatud puhkepaigas

Viissada miljonit aastat
me kojad puhkasid rahus
Kas selleks et külvata saasta
roiskunud vooluvee vahus?



Foto: Oive Tinn



Foto: Helje Pärnaste



Foto: Anna Lauk



Foto: Liisa Lang



Foto: Anna Lauk

Kinkija
Ivar Puura

Ma olin kinkija, vist pisut lihtsameelne
nii arvas iga saaja kellel südant
kes külvaks muidu ehedamat headust teele
ma hulluks neile jäin, kel polnud südant

Ma vaatan tagasi ja vaatan ette
kui kinkijana jätkan oma elu
las jääda igapähele oma meelepete
saab saajaist tuleviku lemmiklelu

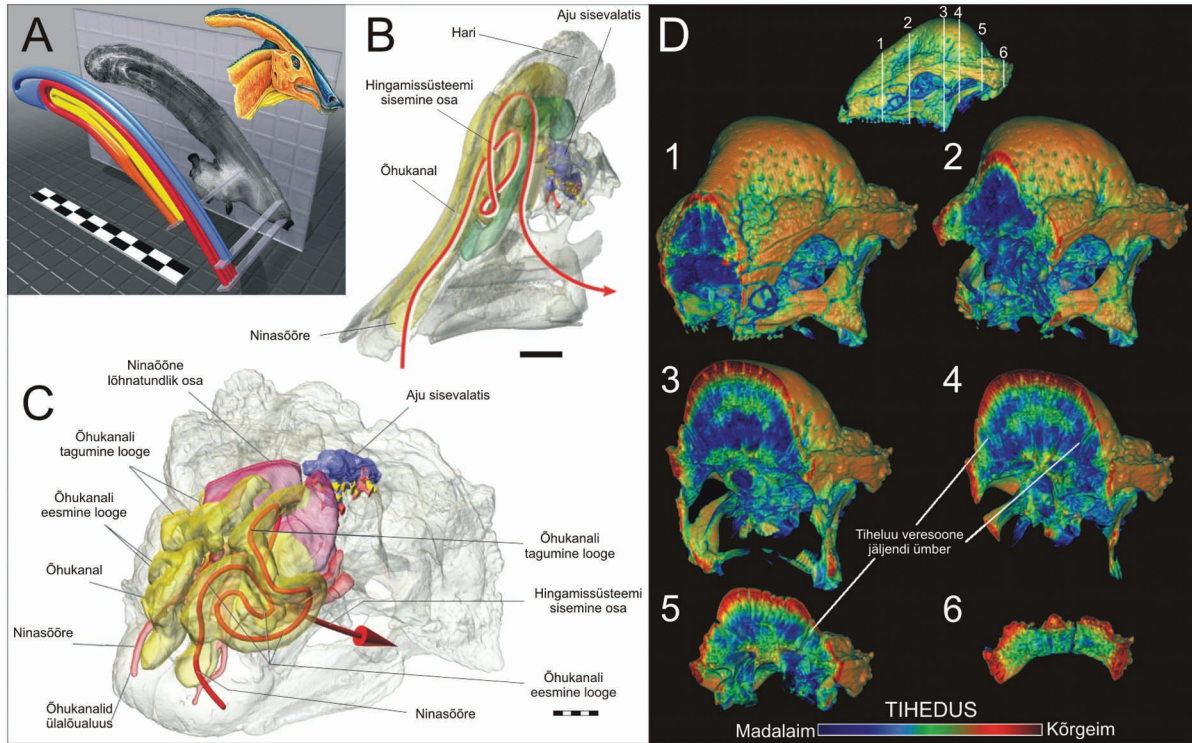
Vaid harvad sädemed ei ole lennand tuulde
neist sündind kinkijaid ja teisi kauneid hingi
kes leidnud tee on iseenda juurde
tee tulevikku läbi kõikse kingi

G. Buono *Dinosaurused ...*

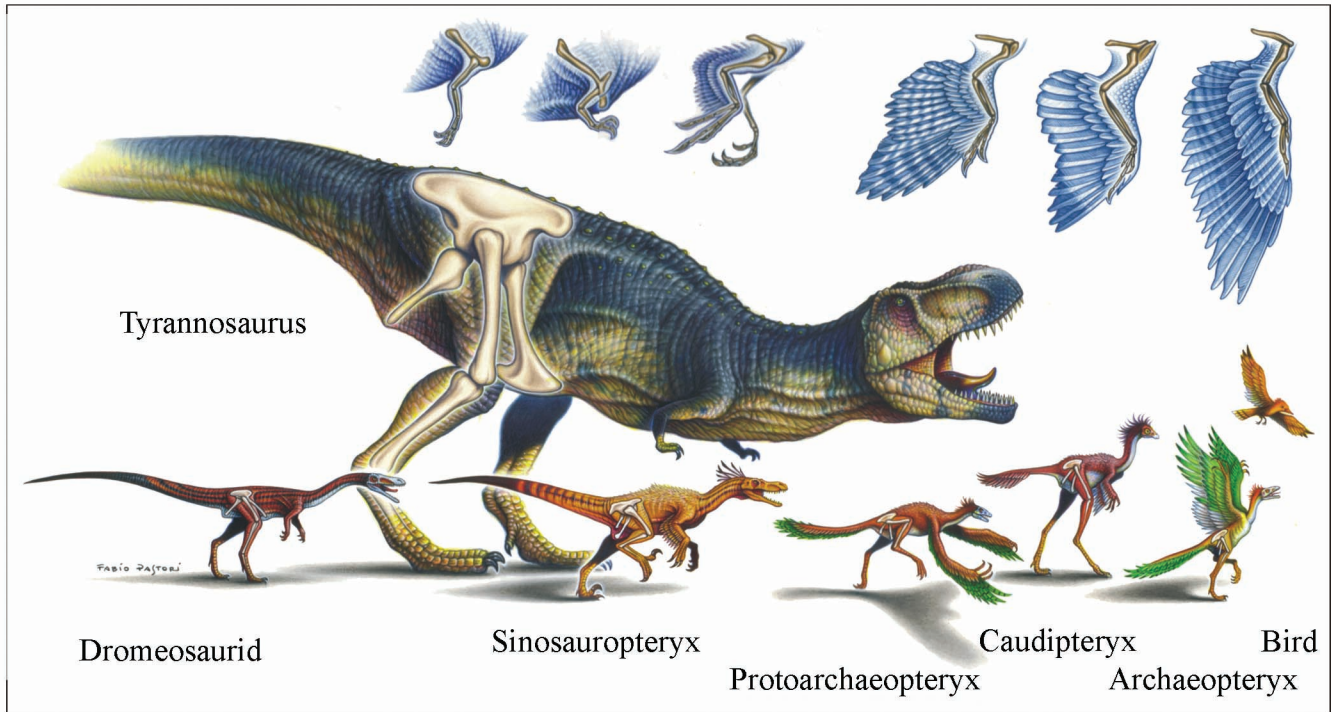


Joonis 1. Vana-Rooma mosaiigil kujutatud greif (umbes A. D. 310) Piazza Armerinast (Sitsiilia, Itaalia). (www.theoi.com).

G. Buono *Dinosaurused ...*



Joonis 2. Paleontoloogias kasutatavad uued tehnoloogiad. Kompuutermodeleerimise, biomehhaanika ja kompuutertomograafilise skaneerimise kasutamine aitab dinosauruste füsioloogiat ja käitumist paremini ja täpsemalt mõista. (Edasist kirjeldust vt. artikli lõpust).



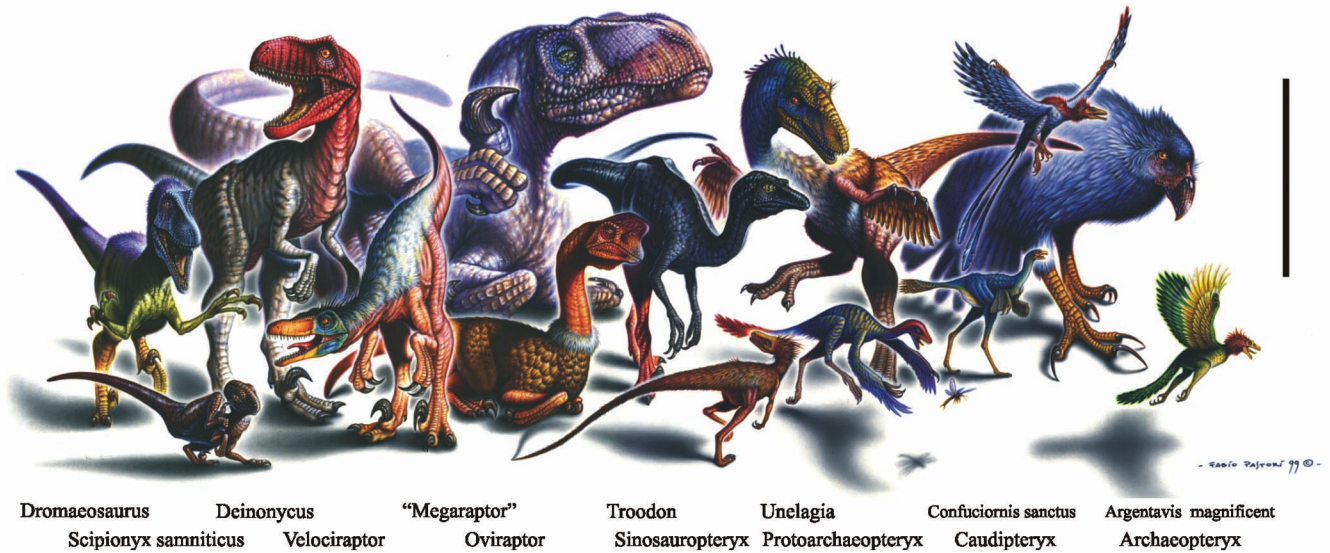
Joonis 3. Lendamise teke: Fabio Pastori joonistus (www.fabiopastori.it). Vaagna ja käsivarreluu tõestatud evolutsioonilised muutused.

G. Buono *Dinosaurused* ...



Joonis 4. Sauropodomorpha liigirikkus: Fabio Pastori (www.fabiopastori.it) joonistus (NB! Sauropoodide kaela asend on praegu veel täpselt kindlaks määramata. Vt. detailsemalt Christian ja Dzemeski 2011 ja Taylor jt. 2009).

G. Buono *Dinosaurused* ...



Joonis 5. Theropoda liigirikkus: Fabio Pastori joonistus (www.fabiopastori.it). Skaalat tähistava kriipsu pikkus on umbes 1 m.

I. Valgma ja V. Väizene Tšiili kaevandusvaring ...

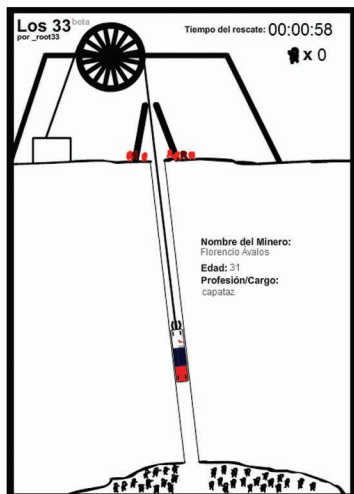


Foto 1. Maa all asuv kaevandus ning päästešurf koos puuraukudega.

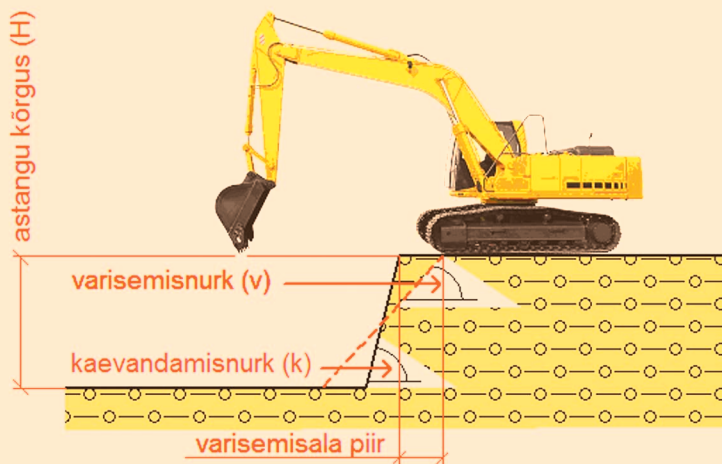
Joonis 1. Kaevurite päästmise arvutimäng.



Foto 2. Kaevuri tõstmine maapinnale.



Foto 1. Kaevdõnde varisenud ekskavaator (pärast varisemist pööras operaator ekskavaatori torni 180°, misjärel masin vajus sügavamale savisse).



Joonis 1. Kaevandamise ee-passis ühtedeks parameetriteks on nõlva sissevarisemise vältimiseks määratavad varisemisnurk (v) ja kaevandamisnurk (k).



Sügiskoolilised saabuavad ...

Foto: Liisa Lang



Tarkust taga nõudmas ...

Foto: Liisa Lang



Kolm suurkuju.

Foto: Helje Pärnaste



“See on iga geoloogi elutähtis matkavarustus!”

Foto: Kärt Üpraus



“Kust me siis selle proovi nüüd võtame?”

Foto: Helje Pärnaste



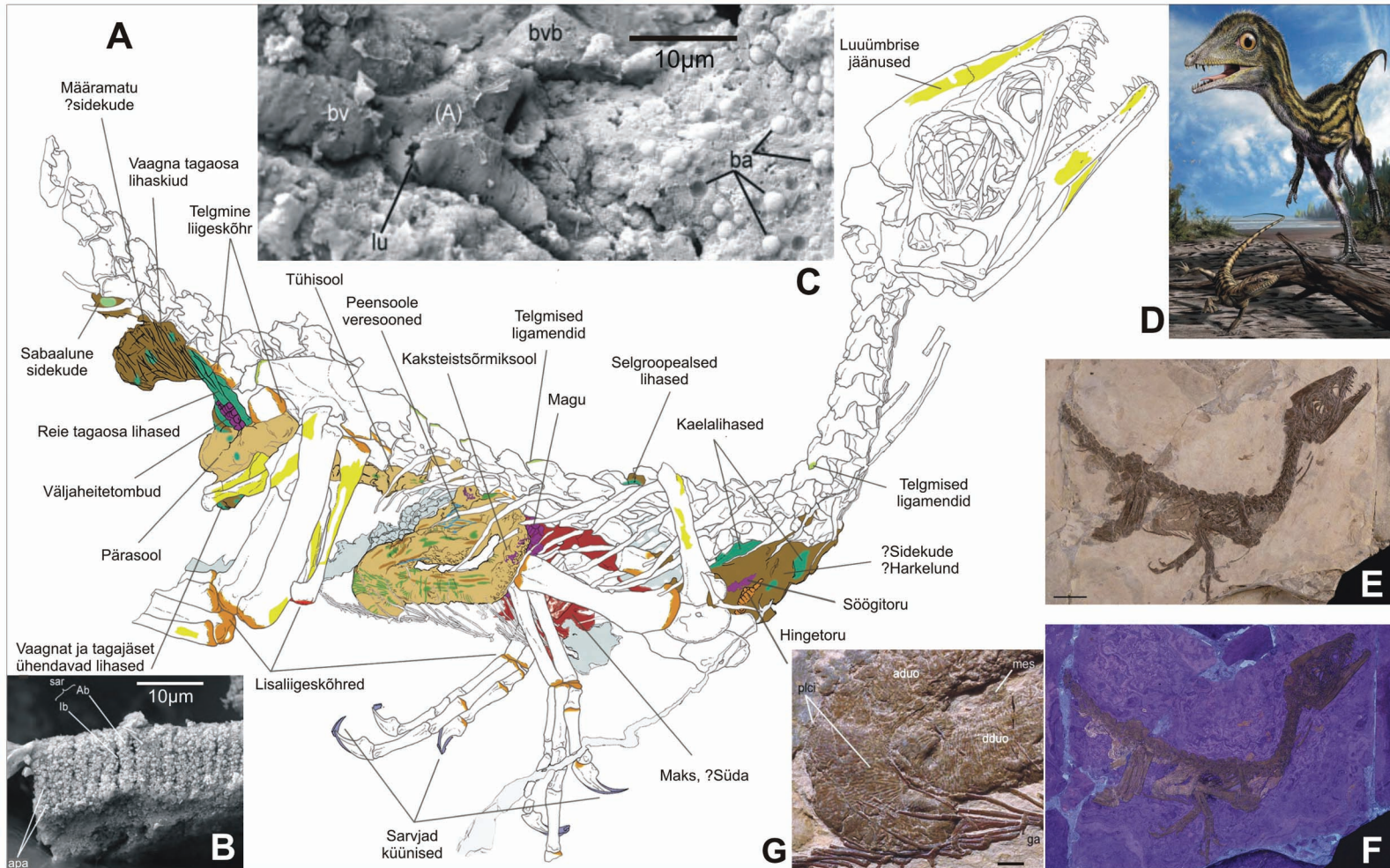
VII geoloogia sügiskooli korraldajad.

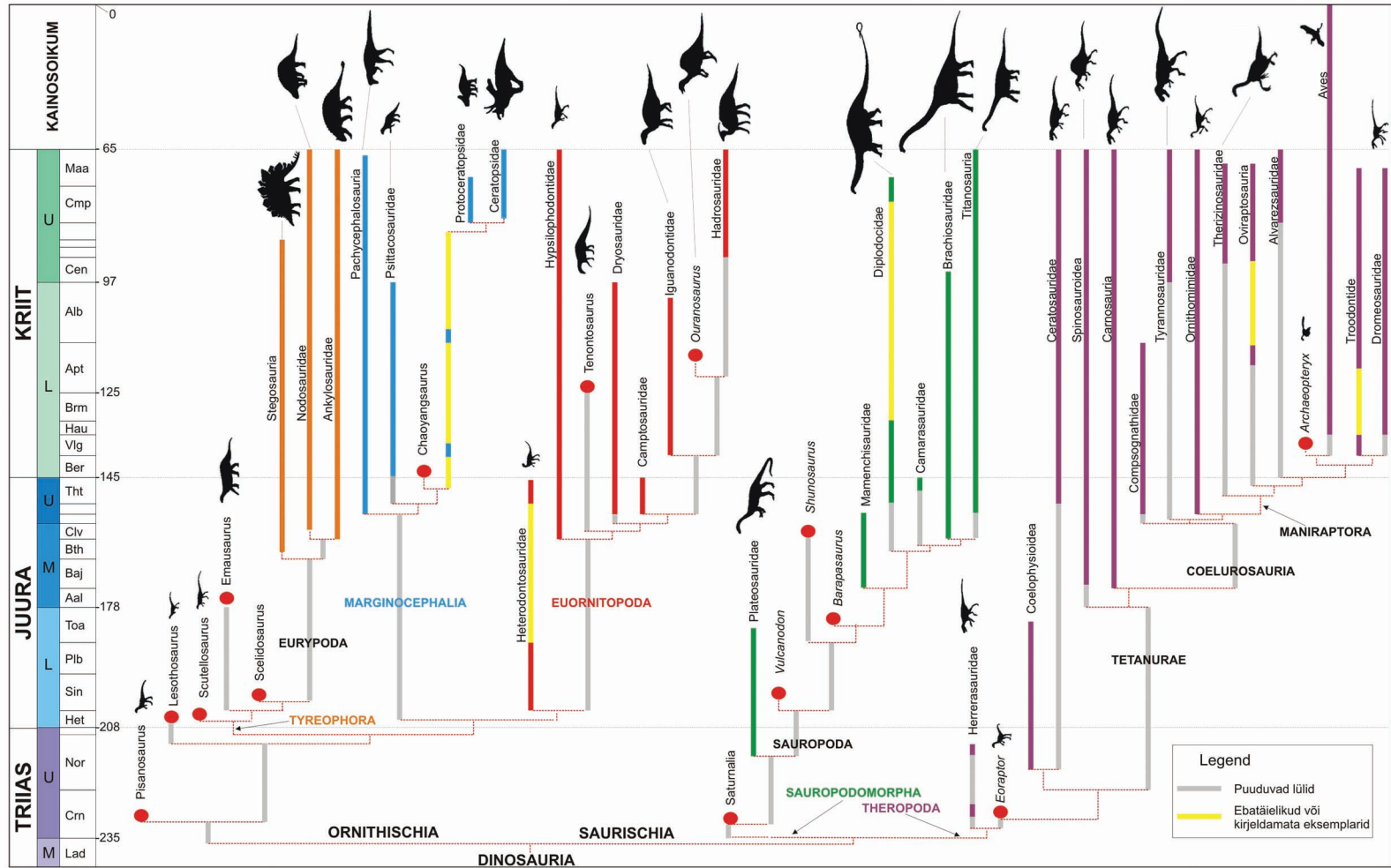
Foto: Helje Pärnaste



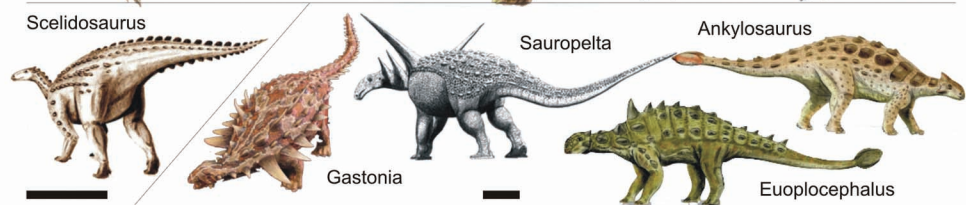
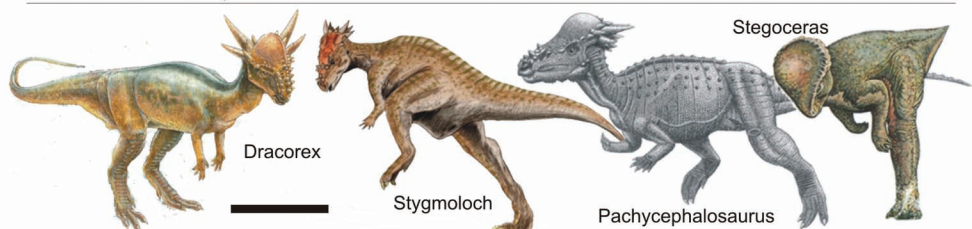
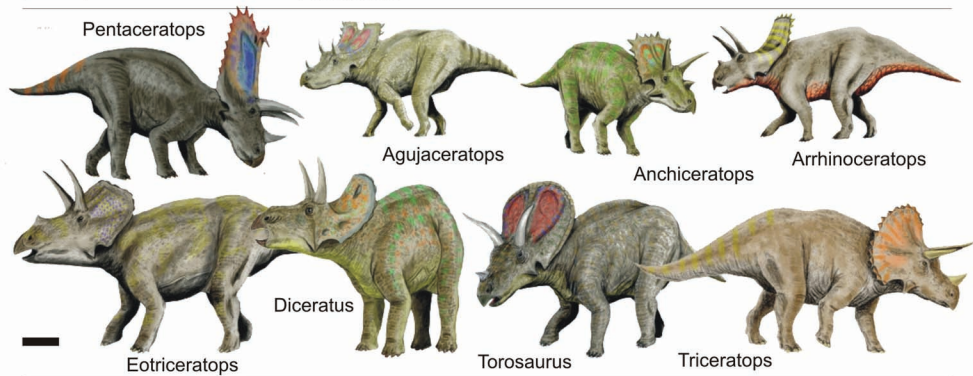
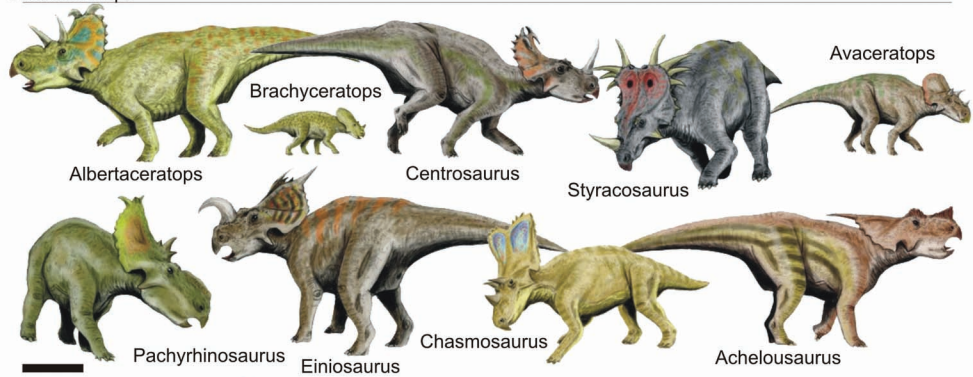
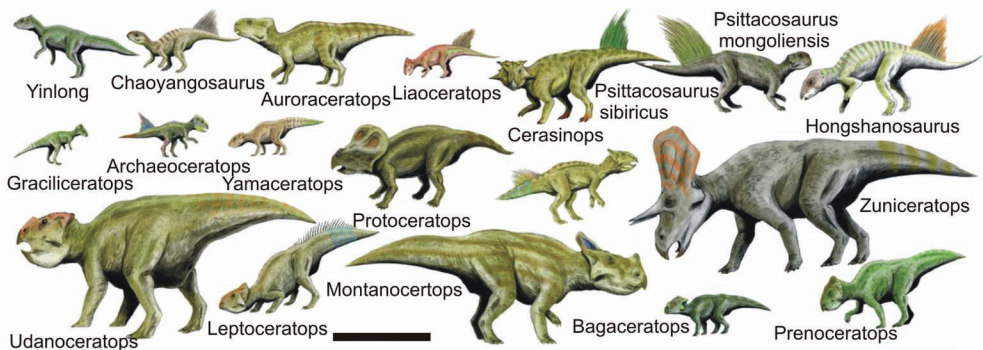
VII geoloogia sügiskooli seltskond.

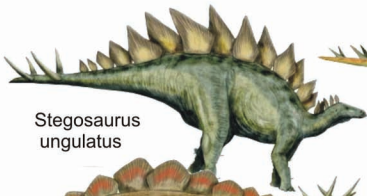
Foto: Helje Pärnaste





G.Buono Fototahvel 3

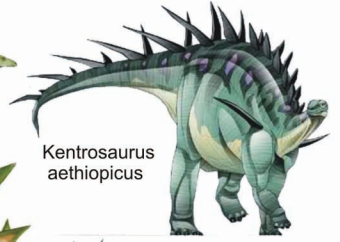




Stegosaurus ungulatus



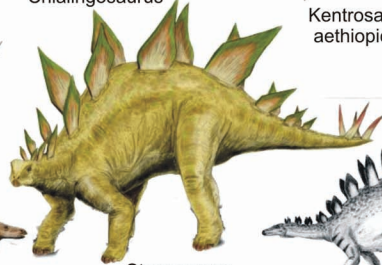
Chialingosaurus



Kentrosaurus aethiopicus



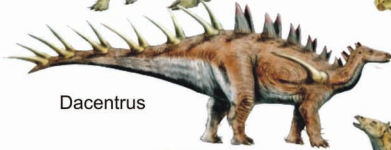
Hesperosaurus



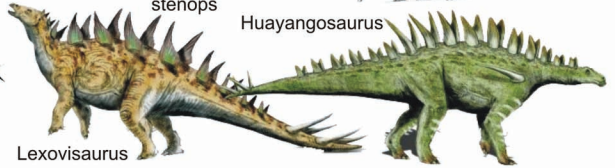
Stegosaurus stenops



Tuojiangosaurus



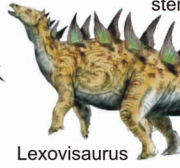
Dacentrus



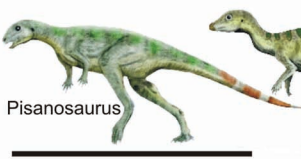
Huayangosaurus



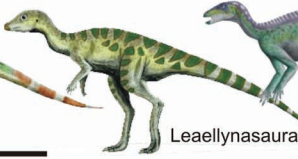
Miragaia



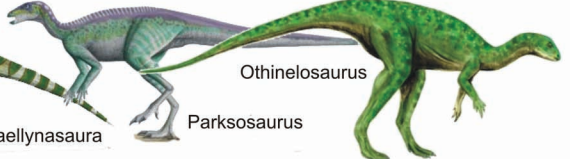
Lexovisaurus



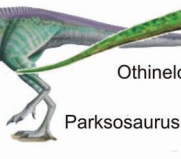
Pisanosaurus



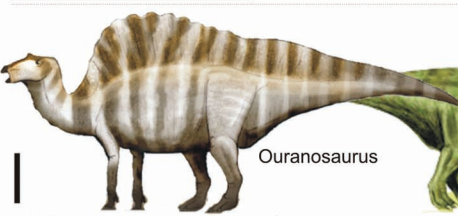
Leaellynasaura



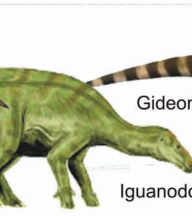
Othinielosaurus



Parksosaurus



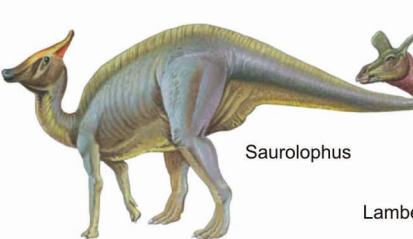
Ouranosaurus



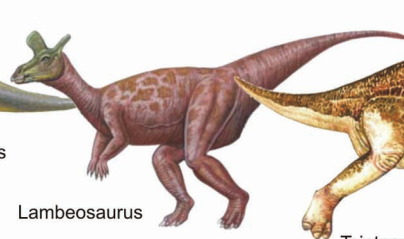
Iguanodon



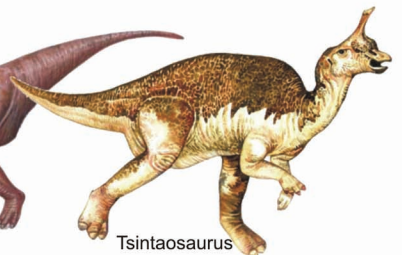
Gideonmantellia



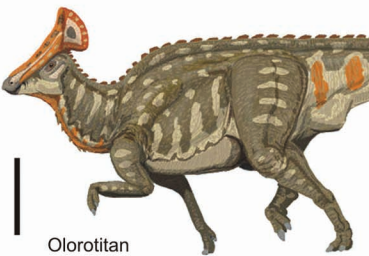
Saurolophus



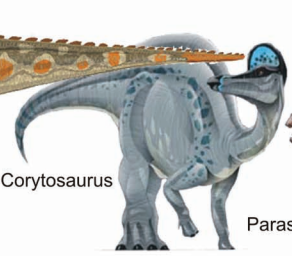
Lambeosaurus



Tsintaosaurus



Olorotitan



Corytosaurus



Parasauroplophus