

Eesti Looduseuurijate Selts
Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut
Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut
Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut

SUURED TEOORIAD

Schola Geologica IV

Tartu 2008

Autoriõigused: autorid, toimetajad ja Eesti Looduseuurijate Selts

TOIMETAJAD: Leeli Amon ja Evelin Verš

Kirjastanud OÜ Sulemees

Esikaane foto: "Teooriad Maast valmivad kivile toetudes".

Autor: Oive Tinn

Kaanekujundus: Kadri Sohar

Soovitav kirje vorm

Kogu väljaandele:

Amon L. ja Verš E. (toim.) 2008. *Suured teooriad. Schola Geologica IV*. Sulemees, Tartu, 84 lk.

Artiklile:

Tolk H.-V. 2008. *Peatükke evolutsiooniteooria kujunemisest*. Rmt.: Amon L. ja Verš E. (toim.) *Suured teooriad. Schola Geologica IV*. Sulemees, Tartu, lk. 7-18.

Neljanda geoloogia sügiskooli toimumist ja seotud teadusettekanete sarja "*Schola Geologica*" väljaandmist toetasid **Keskkonnainvesteeringute Keskus**, Eesti Looduseuurijate Selts, Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut ja Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut.

Sügiskool ja kogumik kuuluvad UNESCO ja Rahvusvaheliste Geoloogiateaduste Liidu (IUGS) Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta tegevuste kavva.

ISSN 1736-3241

ISBN 978-9985-9726-9-4

EESSÕNA

Leho Ainsaar

Seekordne geoloogia sügiskool ja selle ürituse kogumik on pühendatud maa- ja eluteaduste põhialustele: suurtele teooriatele. Targad entsüklopeediad ütlevad, et teooria (*theoria* vaatlus, uurimine kreeka keeles) võiks olla teadusliku teadmise, kogemuse ja praktika loogiline üldistus, tõestatud vaatestik, süstemaatiline seos, kus teatud asjaolude kogumile antakse hinnang või otsus. Teaduslikku teooriat võiks eristada muudest üldistustest see, et peaks olema võimalus leida tingimusi, mille korral teooria ei kehti ehk teooria peab olema põhimõtteliselt falsifitseeritav.

Milleks teaduses teooriaid üldse vaja on? Igasugusele eksperimentidele, vaatlusotusele peab eelnema mingisugunegi teooria, mille raames saadud tulemusi hinnatakse. Teooria muidugi võib olla sama ekslik kui vaatlusotusedki, kuid enne iga hüpoteesi püstitamist ja katse või vaatluse tegemist lähtume me paratamatult meile kättesaadavatest teooriatest.

Kas maateadustes on ka suuri teooriaid? Kui vaadata lähemalt selleski kogumikus esitatuid, siis võime tõdeda, et see on vaatenurga küsimus. Evolutsiooniteooria kuulub justkui rohkem bioloogiasse; vee, teemantide, setete tekke teooriad keemiasse või füüsikasse või mõlemasse jne. Pole olemas geoloogilisi teooriaid, mis ei põhine teistes loodusteadustesse kuuluvatel teooriatel ja faktide üldistustel. Samas näeme, et nimetatud teooriad sisaldavad ühte komponenti, mille dimensioon väljub reeglina teiste loodusteaduste hoomamisvõime piiridest – see on aeg. Pannes keemilised, füüsikalised ja bioloogilised protsessid tööle geoloogilises ajaskaalas, hakkame vajama neid teooriaid, millega on harjunud tegelema geoloogia. Ja siis võime öelda, et on küll teooriaid ka geoloogias; või hoopis seda, et loodusteadused moodustavadki tänapäeval ühe lahutamatu komplekti.

ÜRO on kuulutanud 2008. aasta Rahvusvaheliseks Planeet Maa Aastaks, mille motoks on „Maateadused ühiskonna heaks”. See ergutagu meid rohkem mõtlema, kuidas rakendada geoloogilisi teooriaid ühiskonna arendamise teenistusse ehk praktikasse. Ja ärge laske ennast heidutada Jan van de Snepscheut’i terasest tähelepanekust: „*In theory, there is no difference between theory and practice. But, in practice, there is.*”

Leho Ainsaar (leho.ainsaar@ut.ee) – Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu.

SISUKORD

<i>Leho Ainsaar</i> Eessõna.....	3
<i>Helle-Viivi Tolk</i> Peatükke evolutsiooniteooria kujunemisest.....	7
<i>Enno Reinsalu</i> Akumuleeriv hüdroelektrijaam.....	19
<i>Karin Robam, Ingo Valgma</i> Hämmastavad augud ja ökogigandid.....	25
<i>Ülo Sõstra</i> Laamtektoonika teooria areng ja selle kujunemine paradigmaks.....	35
<i>Margus Voolma</i> Teemandid koju kätte – šošoniitse magma jälgedes.....	42
<i>Rein Einasto</i> Katkestuspindadest ja lünkadest Eesti paelasundis: stratigraafilisi ja sedimentoloogilisi probleeme.....	46
<i>Andres Marandi</i> Kõige tähtsam teooria – vee teke.....	55
<i>Ulla Preeden, Jüri Plado</i> Maa magnetvälja müsteerium.....	62
<i>Kristina Sohar, Alar Läänelaid</i> Dendrokronoloogia geoloogias.....	67
<i>Ivar Puura</i> Rahvusvaheline Planeet Maa Aasta: geoteadused ühiskonna heaks.....	72
VÄRVILINE LISA Joonised R. Einasto artiklile ja FOTOMEENUTUSED KOLMANDAST GEOLOOGIA SÜGISKOOLIST.....	76

"Suured teooriad"

Neljas geoloogia sügiskool Mäetaguse mõisakompleksis
10.–12. oktoober 2008

AJAKAVA

Reede, 10. oktoober

- 15:00 start Tartust ja Tallinnast
- 17:00 kogunemine Mäetaguse mõisas
- 18:00 avamine
- 18:15 Gaia teooria – Marek Sammul (EMÜ)
- 19:00 Evolutsiooniteooria olemusest – Helle-Viivi Tolk (Eesti Biokeskus)
- 19:45 Sugude determinatsioon imetajatel – Mart Viikmaa (LUS)
- 20:30 õhtusöök
- 21:30 film + diskussioon

Laupäev, 11. oktoober

- 8:00 hommikusöök
- 9:00 Relativistliku mõtlemisviisi kujundamisest – Kalev Tarkpea (TÜ)
- 9:45 Universumi ja selle komponentide kujunemisteooriad – Mirt Gramann (Tartu Observatoorium)
- 10:30 Kaali meteoriidi vanus ja mõju ümbritsevale – ülevaade 220 aasta pikkusest uurimisloost – Siim Veski (TTÜ)
- 11:15 kohvipaus
- 11:30 Akumuleeriv hüdroelektrijaam – Enno Reinsalu (TTÜ)
- 12:15 Suured inimsaavutused – Ingo Valgma (TTÜ)
- 13:00 lõunasöök
- 14:00 Ekskursioon kohaliku geoloogia radadel Erik Puuraga (TÜ)
- 17:00 kohvipaus
- 17:30 Kuumad täpid ja nende kuumad probleemid – Juho Kirs (TÜ)
- 18:15 Mikrokeemiline maailmapilt – Evelin Verš (TTÜ)
- 19:00 õhtusöök ja saun

Pühapäev, 12. oktoober

- 8:00 hommikusöök
- 9:00 Faatsiitest stratigraafias ja sedimentoloogilistest teooriatest lünkade käsitlelusel – Rein Einasto (TTK)
- 9.45 Kõige tähtsam teooria - vee teke – Andres Marandi (TÜ)
- 10:30 Mandrijäätmisteooria sünni ja areng – Volli Kalm (TÜ)
- 12:00 lõppsõna ja koju sõit

Kasutatud lühendid:

TÜ – Tartu Ülikool	LUS – Eesti Looduseuurijate Selts
TTÜ – Tallinna Tehnikaülikool	TTK – Tallinna Tehnikakõrgkool
EMÜ – Eesti Maaülikool	

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**

Peatükke evolutsiooniteooria kujunemisest

Helle-Viivi Tolk

Nothing in biology makes sense except in the light of evolution.

Theodosius Dobzhansky

Tänapäeva maakera on täis ohjeldamatul hulgal igasuguseid elusolendeid. Kogu see mitmekesisus on aegade jooksul pannud inimesi arutlema kõige elusa päritolu ja muutumise iseärasuste üle. Tänapäeva mõistes ei tähenda evolutsioon üksnes uute liikide tekkimist teistest – selline oli aga ettekujutus evolutsioonist kuni 20. sajandi alguseni.

Evolutsiooni käsitletakse bioloogilistes süsteemides üldise mõistena elusorganismide tunnuste ühest põlvkonnast teise ülekandumise muutmisenä. Kui me toome sisse mõiste *geen* (mille võttis kasutusele taani botaanik W. Johannsen 1909. aastal), et kirjeldada mehhanismi, mille kaudu organism pärib tunnused, siis me oleme evolutsioonikäsitlust piiranud juba 20. sajandi alguse ja sellele järgnevatel perioodidega. Siinjuures tuleb märkida, et mõiste *bioloogia*, selle tänapäevases käsitluses, on umbes paarsada aastat vana. K. Fr. Burdach, hilisem Tartu füsioloogia-professor ja K. E. von Baer'i õpetaja, kasutas seda terminit juba 1800. aastal ning G.R. Treviranus pealkirjastas oma 1802. aasta teose järgnevalt – „Biologie oder Philosophie der lebenden Natur”. Samal aastal ilmus J.B. de Lamarck'ilt „Système des animaux sans vertèbres” väljaanne, kus ta samuti kasutas terminit *bioloogia*. Huvitaval kombel väljendas Treviranus sarnaseid mõtteid Lamarck'i omadele – viimasel ilmus 1809. aastal teos „Philosophie Zoologique”, mille kohaselt pärandatakse oma järglaskonnale elu jooksul harjutamise teel saavutatud või hooletusse jäetud tunnused.

Peagi, möödub 150 aastat Charles Darwini teose „On the Origin of Species” esimese trüki ilmumisest (24. november 1859) ning 200 aastat autori sünnist (12. veebruar 1809). Darwin esitas oma teoses mitmeid postulaate: (1) kui kõik liigi isendid saaksid edukalt järglasi, siis selle liigi vastava populatsiooni arvukus tõuseks eksponentsiaalselt, kuid reaalse populatsioonide suurus jääb enam-vähem samaks; (2) looduse tagavarad on piiratud; (3) liigi kõik isendid on pisut erinevad teineteisest; ning (4) populatsiooni varieeruvus pärandub ühest põlvkonnast teise. Nende postulaatide üle arutlemine viis *loodusliku valiku* mõiste kujundamiseni – paremini kohastunud indiviididel on suurem tõenäosus saada järglaskonda ning seega aja jooksul tekitada järk-järgulisi muutusi populatsioonis.

Pärandumise reeglid

Kas looduslik valik on oluline ka tänapäeva evolutsiooniteoorias? Missuguseid aktsepteeritud mehhanisme sisaldab evolutsiooniteooria käeoleval ajal ning kuidas on arusaamad muutunud pooleteise sajandiga?

1900. aastal taasavastasid kolm taimeteadlast – Carl Correns, Hugo de Vries ja Erich von Tschermak-Seysenegg – Brno Loodusloo Seltsi asutajaliikme Gregor Mendeli (1822–1884) 1866. aastal 120 eksemplaris laialisaadetud töös kirjeldatud pärandumise seaduspärasused. Mendel oli Darwini teose kapsaks lugenud, aga kloostris elades polnud tal mingit sidet teiste teadlastega ning seetõttu jäi tema töö tema eluajal tähelepanuta. Mendeli töödest koorus välja kolm põhiteesi. *Esiteks*, ühetaolisuse seadus – erinevate tunnustega homosügootsete (puhaste tunnustega) isendite ristamist saadakse kõik järglased ühetaolised heterosügootsed hübriidid, sõltumata ristamise suunast. *Teiseks*, lahknemisseadus – hübriidide omavahelisel ristumisel toimub statistiliselt üsna täpselt tunnuste jagunemine diskreetsetesse gruppidesse suhetega vastavalt fenotüübiliste tunnuste võrdsusest (suhe 1:2:1) või siis ühe tunnuse dominantisusest (suhe 3:1 dominantsema kasuks). *Kolmandaks*, sõltumatu lahknemise seadus – polühübriidide erinevad tunnusepaarid lahknevad ja kombineeruvad üksteisest sõltumatult. Ülevaadet Mendeli seaduste kohta saab kaeda Mart Viikmaa 2008. aasta artiklist ja tema veebilehelt <http://biomedicum.ut.ee/~martv>.

Algusaegade mendelistidele tundus, et dominantsete tunnustega isendid peaksid aja jooksul saavutama populatsioonis kiiresti enamuse, aga millegipärast tegelikkuses seda ei juhtu. Siin tuli õnneliku juhusega appi matemaatik-statistik Godfrey Hardy, kes sada aastat tagasi (juulis 1908) saatis lühikese kirja ajakirja „Science“ veergudele. Ta näitas, et suures ja vabalt ristuvast populatsioonis jäävad alleelisagedused muutumatuks, võttes samas kasutusele tänapäeval hästi tuntud võrrandi $p^2+2pq+q^2$, kus p ja q on tunnuse erinevate alleelide sagedused ning nende summa on üks. Saksa teadlane Wilhelm Weinberg avaldas oma 16-leheküljelise töö sama aasta veebruaris, kus ta jõudis sarnastele järeldustele. Seda seadust tuntakse tänapäeval Hardy-Weinbergi seadusena. Selline geneetiliste põhiprintsipiide paikapanek andis paljudele bioloogidele tõuke pärandumise seadusi oma silmaga taga otsida. Carl Correns (1909) aga jäi Mendeli seaduste suhtes siiski pisut skeptiliseks – ta suutis tähele panna, et mitte kõik tunnused ei pärandu mendellikult. Sellest sai alguse tsütoplasmaatilise pärandumise uurimise valdkond, millest tuleb juttu pisut hiljem.

Pärilikkuse materjal

Šveitsi päriolu teadlane Johan Friedrich Miescher avastas 1869. aastal Tübingeni lossis Felix Hoppe-Seyler'i laboris töötades, et leukotsüütide tuumadest saab eraldada ainet, mis sisaldab ohtralt fosforit, aga väävlit mitte. Ta nimetas selle nukleiiniks. Eriti rohkelt leidis ta seda lõhilaste spermatoosoididest, mis viis ta mõttele, et seda ainet võib vaja minna viljastumisprotsessis. Ta ei suutnud aga ette kujutada, et see aine võiks olla pärilikkuse informatsiooni kandja. Termin *nukleinsäure* ehk nukleiinhape võttis kasutusele Richard Altmann 1889. aastal, arvates, et on eraldanud mingi uue aine, kuigi mõlemad olid DNA jälil. Siinkohal on oluline märkida, et botaanik Eduard Zacharias oli 1881. aastal esimene, kes suutis siduda mikroskoobis paistvaid eriliselt värvuvaid osakesi, mida nimetati kromosoomideks, nukleiiniga. Hoppe-Seyler'i juures töötanud, hilisem nobelist (1910) Albrecht Kossel tegi kindlaks nukleiinhapete täpsema koostise ning leidis, et kromatiini koostisse kuuluvad nukleiinhapped ning et neid pole tarvis energeetilistes protsessides, küll aga raku arengus protoplasma sünteesis. Nendest ajaloolistest sündmustest vt. Ralf Dahmi ülevaadet (Dahm 2008).

1944. aastal publitseerisid Oswald T. Avery, Colin MacLeod ja Maclyn McCarty artikli, kus nad näitasid, et vastupidiselt varem arvatule – nagu oleksid valgud geneetilise info edasikandjateks – on selleks DNA. Erwin Chargaff uuris 1940. aastate lõpul erinevate organismide nukleiinhapete sisaldust ja leidis, et selle koostis varieerub ulatuslikult, aga alati säilib püsiv suhe adenini ja tümiini vahel ning guaniini ja tsütosiini aluste vahel (1949). Nüüd oli vaid väike samm selleni, et välja selgitada DNA struktuur. Selleni jõudsid 1953. aastal Francis Crick ja James Watson röntgenstruktuuranalüüsi abil, mille viis läbi Rosalind Franklin, töötades Maurice Wilkins'i laboris. Sellest oli aga vähe – kuidas see nukleotiidide jada geneetilist informatsiooni kodeeris, jäi veel kuuekümnendate keskpaigani selgusetuks. Esimene geneetilise koodi ehituskivi dešifreeriti alles 1961. aastal. Kokku võimaldas kolmeste nukleotiidide kombinatoorika 64 varianti. Aminohappeid, mida tol ajal teati olevat valkude koostises, oli üksnes 20 (tänapäeval on kaks kodeeritavat aminohapet veel juurde tulnud).

Crick esitas 1958. aastal hiljem "tsentraaldogmana" tuntuks saanud hüpoteesi, milles ta joonistas skeemi, et geneetiline info võib kanduda DNA-lt RNAle ning sellelt valgule, aga mitte kunagi valgult nukleiinhapele. Lisaks sellele andis ta põhimõttelise võimaluse, et info võib liikuda ka RNAlt DNAle – see asjaolu leidis tõestamist alles 1970. aastate algul. Pole leitud aga tõestust, et info suudaks valgult talletuda nukleiinhappesse.

Sünteesi periood evolutsiooniteooria arengus

1920.–30. aastatel jõuti nii kaugemale, et suudeti sügavuti näidata loodusliku valiku toimimist Mendeli seaduste raames – seetõttu kutsutakse seda *moodsaks sünteesiks* ehk *sünteesiliseks evolutsiooniteooriaks* või *neodarvinismiks*. Selle perioodi võttis kokku Julian Huxley oma raamatus „*Evolution: the Modern Synthesis*” (1942). Algasaja teemärgina tuleb esile Ronald Aylmer Fisheri 1918. aasta artikkel, kus ta suutis näidata, et biomeetriliselt ühtlaselt muutuvaid tunnuseid saab samuti väljendada Mendeli printsiipe kasutades. Järgnevalt oli vaja ka hõlmata loodusliku valiku seos – peale Fisheri („*The General Theory of Natural Selection*”, 1930) olid sellega otses seoses John Burdon Sanderson Haldane („*The Causes of Evolution*”, 1932) ja Sewall Wright („*Evolution in Mendelian Populations*”, 1931). Nendes teostes näidati, et midagi peale loodusliku valiku pole tarvis – ei omandatud tunnuste päritavust ega makromutatsioone. Looduslik valik saab toimida reaalselt esineva varieeruvuse tingimustes kooskõlas Mendeli seadustega. Selle perioodi kõige tuntumaks teoseks on aga Venemaalt emigreerunud ameerika teadlase Theodosius Dobzhansky 1937. aastal ilmunud „*Genetics and the Origin of Species*”. Klassikutest peab veel kindlasti esile tooma Saksamaal hariduse saanud ning USA'sse emigreerunud Ernst Mayr'i ning tema teost „*Systematics and the Origin of Species*” (1942).

Molekulaarevolutsiooni võidukäik

Asjaolu, et valkude primaarjärjestus võib olla üsna varieeruv, andis kahekordsele nobelistile Linus Paulingule ja Emile Zuckerkandlile idee *molekulaarsest kellast* (1962). Nende hüpotees oli rajatud hemoglobiini erinevate variantide analüüsile. Nad postuleerisid, et muutused ladestuvad DNAsse ühtlase kiirusega seni, kuni valk säilitab oma esialgse funktsiooni. Seega on kahe liigi DNAde erinevus proportsionaalne nendevahelise evolutsioonilise kaugusega. Nad joonistasid esimese molekulaarsetel andmetel põhineva fülogeneesipuu. Selline lähenemine mõjutas erakordselt tugevalt evolutsioonilise bioloogia edasist käekäiku – enam polnud vaja teha järeldusi üksnes omavahel ristumisvõimeliste gruppide analüüsist, vaid sai uurida ka kaugete liikide omavahelist sugulust. Ühtlase kiiruse postuleerimine läks vastuollu erinevate evolutsiooniliinide morfoloogilise evolutsiooni tugevalt ebahõltselise tempoga (nt. paleontoloog George Gaylord Simpsoni teos „*Tempo and Mode in Evolution*”, 1944). Üsna varsti hakati uurima teisi valke ja nende mitmekesisust.

1980. aastate lõpust peale on tehnoloogia areng teinud võimalikuks koguda massiliselt DNA primaarjärjestuste tasemel informatsiooni. See

omakorda on viinud evolutsioonipuude rekonstrueerimise meetodid üha täpsemaks ja keerukamaks. Samuti on pidevas muutumises algoritmid. 21. sajandil ei võrrelda enam lihtsalt erinevaid geene – tavaliselt publitseeritakse korruga liigi kogu geneetiline info ning võrreldakse siis seda teiste avaldatutega. Tõsi, seesugune lähenemine hõlmab peaaegjalikult veel mikroorganisme, kelle genoomid on piisavalt väikesemahulised, et neid tervikuna hõlmata.

Molekulaarse variatsiooni vaatlused viisid Motoo Kimura 1968. aastal molekulaarevolutsiooni neutraalteooria postuleerimiseni. Sarnase hüpoteesi esitasid ka Jack Lester King ja Thomas Hughes Jukes 1969. aastal. Selle põhjal kogunevad genoomi pidevalt muutused, millel pole mingisugust mõju organismi tunnustele, eelkõige kohasusele tervikuna, või kui on, siis nõrgalt kahjulik toime. Kimura nimelt ei suutnud nõustuda Haldane printsiibiga (1957) loodusliku valiku hinnast – ekstrapoleerides mõnede geenide valkude koostise muutumist kogu genoomile, paistis see olevat liiga suure kiirusega üksnes loodusliku valiku mehhanismile toetudes. Kuigi alguses tekitas selline suhtumine teravat diskussiooni, siis aastakümne lõpuks oli sellele hüpoteesile kogunenud juba hulgaliselt poolehoidjaid. Kimura teooria lahendab sisuliselt ka Haldane'i dilemma nn. kasuliku evolutsioonikiiruse limiteeritusest, kuigi veel tänaseni meeldib kreatsioonistidel see teaduslikku tähtsuse kaotanud artikkel kontekstist välja rebida ja näidata, et molekulaarevolutsioon lihtsalt ei toimi.

Praegugi jätkub genoomse materjali struktuuri valikumõjude uurimine (kuigi valik saab toimida siiski läbi fenotüübi) erinevate matemaatiliste lähenemiste abil. Neutraalteooriast tuleneb asjaolu, et molekulaartasemel ei juhi evolutsiooni mitte niivõrd looduslik valik, kui mutatsioonide juhuslik teke koos geneetilise triiviga. Molekulaar-evolutsiooniteooria ja populatsioonigeneetika hakkasid 1960. aastate lõpuks teineteisest „aru saama” – selgus, et populatsioonisisene ulatuslik polümorfism ei ole püsiv nähtus, vaid on molekulaar-evolutsiooniliste mehhanismide poolt pidevalt pisut muudetav. Hüpoteesi esitajatele ei jäänud kahe silma vahele asjaolu, et kui mingil valgul oli suurem roll võrreldes teistega, siis selles valgus oli muudatusi liikidevahelises võrdluses palju vähem – see tähendab, et kui vähegi võimalik, siis üritab looduslik valik hoiduda molekulaartasandil muudatuste tegemisest.

Eelpooltoodud sündmuste valguses hakkas kuuekümnendatel jõudsalt arenema molekulaarse fülogeneesi suund. Esimesed põhjalikud evolutsioonipuude rekonstruktsioonid tehti tsütokroom-c valgu järjestuste põhjal (Fitch ja Margoliash 1967) ning see osutus sarnaseks tollel ajal tuntud selgroogsete ja selgrootute sugulust kirjeldava puuga. Käesoleval ajal käib uute fülogeneesipuude loomine ja nende õigsuse testimise meetodite väljamõtlemine hooga edasi. Lisaks puudele arendati edasi

geneetiliste distantside meetodit (Nei 1972), mis kergendas valguforeesi võidukäiguajastul tugevalt lähedaste liikide evolutsiooniliste seoste uurimist.

Mitokondriaalne pärilikkus ja sellest tulenevad asjaolud

Siinkohal peab aga R. Altmanni poole tagasi pöörduma. Nimelt avaldas ta 1880. aastal teose „Die Elementarorganismen“, milles kirjeldas erilisi väikesed granulaarseid osakesi, mis on rakus näha ning arvas, et need peavad olema mingid väikesed parasiitsed organismid, mis suurtes rakkudes elavad. See paistis olevat üsna põrgulik idee. Tänapäeval on aga selleni enam-vähem tagasi jõutud. Nimelt kirjeldas Altmann mitokondreid, mille olulisus raku energiaainevahetuses selgus 20. sajandi keskpaigaks. Aasjaolu, et see organell sisaldab ka DNA'd, selgus alles 1964–1965. aasta paiku, mil mitu sõltumatut uurimisgrupp leidsid nukleiinhapet erinevate organismide mitokondritest. Vaata täpsemat ülevaadet ühe asjaosalise sulest (Schatz 2001), kes eeldas, et kuna mitokondris on suur hulk valke, siis võiks neid ju ratsionaalsuse huvides kohapeal sünteesida. Aga paraku – sellest hulgast DNA't jätkus vaid poole tosina valgu, paarikümne tRNA ja kahe rRNA tarvis. Seega, enamus valke tuli organelli sisse tuua.

Aja jooksul selgus, et mitokondriaalne DNA on osutunud tänuväärseks vahendiks suhteliselt hiliste – mõned aastatuhanded kuni paar aastamiljonit – evolutsiooniprotsesside uurimiseks. Tema molekulaarne kell „tiksub“ nimelt umbes suurusjärgu võrra kiiremini kui tuumageenide oma ning seetõttu on paljud nukleotiidide positsioonid küllastunud mutatsioonidega. Kõige aeglasemalt muutuvad mtDNA geenid – ribosomaalse RNA geenid võimaldavad küll ka sügavamaid evolutsioonipuu lahknemisi vaadata. Oluline on siinkohal ära märkida, et paljudel organismidel pärandub mtDNA üksnes emapoolselt ning näiteks imetajatel ta ei rekombineeru – tema pärandumine ei allu Mendeli seadustele ja see teeb tulemuste interpreteerimise tunduvalt lihtsamaks. Käesoleval ajal on mitmed juhtivad evolutsiooniprobeemidega seotud teadusajakirjad pilgeni täis erinevate organismirühmade esindajate kohta koostatud fülogeneesipuude rekonstruktsioone ning mitokondriaalse DNA analüüse.

Mitokondriaalse geneetilise informatsiooni rohkus on võimaldanud välja kujuneda teadussuunal, mida kutsutakse *fülogeograafiaks*. Selle mõiste võttis 1987. aastal kasutusele John Avise. Evolutsioonipuule lisatakse juurde teave liikide erinevast geograafilisest levikust, mis omakorda võimaldab rekonstrueerida liigi kujunemise täpsemat ajalugu. Bio-geograafia, kui selgemate piiridega teaduse väljakujundajaks sai 19. sajandil Darwini teooriaga sarnase hüpoteesi esitanud Alfred R. Wallace, kes oma 1876. aasta teoses „The Geographical Distribution of Animals”

kirjeldas detailsemalt P.L. Selateri poolt esitatud (1858) kuue zoo-geograafilise tsooni olemust. Need suured jaotused on ka tänapäeval enam-jaolt samasugused tolleaegsetele. Ilmselgelt oli oluline roll ka omaaegsel saksa teadlasel Alfred Wegeneril, kes – lugedes kirjandusest viiteid sarnaste fossiilide leidude kohta eri kontinentidel – püstitas 1915. aastal hüpoteesi mandrite triivist ja eeldas, et kunagi oli olemas olnud hiidmanner, mille ta ristis *Pangaeaks*. Kahjuks ei jõutud teadusmaailmas tema eluajal tema hüpoteesi sisulise arutamiseni. Tal polnud esitada ka veenvat mehhanismi, millega kirjeldada mandrite triivimise põhjuseid. Kuid 1960. aastate alguseks olid teadlased, eelkõige geoloogid, selles lõpuks veendunud. Tänapäevasemaks muutus ka biogeograafia suund – 1966. aastal avaldas Willi Hennig raamatu „Phylogenetic systematics”, milles ta rõhutas kladistilise käsitluse olulisust biogeograafias. Kladistiline biogeograafia (ka vikaarsus-biogeograafia) tegeleb Maa ja tema elustiku muustrite ning protsesside klassifikatsiooniga läbi geoloogilise ajaskaala.

Altmanni 19. sajandi hüpotees sellest, et mitokondrite näol on tegemist parasitidega, on osutunud enam-vähem tõeks. Nimelt esitas 1970. aastal Lynn Margulis oma raamatus „The Origin of Eukaryotic Cells” hüpoteesi, et päristuumsed organismid on saanud kõik oma organellid endosümbioosi käigus. Konkreetseid tõendeid on siiski leida üksnes mitokondrite ja plastiidide kohta. Viburid, tsentrioolid, vakuoolid, tuum ja Golgi kompleks paistavad olevat eukarüootidele siiski algupärased. Erinevate eukarüootide mitokondrite DNA võrdlus on näidanud, et kõige rohkem leidub sarnasust α -proteobakteritega, mis viitab sellele, et endosümbioosi protsess kunagise hüpoteetilise eukarüooti eellase ning α -proteobakteri vahel pidi toimuma eukarüootsuse tekkimise väga varases etapis. Plastiidide esmane päriolu on seotud tsüaanobakterite endosümbioosiga, küll aga on nad läbi elanud mitmesuguseid sekundaarse endosümbioosi protsesse.

Elupuu põhiharud

Carl von Linné jagas kogu eluslooduse taimedeks ja loomadeks. Tema jaoks olid liigid pärit paradiisist ning selle üle ta enam rohkem ei spekuleerinud. Darwin oma trükis avaldatud töödes evolutsioonipuid ei esitanud, küll tegi seda aga tema väidete eest võitleja Ernst Haeckel, kes avaldas mitu üsna peenelt esitatud pilti, mis olid aga pelgalt spekulatiivsed. 19. sajandil avastati palju teadusele senitundmata tuumaga üherakulisi organisme. Neid hakati kutsuma *Protozoa*'deks e. *Protoctista*'deks. Haeckel (1866) eristas taimedest ja loomadest *Protista*'de hulka tuumata mikroorganismid (prokarüootid) *Monera*, kuid hiljem (Haeckel 1869) koostas ilmselgelt polüfüleetilise rühma, ühendades protistidega seened ja

Joonis 2. Lihtsustatud eukarüootide ja prokarüootide fülogeneesi konsensuspuu. Arvestatud on nii molekulaarsete kui morfoloogiliste tunnustega. Skeem on kokku pandud põhiliselt Baldaufi (2003) ja Cavalier-Smith (2003) kirjeldatud fülogeneetiliste seoste põhjal. Üle testis kuue supergrupi jaotust Parfrey et al. (2006). Enamus rühmi on monofüleetilised, välja arvatud amööbid ja seenelaadsed organismid, kes on laotunud laiali. Väga parafüleetilist rühma *Heliozoa* pole pildil näidatud, samuti on ära jäetud mitmed väiksemad rühmad. *Opisthokontidel* on lamedad mitokondri kristad (enamusel ülejäänud eukarüootidest on tubulaarsed) ning vähemalt sigimiskrakkudel üks vibur. *Bikonta* viitab sellele, et neil on vähemalt kaks viburit. Fotosüntees on eukarüootidel tekkinud ühekordselt roheliste taimede eellastel ja seejärel mitmete teiseste endosümbioosiprotsessidega edasi levinud. Nt. malaariaplasmoodiumil apikompleksade hulgas on säilinud nelja membraaniga organelli jäänus; enamikel autotroofsetel kromalveolaatidel on see organell aga kadunud. Osadel organismidel, algselt *Archezoa*'dena defineeritud üherakulistel eukarüootidel, mitokondri puudub. Nüüdseks on teada tuumageenide analüüsist, et nendel (peamiselt ekskavaatidel) on see lihtsalt kaduma läinud või degenerereerunud hüdrogenosoomiks. Kuigi hulkraksus on levinud põhiliselt unikontide ja taimede hulgas, siis stramenopiilidel kromalveolaatide seas on sageli võime moodustada koloniaalseid ühendusi. *Metazoa*'dele lähedaseimateks protistideks on kaelusviburlased (*Choanoflagellata*, nt. *Monosiga ovata*).

päristuumsete täisgenoomide andmeid hulganisti ning nende alusel on leitud, et enamuse geenide erinevuse saab fülogeneesipuus jagada kolme suurema domeeni vahel: eukarüootid, arhebakterid ja eubakterid. Fülogeneesipuude analüüs on näidanud, et varajasemates elu arengu etappides paistab olevat olnud sagedane nähtus geenide horisontaalne ülekanne üksikest evolutsiooniliselt kaugete liikide vahel – protsess, mis jätkub ka tänapäeval, kuigi väiksema sagedusega.

Keerulisem on seis eukarüootide domeeniga, mille struktuur on sellel sajandil olnud pidevas muutumises (vt. joonis 2). Selle grupi lahtiharutamisel on olnud suuri teeneid Tom Cavalier-Smithil juba üle paarkümne aasta. Põhiliselt torkab silma kuus suuremat haru e. riiki, millest ühes (*Opisthokonta*) on nii loomad kui seened ning teises grupis amööbid ja limasened (*Amoebozoa*). Need kaks kuuluvad *Unikonta* (ainuviburlaste) suurrühma. Ülejäänud neli kuuluvad *Bikonta* (kaheviburiliste) suurharusse: *Rhizaria* (juurjalgsed amööbid, radiolaarid e. Kiirelised, foraminifeerid e. kambriilised), *Plantae* (maismaataimed, puna- ja rohevetikad), *Chromalveolata* (ripsloomad, apikompleksad, dinoflagellaadid, ränivetikad, oomütseedid), ning *Excavata* (parabasaliidid, diplomonaadid, oksümonaadid, trüpanosoomid, euglenoidid). Täpsemat eestikeelset ülevaadet saab näha R.-H. Mikelsaare ning M. Prousi 2006. aasta artiklitest (Mikelsaar 2006, Prousi ja Mikelsaar 2006). Samuti oleks õpetlik tutvuda eestikeelse

põhjaliku ülevaatega Elu Puu ehitamisega seotud probleemidest Kalle Olli koduleheküljel: <http://moritz.botany.ut.ee/~olli/PE/protist.pdf>

Kokkuvõtteks võib öelda, et tänapäeval jätkub enamuste, kunagi väljaõeldud hüpoteeside (looduslik valik, keskkonna mõju organismi päritavusele, molekulaarkell, neutraalsushüpotees, geneetiline triiv, rajaja efekt) falsifitseeritavate või siis toetavate tõendite otsimine ning paralleelselt sellega nii tehnilise kui ka matemaatilise relvastuse tugevdamine.

Kasutatud kirjandus

- Avery O.T., MacLeod C.M. & McCarty M. 1944. Studies of the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from *Pneumococcus* Type III. *Journal of Experimental Medicine* 79: 137–158.
- Avise J.C., Arnold J., Ball R.M., Bermingham E., Lamb T., Neigel J., Reeb C.A. & Saunders N.C. 1987. Intraspecific phylogeography: The mitochondrial DNA bridge between population genetics and systematics. *Annual Review of Ecological Systematics* 18: 489–522.
- Baldauf S.L. 2003. The Deep Roots of Eukaryotes. *Science* 300: 1703–1706.
- Cavalier-Smith T. 2003. Protist phylogeny and the high-level classification. *European Journal of Protistology* 39: 338–348.
- Chargaff V.E., Vischer E., Doniger R., Green C. & Misani F. 1949. The composition of the desoxyribose nucleic acid of thymus and spleen. *Journal of Biological Chemistry* 177: 405–416.
- Crick F. 1958. On protein Synthesis. *Symp.Soc.Exp.Biol., The Biological Replication of Macromolecules XII*, 139–163.
- Dahm R. 2008. Discovering DNA: Friedrich Miescher and the early years of nucleic acid research. *Human Genetics* 122: 565–581.
- Darwin C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London: John Murray, 502 p.
- Haeckel E. 1866. *Generelle Morphologie der Organismen*. Georg Reimer, Berlin, 574p.
- Haldane, J.B.S. 1957. The Cost of Natural Selection, *Journal of Genetics*. 55: 511–524.
- Kimura M. 1968. Evolutionary rate at the molecular level. *Nature* 217: 624–626.
- Margulis L. 1970. *Origin of eukaryotic cells*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, 349 p.

- Mendel G. 1866. Versuche über Pflanzenhybriden. *Verhandlungen des naturforschenden Vereins in Brünn. Band 4*. Brünn, 43–47.
- Mikelsaar R.-H. 2006. Mida on eeltuumsed elupuus päristuumsetele pärandanud? In: I.Tulva, M. Öpik, P. Mänd (toim) *Schola Biotheoretica XXXII, Pärandumise teooria*, Tartu, 50–60.
- Parfrey L.W., Barbero E., Lasser E., Dunthorn M., Bhattacharya D., Patterson D.J. & Katz L.A. 2006. Evaluating Support for the Current Classification of Eukaryotic Diversity. *PLoS Genetics* 2: 2063–2073.
- Prous M. & Mikelsaar R.-H. 2006. Eukariöodiriigid molekulaarbioloogia ajastul. In: I.Tulva, M. Öpik, P. Mänd (toim) *Schola Biotheoretica XXXII, Pärandumise teooria*, Tartu, 61–67.
- Schatz G. 2001. What Mitochondria Have Told Me. *Molecular Biology of the Cell* 12: 777–778.
- Zuckerkindl E. & Pauling P. 1962. Molecular Disease, Evolution and Genic Heterogeneity. *Horizons in Biochemistry: Albert Szent-Györgyi Dedicatory*, Volume ed. Michael Kasha and Bernard Pullman, New York: Academic Press, 189–225.
- Viikmaa M. 2008. Mendeli seadused – klassikalised bioloogiaseadused. In: A. Vanatoa, I. Puura (toim.) *Schola Biotheoretica XXXIV, Seadused bioloogias*, Tartu, 42–51.
- Watson J.D. & Crick F.H. 1953. Genetic implications of the structure of deoxyribonucleic acid. *Nature* 171: 964–967.
- Whittaker R.H. 1969. New Concepts of Kingdoms of Organisms. *Science* 163: 150–160.
- Woese C.R. & Fox G.E. 1977. Phylogenetic structure of the prokaryote domain: the three primary kingdoms. *PNAS* 74: 5088–5090.

Helle-Viivi Tolk (htolk@ebc.ee) – Eesti Biokeskus, Riia 23, Tartu 51010.

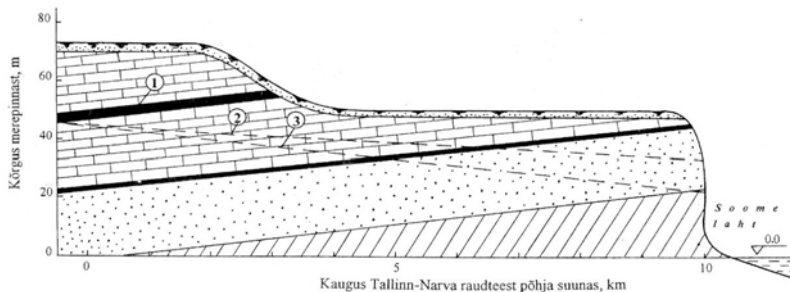
Akumuleeriv hüdroelektrijaam

Enno Reinsalu

Eestis on maavarade kaevandamine ja veemured lahutamatud. Maavara väljates tekib maapõue tühi koht, mida loodus teatavasti ei salli. Otsekohe võib tühemik täituda põhjaveega. Veega täitunud karjäärid on Eesti füüsilise geograafia ja maastike oluline element. Meedia vahendab aegajalt uudiseid Tallinna lähedal asuvatest Raku ja Männiku, samuti Rummu jt. karjäärijärvedest. Eksootiline koht on Jaagarahu murru järv Saaremaal. Ka suletud allmaakaevandused täituvad veega. Kaheksast suletud põlevkivikaevandusest koosnev Jõhvi allmaa-veekogum sisaldab praegu üle 150 mln m³ vett (Reinsalu jt. 2006).

Veeärastus, selle meetodid ja vahendid on mäeinseneri igapäevatöö. Vee pumpamine on kulukas. Seepärast on tavaline, et püütakse kaevandada põhjavee tasemest kõrgemal ja kui see pole võimalik, siis alandada vee taset. Turba kaevandamisel on viimane moodus igapäevapraktika. Vee ärajuhtimine pole just keeruline, kui on, kuhu seda juhtida. Põlevkivikaevandustel sellist võimalust ei ole. Või siiski?

Paljudel mäeinseneridel on tulnud mõtte, et kuna põlevkivi lasub põhjaranniku lähedal ja merepinnast kõrgemal, siis võiks kaevandustes tekkiva vee lasta tunnelit mööda klindist alla. Ülgase fosforiidikaevanduses (1922–1939) nii tehtigi. Esimene mõtte publitseerija oli professor Maksim Gazizov – tatari rahvusest maateadlane, kes oma tähtsamad uuringud teostas Eesti Põlevkivikoondise peageoloogina (Gazizov 1971). Eesti keeles demonstreeris Gazizovi ideed tema õpilane Arvi Toomik (joonis 1, Adamson jt. 1999). Projekt tegelikkuses aga ei teostunud. Toimis tuntud reegel – mida lihtsam idee, seda raskem teostada.

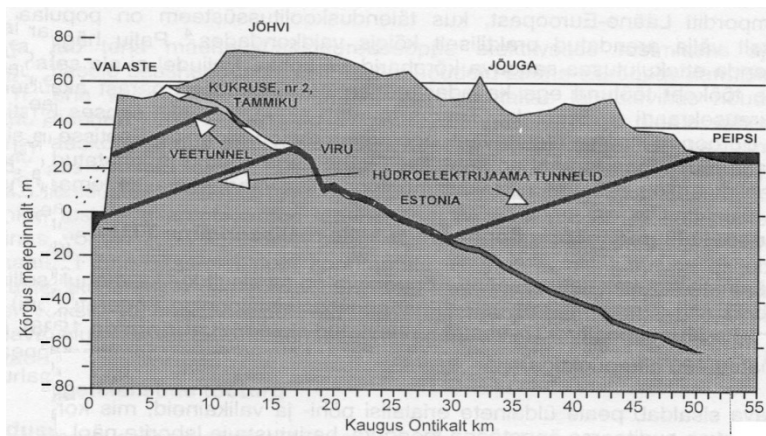


Joonis 1. Veeärastustunnel põlevkivikaevandusest Valastesse: 1 – põlevkivikihind; 2 – tunneli põhi kaldega 0,0015; 3 – sama, kaldega 0,003 (Adamson jt. 1999).

1999. aastal oli selge, et pärast Kukruse, Käva ja Jõhvi kaevanduse sulgemist lõpetatakse töö ka Tammikus, Sompas ja mujalgi ning eelmainitud Jõhvi allmaa-veekogum laieneb. Siis tekkiski idee arendada Gazizovi mõtet edasi märksa laiema eesmärgiga. Tehti ettepanek tekitada allmaa-hüdroelektrijaam (Adamson jt. 1999).

Teame, et Venemaa Jaanilinna (Ivangorodi) hüdroelektrijaam töötab Narva jõe vee jõul, millest 31% tuleb Eesti valgalalt. Seega kuulub Narva jõe keskmisest vooluhulgast ($400 \text{ m}^3/\text{s}$) $120 \text{ m}^3/\text{s}$ Eestile. Kuna me seda 1/3-ndikku hetkel Eesti huvides kasutada ei saa, võiks hakata oma hüdroelektrijaama ehitama. Kuhu?

Peipsi vee tase on 30 m kõrgem kui Soome lahes. Peipsi järve ja Soome lahe vahelisele alale jääb tulevikus üle kolmesaja miljoni kuupmeetri ammendatud allmaaõõnsusi. Kui need pärast põlevkivi kaevandamise lõpetamist ühendada Peipsiga, saaks surveleise vee tuua Soome lahele lähemale. Selleks tuleks rajada 20 km tunnelit Peipsist Estonia kaevanduseni ja hoolitseda, et sealt vesi lahe suunas edasi pääseks (joonis 2). Peipsist tulevate tunnelite summaarne põiklõige oleks 120 m^2 . Estonia kaevandusest põhja poole jäävasse Viru kaevandusse võiks rajada allmaa-hüdroelektrijaama ja sealt edasi 15 km tunnelit mereni. 1999. aasta hindades oli tunnelite rajamise maksumus 10^9 krooni.



Joonis 2. Võimaliku allmaaelektrijaam põlevkivimaa pöues (Adamson jt. 1999).

Kuigi sellise hüdroelektrijaama võimsus oleks suurem kui kõigi teiste Eesti jõgede potentsiaal kokku, annaks allmaa-hüdroelektrijaam vaid 5% Eesti elektrienergia vajadusest. Kuid kogusest palju olulisem on sellise jaama manööverdamis- ja energia akumulereerimisvõime. Energia

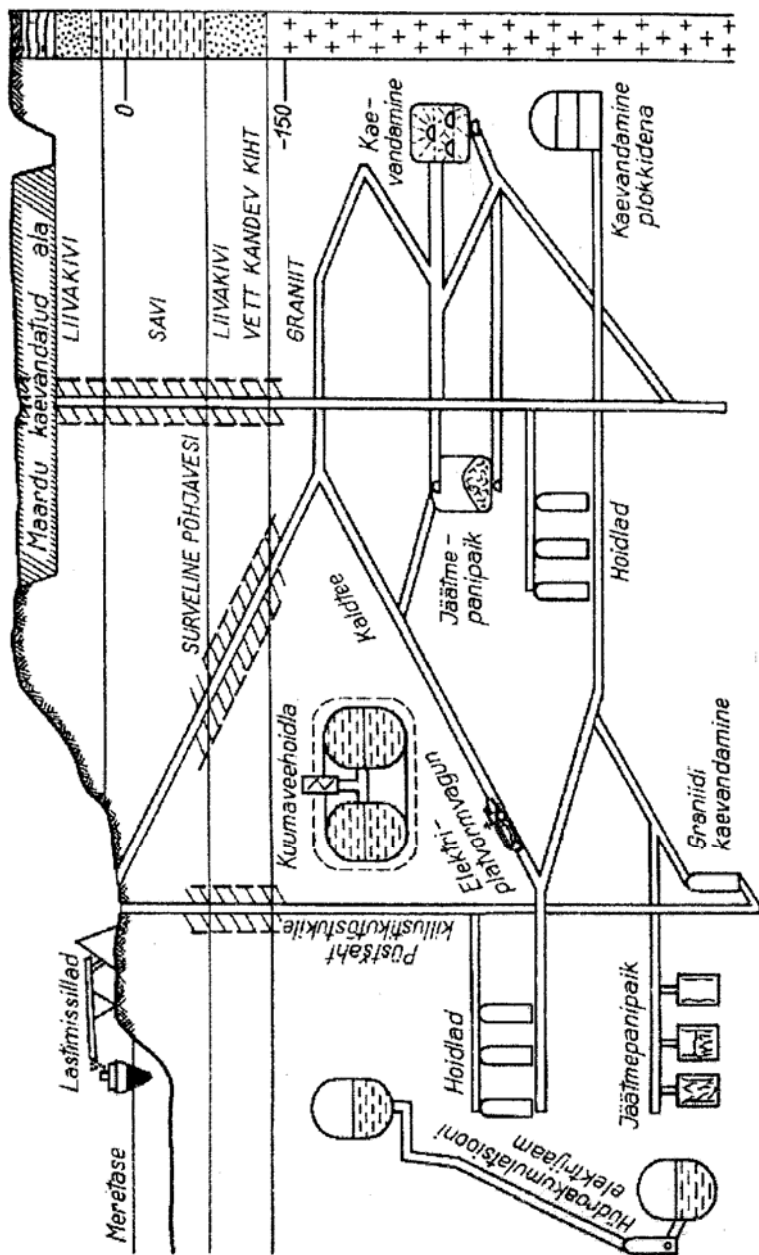
salvestamine on kallis teenus, mida seni sisse ostame, eelkõige Läti hüdroelektrijaamadelt. Energia akumulereerimist läheb aga järjest enam vaja, sest tuule- ja tuumaenergeetika arendamine ei ole ilma selleta mõeldav.

Ka see projekt ei saa kunagi teoks – idee on samavõrd lihtne kui võrd keeruline oleks teostus. Projekti vastu on keskkonnakaitse tunneli mõlemas otsas – nii Peipsi kui ka Ontika pool. Allmaa-veekogumit häiriks hüpoteetilised veelöögid, mis tekiks varingutest veega täitunud kaevandustes (Reinsalu jt. 2002). Lisaks tuleks Venemaaga kokku leppida Peipsi vee kasutamise.

Kuid kaeveõntesse koguneva vee kasutamise idee on muutumas kinnisideeks. 2008. aasta aprillis, Eesti geoloogide traditsioonilisel kevadkogunemisel, kus tavakohaselt tehakse ka aprillinalju, tulime välja järjekordse hüdroelektrijaama plaaniga, kasutades lähemas tulevikus suletavasse Narva põlevkivikarjääri kogunevat vett. Või veel parem – lasta sealt läbi Narva jõe vett, milleks tuleks rajada vaid paarisajameetriline kanal jõeni (joonis 3).



Joonis 3. Narva põlevkivikarjääri moodustuva karjäärijärvestiku skeem võimaliku akumulatsioonihüdroelektrijaamaga.



Joonis 4. Maardu graniidimaardla võimaliku kasutamise visandskeem (Adamson ja Pirrus 1994).

See idee tundub olevat sisukam. Allmaakaevanduse energia-salvestusvõime poleks suur, sest kolme meetri kõrgused allmaakaevandid mahutavad vähe vett. Karjäärikaevandite akumuleeriv maht oleks tunduvalt suurem, sest kaevikud on kuni 25 m sügavused. Samuti ei tuleks karta veelööke. Vett ei peaks suunama mitte looduskaunile Ontikale, vaid tööstuslinna Sillamäele. Kanal sinna oleks ainult kaks korda pikem kui Laagna tee süvend Tallinnas, ehk küll kitsam ja sügavam. Kanali ehitamine karjäärist vabanevate ekskavaatoritega on võrreldamatult lihtsam kui tunnelite läbimine kaljus.

Selle lihtsa idee teostamise keerukus peitub füüsikas. Kuigi Narva järvestu vee maht on suur, on kõrguste vahe väike. Normaalsed akumuleerivad hüdroelektrijaamad opereerivad vähemalt 300-meetrise kõrguste vahega. Sellise kõrgusvahega jaama tasub kavandada Maardu graniidikaevandusse (joonis 4). Peipsi järve ja Soome lahe kõrguste vahe on kümme korda väiksem ja selle vähesegi tasandab kanal Viivikonnast Sillamäele. Paisutatud veel ei ole survet, energiavoog on hõre. Hõre energiavoog tähendab, et selle püüdmiseks peab kõrvuti töötama palju turbiine, nagu tehakse tuule püüdmiseks. Suurt hulka veeturbiine pole mõtet panna kitsale kanalile, nad tuleb panna kõrvuti pikale tammile. Sellest kasvabki välja veel uuem idee – loksutada Narva karjäärijärve vett üles-alla, ühest osast teise ja tagasi.

„Loksutav“ hüdroelektrijaam töötaks kaheks jagatud Narva karjäärijärvestiku vahel. Kui elektrit on palju, siis pumbatakse vett alumisest basseinistikust ülemisse ja kui vähe, siis lastaks ülemisel veel läbi turbiinide alla joosta. Elektrit oleks rohkelt öösel, eriti, kui süsteemis on tuumajaam. Elektrit oleks piisavalt ka paraja tuule ajal, kui süsteemis on elektrituulikud. Elektrit oleks vähe hommikuti ja õhtuti ja tuulevaikselt ajal, eriti pakaselisel talvel. Võimalik, et selline jaam ei kasutakski Narva jõe vett, sest kasutab oma kaeveõntesse sademetest ja põhjaveest kogunenud vett. Siis ei oleks vaja ka võimatuna tunduvaid läbirääkimisi Venemaaga Peipsi järve ja Narva jõe vee kasutamise küsimustes.

Suurim probleem selle lihtsa idee rakendamisel on põlevkivi-elektrikute jätkuv kava hankida Narva karjäärist kütust, seniste kavade kohaselt veel kakskümmend aastat. Arvatavasti tuumajaam ja massiline tuuleenergeetika enne teoks ei saakski.

Lõpetuseks – ideede voog ei ole hõre. Ka Maardu ammandatud fosforiidikarjäär on mahukate kaevikute kogum. Vee tase karjäärijärvedes on 30–32 m üle merepinna, kuid võiks olla mõnes kohas kuni 40 m. Ka seda vett võiks loksutada energiavoo pulseerimise silumiseks.

Kasutatud kirjandus

- Adamson A., Reinsalu E., Toomik A. 1999. Võimalikud protsessid suletud kaevandustes. Rmt: Reinsalu, E. (toim.) *Mäeõiglus ja mäeohutus: konverentsi ettekannete teesid ja artiklid*, Tallinn, TTÜ mäeinstituut, 8–13.
- Adamson A. ja Pirrus E. 1994. Eesti oma graniit. *Eesti Loodus*, 280–282.
- Gazizov M.S. 1971. *Karst ja tema mõju mäetöõdele*. Nauka, Moskva, 204 lk (vene k).
- Reinsalu E., Toomik A., Valgma I. 2002. *Kaevandatud maa*. Tallinn, TTÜ mäeinstituut, 96 lk.
- Reinsalu E., Valgma I., Lind H., Sokman K. 2006. Technogenic water in closed oil shale mines. *Oil Shale* 23(1): 15–28.

Enno Reinsalu (ere@cc.ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Hämmastavad augud ja ökogigandid

Karin Robam, Ingo Valgma

Suurimad inimese poolt rajatud augud ja õõnsused on jäänud maa sisse maavarade kaevandamise tagajärjel. Avatud augud on karjäärid ja allmaaugud on kaevandused. Sügavaimad või suurimad kaevandused ja karjäärid on rajatud need maavarade kaevandamiseks, mille väärtus on suurim. Aja jooksul kasvavad nii aukude mahud ja sügavused kui ka mäemasinate parameetrid. See on tingitud peamiselt tehnoloogia täiustumisest ja kaevandamisprotsesside optimeerimisest.

Maailma suurim karjäär – vasekarjäär Kennecott' Utah Copper

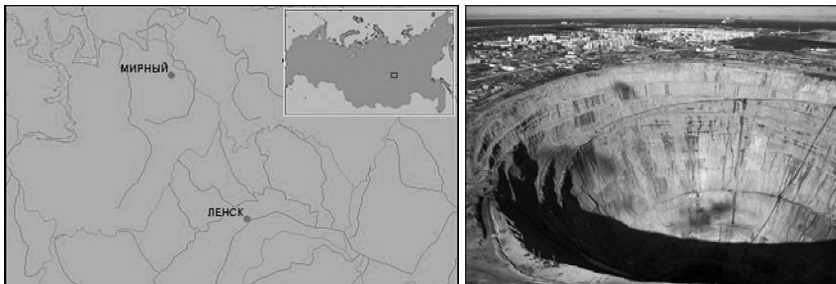
Maailma suurim vasekarjäär Kennecott' Utah Copper Bingham asub Põhja-Ameerikas, Salt Lake City lähistel (joonis 1). Karjääri pikkus on 4 km ning sügavus 1,2 km (sõltuvalt mõõtmiskohast 0,8–1,6 km). Kaevandamist alustati aastal 1863 ning see jätkub tänapäevani. Karjäär on suuruselt teine vasetootja Ameerika Ühend-riikides, tagades ligikaudu 15% vase nõudlusest riigis. Kennecott' Utah Copper Bingham toodab aastas hinnanguliselt 300 000 tonni rafineeritud vaske. Lisaks vasele toodab karjäär 2 000 000 naela molübdeeni (4444 t), 4 000 000 untsi hõbedat (113,4 t) ja 400 000 untsi kulda (11,34 t; www.utah.com/attractions/kennecott.htm). Maailma vasetoodang on ligikaudu 14,7 miljonit tonni aastas. Suurimaks vasetootjaks on Tšiili, kaevandades 36% vase mahust, järgnevad Ameerika Ühendriigid (7,8%), Peruu (6,9%), Indoneesia (6,3%) ja Austraalia (6,3%; Weber & Zsak 2007).



Joonis 1. Vasekaevandus Kennecott' Utah Copper Bingham.

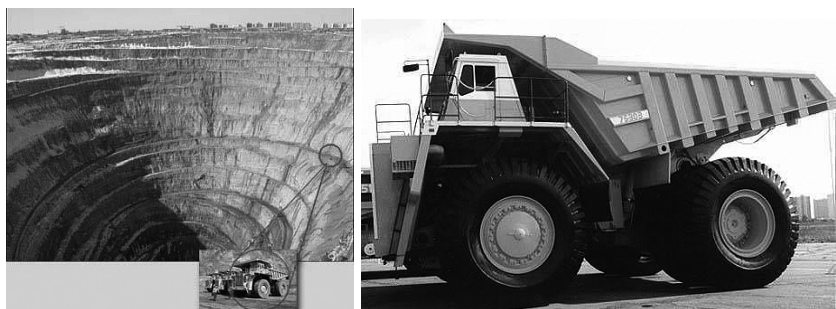
Maailma suurim teemandikarjäär Venemaal

Maailma sügavaim teemandikarjäär asub Venemaal, Ida-Siberis, Mirnõi linna lähistel (joonis 2). Teemandikarjääris alustati kaevandamist aastal 1957 ning toodanguks oli ligikaudu kaks miljonit karaati aastas.



Joonis 2. Teemandi aukkaevandus Venemaal.

Karjääri sügavus on 525 meetrit, diameeter 1,25 kilomeetrit (<http://damncoolpics.blogspot.com/2007/09/biggest-holes-in-world.html>). Kaevandamine karjääris lõpetati 2004. aastal. Karjääri suurusest annavad aimu allolevad pildid. Parempoolsel pildil olev kallur on üks maailma suurimaid: pikkusega 13,36 m, laiussega 7,78 m ning kõrgusega 6,65 m (<http://damncoolpics.blogspot.com/2007/09/biggest-holes-in-world.html>). Vasakpoolsel pildil asub kallur kaldteel (joonis 3).

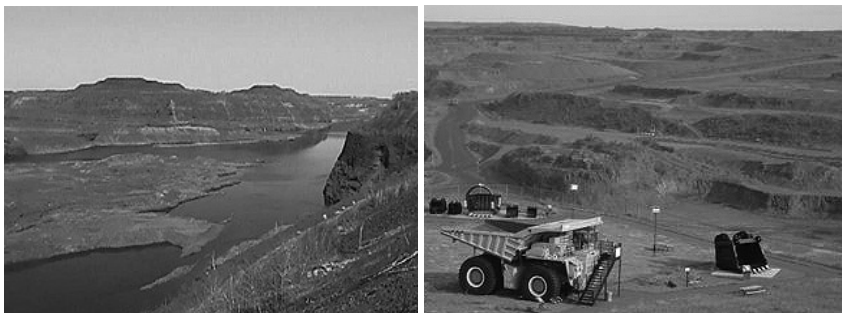


Joonis 3. Üks maailma suurimaid kallureid karjääri rambis.

Maailma suurim rauamaagi karjäär Hull Rust

Hull Rust'i rauamaagi karjäär on suurim töös olev omataoline maailmas, kus kaevandamisega tegeleb ettevõtte „Hibbing Taconite Company” (joonis 4). Rauamaagi karjäär asub Minnesota osariigis, Põhja-Ameerikas. Esimene rauamaagi kaubapartii tehti juba aastal 1895 ning ka tänapäeval, rohkem kui 100 aastat hiljem, toimub kaevandamine karjääris edasi.

Hetkel on karjäär ligikaudu 4,8 km pikk, 3,2 km lai ning 165 m sügav. Algupäraselt oli kaevandamise alal tegu 30 erineva karjääriga, kuid need ühendati 20–21 sajandi vahetusel. Hinnanguliselt on alates karjääri algusaastast 1895 kuni tänapäevani kaevandatud ligikaudu 2 miljardit tonni kivi ja rauamaaki. See kogus on võrdne mahuga, mis tuleks kaevata, et maakera läbiks 7,3 meetrise diameetriga käik.



Joonis 4. Hull Rust'i rauamaagi karjäär Põhja-Ameerikas.



Joonis 5. Kimberley Big Hole Lõuna-Aafrikas.

Maailma suurim käsitsikaevandatud teemandikarjäär Kimberley Big Hole

Maailma suurim käsitsikaevandatud teemandikarjäär asub Lõuna-Aafrikas (joonis 5). Aastatel 1866–1914 kaevandasid 50 000 kaevurit karjäärist labidate ja kirkadega ligikaudu 3 t teemante. 1914 aastal karjäär suleti. Kimberley karjääri sügavuseks on 1097 m (<http://damncoolpics.blogspot.com/2007/09/biggest-holes-in-world.html>). Tänapäeval asub seal Kimberley kaevandusmuuseum.

Maailma sügavaim kaevandus – TauTona

Maailma sügavaim kaevandus asub Lõuna-Aafrikas. Selle sügavuseks on umbes 3,8 km (erinevatel andmetel 4,5 km, plaanitud rajada 6 km sügavuseks) (joonis 6). Kaevanduse omanikuks on Lõuna-Aafrika kompanii AngloGold Ashanti. Kaevandamist alustati aastal 1962. Kaevanduses on ligikaudu 5600 töötajat ning 800 km pikkuses allmaakaevetõõsi (<http://en.wikipedia.org/wiki/TauTona>). Kaevandus toodab ligikaudu 15,6 t kulda aastas (http://www.miningweekly.com/article.php?a_id=98516). Lõuna-Aafrika TauTona kullakaevandus on töötamiseks väga ohtlik paik, aastas saab õnnetuste käigus surma keskmiselt viis inimest. Kaevandus on niivõrd sügav, et Maa soojusgradiendi tõttu võib temperatuur käikudes tõusta kuni 60 kraadini. Konditsioneerid kasutades suudetakse temperatuuri langetada 28 kraadini, mis loob töötamiseks sobivad tingimused. Kaevurite teekond maapinnalt maa alla võtab aega kuni poolteist tundi.



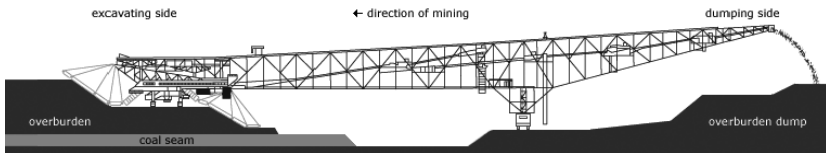
Joonis 6. TauTona kullakaevandus Lõuna-Aafrikas.

Ökogigandid

Hämmastavaid auke ehk suurimaid ja sügavamaid karjääre ning kaevandusi on võimalik rajada vaid suure tootlikkusega, ökonoomsete tehnoloogiate abil (kui jätta välja enne tehnoloogiate loomist kasutatud orjatöö).

Mäemasinaehitajate suurusehullustus on ajendatud nii väljakutsetest kui sotsialistlikust ja kapitalistlikust võistlusest, kuid peamine põhjus suurte masinate ehitamiseks on olnud siiski kaevandamistehnoloogia üks põhitõdedest – mida suurem tootlikkus, seda odavam tonn. Maailma ökonoomseimad mäemasinad on *gigantmäemasinad*. Eesti keeles oleks suurimaid ilus nimetada hiidudeks. Keelte segunemise tõttu nimetatakse suurimaid mäemasinad ka ultra, gigant, super, hüper, mega, monstrum jm. hellitusnimedega.

Maailma suurim liikuv mäemasin on *puistangusild*, mida nimetatakse ka katendisillaks või konveiersillaks (joonis 7). See sild sõidab endise Ida Saksamaa pruunsöekarjääri raudteel ja veab konveieri abil pruunsöekihilt katendikivimid puistangusse. AFB60-nimeline puistur kaalub 30 000 tonni ja on 650 m pikk. Puisturit toidab kuni 3 paljukopalist kettekaskvaatorit. Silla tootlikkus ulatub 36 000 m³/h (ISCSM 2006).



Joonis 7. Puistangusild (ülal) ja puistangusilla alusvanker (all vasakul). Joonis 8. Puistur (all paremal).

Suurimaks iseliikuvaks ekskavaatoriks loetakse endise Lääne-Saksamaa Hambachi pruunsöekarjääri 14195 t kaaluvat pruunsütt kaevan-

davat *rootorekskavaatorit* (joonis 9 ja joonis 10). Rootorekskavaatori maksimaalne astangu kõrgus on 100 meetrit, võimsus 16 778 kW, tootlikkus 12 500 Bm³/h ja kogupikkus 240 m (Valgma 2003). Kui rootorekskavaatorit kasutatakse katendi ammutamiseks, siis veetakse materjal konveieril puistangusse. Puistangusse laotamiseks vajatakse rootorekskavaatoriga võrdväärset masinat, mida nimetatakse *puisturiks* e. puistangu moodustajaks (joonis 8). Puisturi tootlikkus ulatub 18 000 m³/h.

Samas kaalukategoorias on ka maailma suurimad *draglainid* ja *paljandusekskavaatorid*, mille mõõtmetelt võrreldavad esindajad asuvad ka meil Eestis. Kasutatavate kopamahtude järgi ei loeta Eestis töötavaid draglaine gigantmasinatega.



Joonis 9. Rootorekskavaator teed ületamas.

Väljaspool endise NL ja SRÜ riike töötab 272 gigantdraglaini, makstes igauks 208–1200, keskmiselt 294 miljonit krooni tükk. Gigantdraglainideks loetakse üle 30 m³ kopamahuga masinaid, statistiliselt on nende keskmine kopasuurus 53 m³. Seitsmekümnendatel müüdi maailmas viis sellist draglaini aastas; 2,4 tükki üheksakümnendatel ja veel vähem käesoleval ajal. Väiksemaid draglaine toodetakse vähe, seetõttu teisaldavad gigantdraglainid 90% maailma nende karjäärade katendist, kus draglaine kasutatakse.

Maailma suurim sammuv draglain oli Big Muskie – 168 m³ kopamahu ja 295 tonnise tõstevõimega, 68 m kõrge, 94 m pikkuse noolega Bucyrus-Erie 4250-W, kaaludes 12 247 tonni. Pikim draglaini nool on 131 m. Eesti suurim draglain on EŠ15/90 mille kopa maht on 15m³ ja mass 1620 t (joonis 12).



Joonis 10. Mäetudengid rootorekskavaatori rootori ees.



Joonised 11 ja 12. Vasakul Pisdraglaini EŠ15/90 kopp mahutavusega 100 tudengit, täiteteguriga 0,7; paremal gigantkallur.

Maailma suurim mehaaniline *paljandusekskavaator* kaalus 12700 tonni. Võrdluseks – Eestis, endises Oktoobri ehk praeguses Aidu põlevkivikarjääris kasutatud EVG35/65 (nn. Esku) kaalus 4021 tonni. Samas on suurima mehaanilise labida maksimaalne kopamaht 100 m³ võrreldes meie 35 m³-ga. Seega unistused sellest, et meie *Esku* oli maailma suurim ja ainulaadne, ei vasta kahjuks tõele.

Maaailmas on üle 10 m³ kopa suurusega e. *gigantlaadureid* 2100, makstes keskmiselt 55 milj. krooni masin. Kui jagada need laadimis- masinad kopa kandevõime järgi, saame 47% mehhaaniliste labidate, 28% hüdrauliliste ekskavaatorite ja 26% kopplaadurite osakaaluks. Raskeimateks tsüklilise tööviisiga laaduriteks on *mehaanilised labidad*, mille maksimaalne mass on 1400 tonni, kopamaht 61 m³, noole pikkus 23 m ja tõste- võime 125 tonni, töötades vaid 24 sekundilise tsükliajaga. Mehaaniliste labidatega on näiteks asendatud rootorekskavaatorid õliliivade kaevan- damisel Kanadas, pakkudes seega konkurentsi maailma suurima tootlik- kusega masinatele. Firmad Syncrude ja Suncor – pigiliivade kaevandajad on olnud peamised gigantse laadurekskavaatorite tellijad ja katsetajad. Gigantlaadur-ekskavaatoritega laetakse kuni 365 t kandevõimega kallureid 4 tsükli ehk kahe minutiga. Taolisi ekskavaatoreid ehitavad firmad Bucyrus, P&H MinePro, Hitachi, Komatsu ja O&K – olles kohe, kui kallurite tootjad järele jõuavad, valmis ehitama ekskavaatori, mis laeks 4 tsükliga 490 tonnise kandevõimega kalluri.

Maailma suurim *hüdrauliline ekskavaator* on O&K RH400, 45 m³ kopaga, 980 tonni kaaluv pärikoppekskavaator – ainus, mis on võimeline ultrakallureid laadima. Hüdrauliliste gigantekskavaatorite kasuks räägib fakt, et neid on väiksema massi tõttu odavam transportida. See on tähtis näiteks Austraalias, kus karjääride vahel on pikad vahemaad.

Mobiilseteks masinateks loetakse kopplaadureid ja teisi masinaid, mis oma põhioperatsioonide teostamiseks peavad pidevalt asukohta vahetama. Maailma suurim mobiilne masin on *kopplaadur* LeTourneau L-2350, mis kaalub 262 tonni. kaotades oma 73 tonnise tõstevõimega selge piiri ekskavaatorite ja kopplaadurite kasutuspiirkonna vahelt. Sama kopplaaduri all veereb 6806 kg kaaluv, 4 m kõrge ja 1,73 m lai, 136 t kandevõimega maailma suurim rehvi. Kuna rehvi maksab ca 1,1 milj. krooni, siis 8000-tunnise eluea korral maksab selle kasutamine 136 kr/h ehk nelja rehvi kasutamine kopplaaduril 545 kr/h!

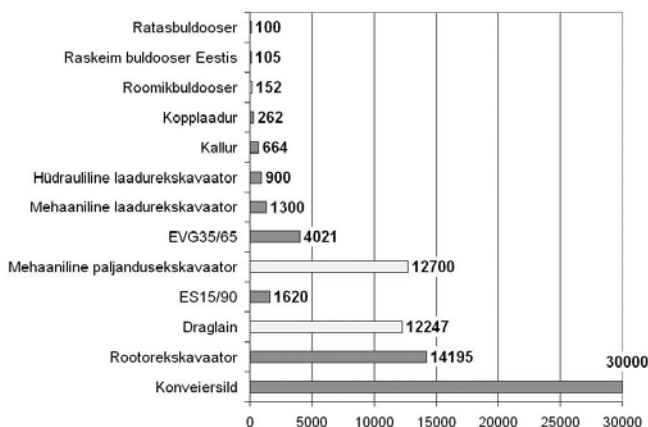
Exskavaatorite tootjate ambitsioone piiravad kallurite ehitajad, kes on arengus pidavalt samm maas. Maailmas on keskmiselt 170-tonnise kandevõimega gigantkallureid 7000. Keskmiselt on kallureid ühe sobiva laaduri kohta 3,1 ja ühe kalluri laadimiseks kulub 5 kopatäit. Maailma suurimad *kallurid* kaaluvad tühjalt 300 tonni, olles kandevõimega kuni 364 t ja kasti mahuga kuni 170 m³ (MinExpo – maailma mäemasinate näituste materjalid 1992 – 2008). Nende autode võimsus ulatub 2647 kW-ni (trollikallurina kasutades 4500 kW-ni) ja hind 56 miljoni kroonini (joonis 11 ja joonis 12). Selliste kallurite piirsuuruse määravad rehvide tootjad. Ühe kallurirehvi maksimaalne kandevõime on 105 tonni. Kalluri kuus rehvi, millest igaüks kaalub viis tonni, moodustavad kalluri hinnast 15%. Üks kilogramm sellist kallurit või ka rehvi maksab 10 eurot ehk 160 kr/kg,

seega täpselt sama palju kui sarnasesse kvaliteediklassi kuuluv viin. Lisaks rehvidele piirab kallurite massi ja kandevõimet mootori võimsus. Mitmetes kohtades, kus on võimalik ja vajalik, näiteks mäkketõusul, kasutatakse gigantkallurite lisaenergiaallikana elektrienergiat. Trolliliiniga veol tähendab see 80% kiiremat sõitu ülesmäge, 1,7 korda suuremat võimsust ja seega 20% vähem kallureid.

Gigantkallurite ehitamine ei ole statistika järgi veel kulunud veole vähendanud, vaid need on jäänud samale tasemele, nagu 240 tonnise kandevõimega kallurite kasutamisel. Siiski on suuremate kui 240 t kandevõimega kallurite erikulu veose ühiku kohta vaid 62% 80 t kandevõimega kallurite omadest. Põhjuseks on suurte rehvide väiksem kasutatavus, mis loetakse 35 000 km, kusjuures 200 tonnise kandevõimega kallurite rehvide kasutatavuseks loetakse 70 000 km. Samas on nimetatud suuremad rehvid 50% kallimad kui väiksemad. Selle tõttu moodustab suurimate kallurite rehvidega seotud kulu 54% jooksvatest kuludest, väiksematel aga 32%. Võrdluseks Eestis kasutatavate 40 t kandevõimega minikarjäärkallurite rehvide kulu moodustab vaid 9% erikulust.

Maailma suurim *roomikbuldooser* on 858 kW mootoriga ja kaalub 152 tonni. Neid masinaid kasutatakse kaevandamise põhioperatsioonidel, katendi teisaldamisel ja kivimi kobestamisel. Suurimad astangud ulatuvad 52 m kõrguseni ja lükkekaugus kuni 244 m.

Maailma suurim *ratasbuldooser* on 636 kW võimsusega, kaaludes 100 tonni. Gigantbuldoosereid kasutatakse ka veorežiimis. Sel juhul sarnaneb saha hõlm kopplaaduri kopale ja lükatav materjal kantakse, mitte ei lükata edasi.



Joonis 13. Maailmas ja Eestis kasutatavate raskeimate mäemasinate täismassid tonnides.

Lõpetuseks võib öelda, et buldooserid on ainukesed gigantmäemasinad, mida Eestis mäetöödel kasutatakse. Põhjuseks on põlevkivihindis asuv kõva paekivi, mille kobestamiseks vajatakse maailma raskeimate buldooseriite massi ja võimsust.

Massiga on heas korrelatsioonis ka suurus, võimsus ja tootlikkus, kuigi erinevate tootjate poolt ja erineval ajal ehitatud masinatel on need näitajad erinevates suhetes. Võrdluseks on toodud Eestis kasutatavad või kasutatud mäemasinad – draglain EŠ15/90, mehaaniline paljandus-ekskavaator EVG35/65 ja raskeim buldooser Eestis. Nimetatud masinad on vastavalt 7,6; 3,2 ja 1,4 korda kergemad maailma raskeimatest (joonis 13).

Kasutatud kirjandus

<http://www.utah.com/attractions/kennecott.htm> [26.09.2008]
<http://damncoolpics.blogspot.com/2007/09/biggest-holes-in-world.html> [26.09.2008]
http://en.wikipedia.org/wiki/Big_Hole [29.09.2008]
<http://fogonazos.blogspot.com/2007/02/largest-drain-hole-ever.html> [26.09.2008]
<http://damncoolpics.blogspot.com/2007/09/biggest-holes-in-world.html> [26.09.2008]
<http://www.planetware.com/kimberley/big-hole-kimberley-mine-museum-saf-nc-kimbh.htm> [29.09.2008]
<http://www.gadling.com/2008/07/15/belize-it-or-not-diving-the-blue-hole/> [29.09.2008]
<http://en.wikipedia.org/wiki/TauTona> [29.09.2008]
http://www.miningweekly.com/article.php?a_id=98516 [29.09.2008]
http://ap3.ee/Default2.aspx?PaperArticle=1&code=4056/new_eri_artiklid_405609 [29.09.2008]

MinExpo – maailma mäemasinate näituste materjalid (1992–2008).

Valgma I. 2003. Gigantmäemasinad, mäemasinad ja mäetehnika. *Eesti Mäeseltsi Mäekonverentsi kogumik*, TTÜ mäeinstituut, Tallinn, 33–37.

Niemann-Delius C. 2006. *Proceedings of the 8th International Symposium on Continuous Surface Mining (ISCSM 2006)*. Aachen 2006.

Weber L. & Zsak G. 2007. World Mining Data. Feder Ministry for Economy and Labour of the Republic of Austria, Vienna.

Karin Robam (karin.robam@ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

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

Laamtektoonika teooria areng ja selle kujunemine paradigmaks

Ülo Sõstra

Esimesed oletused mandrite triivi kohta

Pärast Ameerika avastamist Christopher Kolumbuse poolt hakati Euroopas kiiresti koostama uute merede ja maade topograafilisi kaarte. Juba siis ei saanud tähelepanemata jääda Aafrika ja Lõuna-Ameerika mandrite rannajoonte erakordne sarnasus. See oli selgesti näha juba 1529. aastal Diego Ribera poolt koostatud kaardil.

Jääbki teadmata, kes esimesena esitas hüpoteesi mandrite triivist. Esimeseks trükiseks selle kohta oli ilmselt USA Indiana Ülikooli professori Richard Oweni raamat „Key to the Geology of the Globe“, kus räägiti Aafrika ja Ameerika mandrite lahtitriivimisest. Oma 1858. aastal Pariisis avaldatud raamatus näitas Antonio Snider-Pellegrini graafiliselt, et need mandrid sobituvad rannajoonipidi hästi kokku, kui Atlandi ookean nende vahelt eemaldada. Lahkumist seostas ta Noaage seadusega (Strahler 1998). Sel hetkel jäi mandrite triivi teooria üldise tunnustamiseni veel ligi 125 aastat.

Triiviga seotud probleemid ja nende lahendused

Sammu lähemale maakoore ja vahevöö kivimite vahekorrale ning ligikaudse tasakaalu probleemi lahendamisele tegid J.H. Platt ja G.B. Airy, kes käsitlesid oma 1855. aasta trükises Himaalaja mäestiku gravitatsiooni probleemi ja „mägede juurte“ küsimusi. Uue termini *isostaasia* võttis hiljem selle nähtuse tähistamiseks kasutusele ameerika geoloog C.E. Dutton (1841–1912) oma raamatus „On Some of the Greater Problems of Physical Geology“, (1889), et seletada Maa kuju ja põhilisi erinevusi mandrite ning ookeanibasseinide vahel. Ta oletas, et kuigi maakoore osade tihedus on erinev, eksisteerib nende all võõnd, milles ujuvad kivimid saavutavad tasakaalu. Lisamatejali ja viiteid vanadele haruldastele trükistele, mis kirjanduse loetus nende suure arvu tõttu ei ole ära toodud, võib leida A.N. Strahler'i monograafias „Plate tectonics“ (1998).

Teisiti kujutas Maa ehitust ja arengut kuulus austria geoloog Eduard Suess, kes aastatel 1904–1924 avaldas oma viieköitelise elutöö „Das Antlitz der Erde“. Ta ei pooldanud mobilistlikku mandrite triivi ideed, vaid ühines hoopis fiksidega – geoloogidega, kes ei tunnustanud mandrite triivi. Kui Maa jahtub oma tekkest alates, siis jahtumise käigus tema maht väheneb ja liigne maakoore tõmbub kortsu – justnagu kuivanud õuntel ja ploomidel. Kõike saab siis seletada nn. vertikaalse tektoonikaga. Siiski

jättis Suess pärandusena terminid *sial*, esialgselt *sal*, ja *sima*. *Sial* (*sal*) kasutas ta happeliste magmade kohta, mis sisaldavad valdavalt räni (Si) ja alumiiniumi (Al). Aluseline magma sai nimetuse *sima*, kus *ma* vastab suurele magneesiumi (Mg) sisaldusele.

Austria paleontoloogi M. Neumayr'it järgides eristas Suess kaht tüüpi ookeaniranda: murrangutega Atlandi ja mägedesse kurrutatud Vaikse ookeani tüüpi. Spetsiaalselt oli ära märgitud, et vulkaanide ahelikud järgivad mäeahelikke. Uurides mägesid ja faunat Permist kuni Triiase ajastuni, tuli Suess järeldusele, et mandrid pidid varem omavahel seotud olema maismaast koosnevate „sildadega“. Koos Neimayr'iga jõudis ta ideeni Gondwanalandist – superkontinendist, mis pärast „maasildade“ kadumist lahkes üksikuteks osadeks.

Alfred Wegener'i teooria mandrite triivist

Vahetult enne Wegeneri avaldas F.B. Taylor USA-s uurimustöö „Bearing of the Tertiary Mountain Belt on the Origin of the Earth's Plan“ (1910), millele Wegener oma töös ka viitab. Töö ise on jäänud vähetuntuks. Rohkem on tuntud Taylor'i viimane töö „Sliding continents and Tidal and Rotational Forces“, mis oli esitatud Wegeneri mandrite triivi arendamisele pühendatud sümposiumile 1928. aastal. Taylor arvas, et jõud, mis panevad mandrid liuglema, ei ole sisemised vaid välised ning tõenäoliselt samad, mis käivitavad tõusud ja mõõnad.

Alfred Wegeneri teooria mandrite triivist on Tayloriga võrreldes detailsemalt läbi töötatud. Ta tuli mandrite triivi mõttele, kui uuris suures atlas maailma kaarte, olles üllatunud rannajoonte sarnasusest mõlemal pool Atlandi ookeani. Esimene trükis, kus oli juttu mandrite triivist, ilmus aastal 1911, kuid avalikkuse ette tõi Wegener oma ideed Geoloogilise Assotsiatsiooni ettekannetes Frankfurdis, Maini ääres 06. jaanuaril 1912. aastal ja 4 päeva hiljem Marburgis. Ettekande teema oli „Horizontal Displacements of the Continents“. Veel samal aastal ilmus ettekanne kolmes ajakirja „Petersmanns Geographische Mitteilundgen“ numbris ja lühikokkuvõtte ajakirjas „Geologische Rundschau“ (Wegener 1912). Ingliskeelses tõlkes on artikkel avaldatud mitu korda, viimati ajakirjas „Journal of Geodynamics“ (Jacoby 2001).

Wegener hukkus Gröönimaa välitöödel 1930. aasta novembris, kui pidi koos kaaslasega liustiku keskosas Eismitte jäälaagrist rändama -50° lumetormis 400 km jalgsi, et jõuda tagasi rannikule. Tema laip leiti hiljem, kuid jäeti sinna, et see mattuks lume alla. Kohta tähistab tagasihoidlik raudvarrastest mälestusmärk.

Wegeneri ideed olid selged ja teooria tõestamine pidi koosnema kahest osast: 1) tuli näidata, et mandrite triiv toimus ja 2) selgitada, mil

moel see toimus. Esimene probleem, mis tuli lahendada, oli maaribadest sildade olemasolu või nende puudumine. Selle lahendamisel sai kasutada geofüüsikalisi ja okeanograafilisi meetodeid. Gravimeetrisel uuringul, mis kujutavad endast Maa raskusjõu erinevuste mõõtmist erinevates geoloogilistes struktuurides, tõestasid, et ookeaniline maakoore (kaasaegse terminoloogia järgi litosfäär) on tihedam ja õhem mandrilisest. Ka seismiliste lainete kiirus on ookeanilises ja mandrilises maakoores erinev, seega peab erinevuse nende koostis. Ookeanipõhja materjal vastab mandrite maakoore sügavamale osale materjalile – see oli oluline argument kontinente ühendavate maasäärte vastu. Teine probleem, mis tuli lahendada oli maakoore kokkutõmbumine, kui Maa soojuse kao arvel tema diameeter väheneb. Tehtud arvutused näitasid, et võimsaid mägesid pole võimalik saavutada ilma horisontaalsete liikumisteta.

Kaasaegne Alpi mäeahelik, mis on 150 km lai, pidi moodustuma vähemalt 600–1200 km laiuse maakoore osa kokkusurumisel. Wegener viitab oma töös Rudolf Staubi 1924. aasta uuringule. Juba oma varasemas töös näitas A. Wegener (1915), et pärast Atlandi ookeani eemaldamist on nii Euroopa ja Põhja-Ameerika kui ka Aafrika ja Lõuna-Ameerika vahel kivimite võõndid, mis jätkuvad selgelt mõlemale poole. Juba sel ajal leidsid biostratigraafid Lõuna-Ameerika ja Aafrika vahel nii palju ühist, et seda ei saanud seletada muud, kui ulatusliku mandrilise ühenduse kaudu. Need andmed võimaldasid Wegeneril konstrueerida kunagi eksisteerinud supermandri Pangaea. Kõik need tõestused ei suutnud aga mõjutada tolleaegsete fikside tugevaid positsioone geoloogias. Kui oleks olnud selge põhjus, mis paneb mandrid triivima, võib-olla siis oleks teooria olnud paremini vastuvõetav. Ühes oma varasemas töös püüdis Wegener märkida konvektsiooni tähtsust vahevöös, kuid vajalike andmete puudumise tõttu loobus ta hiljem sellest ideest.

Triivi alternatiivsed hüpoteesid

Mandrite triivi hüpoteese esitasid 1920-ndatel aastatel veel Harvardi Ülikooli prof. Reginald Alsworth Daly ja Dublini Trinity College'i prof. John Joly. Daly hüpotees, ehk nagu sageli viidatakse *kontinentaalse liuglemise teooria*, oli esitatud tema raamatus „Our Mobile Earth” (1926). Ta pooldas maakera kokkutõmbumise teooriat ja arvas, et liigne maakoore moodustab kokkutõmbel kohrtaolisi struktuure, kuhu tungib happeline *sial* magma. Kohrude tiibadel jagunevad kallutatud maakoore osad plokkideks, mis hakkavad gravitatsioonijõudude arvel aeglaselt libisema maakoore all olevasse klaasjasse basalti, mis on sulanud ja seepärast väiksema tihedusega. Juba varem, 1914–1915. aastal, oli maakoore ja vahevöö suhteid käsitlenud Joseph Barrell, kes pakkus välja kõva ja nõrga kihi jaoks

vastavalt terminid *litosfäär* ja *astenosfäär*. Daly neid termineid ei kasutanud, kuid neid hakati hiljem laialdaselt kasutama laamtektoonika teorias.

J. Joly'l on oluline panus radioaktiivse soojuse tekke ja selle mõju hindamisel maakoore tektoonilistele protsessidele, kuid ta ei toetanud Wegeneri stiilis aeglast mandrite triivi. Täielikult oli Joly 1925. aasta hüpotees avaldatud Van der Grachti poolt (1928). Lühidalt kõlab see järgmiselt: radioaktiivne kuumus akumuleerub *sima* kihis *sial* mandrite all. Kuumus ei pääse suure paksusega mandrite kattekihi tõttu ülesse; seepärast hakkab see sulatama allpool asuva *sima* ülemisest kihti ning hiljem progresseerub allapoole *sima* sisse. See annab sula *sima* ookeani, mille peal võivad *sial* kristalsed plokid ujuda nagu õngekorgid.

Konvektsioonivoolud tulevad appi mandrite triivile

Pärast Wegeneri surma kandsid mandrite triivi hüpoteesi edasi kaks tuntud geoloogi Arthur Holmes ja Alexander du Toit. A. Holmes (1890–1965) sai laialt tuntuks radioloogilise aja määrangutega. 1933. aastal trükiti tema koostatud Faneroosoiikumi perioodi ajaskaala. Holmes ise tutvus põhjalikult Wegeneri teooriaga ning 1928–29. aastal esitas oma nägemuse Maa ülemiste kihtide ja nende füüsikalise seisundi kohta. Holmes'i mudeli järgi on maakoor kristalne (tahke) kest, mis sisaldab graniitse koostisega „mandrite plokket” ja kõikjal basaltset kihti, mis lasub mandrite ja ookeanide all. Sügavustel 40–80 km läheb Holmes'i maakoor üle klaasjaks *substratumiks*. Sisuliselt on need Barrell'i terminite järgi *litosfäär* ja *astenosfäär*.

Mandrite triivi konvektiivvoolulise mehhanismi esitas A. Holmes 1928. aastal, mil arvati ookeanide all olevat paks maakoor. Uuema variandina on kõik see avaldatud monograafias „Principles of Physical Geology” (1944). Põhimõtteliselt lahendas see mandrite triivi põhjuse.

Alexander de Toit (1878–1948) oli Lõuna–Aafrika juhtiv geoloog ja töötas mitmes Suess'i poolt pakutud kunagise hiidmandri Gondwanalandi piirkonnas. Kuuldes Wegeneri hüpoteesist, võttis ta selle omaks ja pühendas Wegenerile oma raamatu „Our Wandering Continents” (1937). Üksiku Pangaea mandri asemel eraldas du Toit välja kaks supermandrit, Laurasia ja Gondwana. SAMFRAU (nimetus tuleneb sõnadest S-AMerica-aFRica-AUstralia) geosünkliinial ehk hiidvaond, mis on täidetud setetega, oli näidatud joonelise struktuurina Lõuna–Aafrikast kuni Uus–Meremaani.

Kaks aastakümnet (1940–1960) suhtelist vaikust laamtektoonika teoorias

Euroopas Teise maailmasõja ajal ja raskel sõjajärgsel perioodil teaduslik aktiivsus vaibus. Sõda puudutas Ameerikat vähem ning 1943. aastal ilmus tuntud ameerika paleontoloogi G.G. Simpson'i uurimus „Mammals and the nature of continents”, mis otseselt toetas mandrite triivi.

Samal ajal sai uue elu juba 1933. aastal väljakäidud O.C. Hildenbergi hüpotees, et Maa raadius mitte ei vähene, vaid vastupidi kasvab. Siis on arusaadav, miks ookeanid laienevad ja selleks pole vaja mandrite triivi. Mõnda aega toetas seda hüpoteesi Bruce C. Heezen, kes uuris Atlandi ookeani veevalust topograafiat ja tuli järeldusele, et ilma ookeani laienemiseta seda seletada ei saa. 1960. aastal avaldas ta töö „The rift in the ocean floor”.

Laamtektoonika teooria saab uued veenavad kinnitused (1969–1980)

Olulise panuse laamade triivile andsid jääkmagnetismi uuringud. Ookeani põhjas levivad aluselised vulkaniidid. Riftide läheduses ei ole nad kaetud paksude setetega. Vulkaniitide tardumisel säilis neis tekkeaeagne magnetiline orienteeritus, mida hiljem on võimalik aparaatidega määrata. Maa magnetväli võib olla normaalse ja ümberpööratud polaarsusega, kusjuures polaarsus on muutunud viimase viie miljoni aasta jooksul vähemalt kaksteist korda (Turcotte & Schubert 2002). Kui rifti orus toimub uue maakoore moodustamine, siis mõne aja pärast nihutatakse vanemad kivimid oru nõlvadele ning teljeosas hakkavad tekkima üha nooremad kivimid. Kuna laamad lahknevad keskjoonest mõlemas suunas, siis on loogiline, et mõlemale poole keskahelikku jäävad ühesuguse paleomagnetilise orienteeritusega kivimite vööndid. Just sellised vööndid leidsid F.J. Vine ja D.H. Matthews, uurides Atlandi ookeani põhja, millest nad teatasid 1963. aastal ajakirjas „Nature“. Hilisemate uurimustega on kindlaks tehtud, et kogu ookeani põhi koosneb erineva vanusega vöönditest ja vanimad vööndid on vaid 230 miljoni aasta vanused.

Väga selgelt tõestavad maakoore laamade liikumist vulkaanilised ahelikud nn. kuumade täppide kohal. Kuuma täpi kõrgustikud on ca 1000 km läbimõõduga ning tõusevad ookeani põhjast kuni kolme kilomeetri kõrgusele. Selle kõrgendiku moodustab suur magma pluum (ülikum kerakujuline magma diapiir, mis on silindrilise nn „saba” kaudu ühenduses ilmselt väga kuumaga vahevöö ja tuuma piiril), mis eksisteerib pikka aega (Hawaii-Emperori vulkaanide ja veevaluste mägede vööndis on selline pluum eksisteerinud ca 65 Ma (Turcotte & Schubert 2002). Pluumi

keskosas paikneb vulkaan, mis purskab väga aktiivselt välja magmat, kasvatab veealuse koonuse kiiresti merepinnani ja moodustab uue vulkaanilise saare. Magma on aluseline, mis on tüüpiline ookeanipõhja kivimitele. Aja jooksul liigub laam üle kuuma täpi (pluumi) ja side magmakoldega katkeb. See vulkaan kustub, jättes järele koonuse, mis hiljem, kui magmapluumi kergitav mõju ookeanipõhjale lakkab, vajub veealuseks vulkaaniliseks mäeks. Mõne aja möödudes, kui magma hulk pluumis kasvab, tekib ookeani põhjas uus vulkaan. Maakoor liigub kogu aeg edasi, jättes enda järele kustunud vulkaanide aheliku. Tüüpiliseks selliste veealuste mägede ahelikuks on Hawaii-Emperor ahelik Vaikse ookeani keskosas. Selle pikkus Aleuudi saarte lähedalt kuni väga aktiivse Kilauea vulkaanini Hawaii saarel on umbes 4000 km. Vaikse ookeani laama liikumise keskmine kiirus oli interpreteeritud paleomagnetiliste andmete alusel ja andis umbes 90 mm/a. Selle järgi on aheliku vulkaanide vanused tänapäevast kuni 68,47 Ma. Isotoopsed dateeringud kinnitasid saarte vanuseks 0–64,7 Ma (Turcotte & Schubert 2002).

Enam kui seitse aastakümnet murdsid seismoloogid päid sügavafookuseliste maavärinate tekke põhjuste üle. Oli teada, et umbes 20% maavärinatest asub hüpotsenter sügavustel 300–670 km. Selgus, et sukelduval laamal esinevad maavärinad nii alumise kui ülemise pinna lähedal. Seega, sukelduv külm laam on jälgitav vahevöö kuumas aines suurte sügavusteni, mõnikord kuni 1200 km (Strahler 1998). Kaasaegsete laamade piirid on selgelt märgistatud seismiliselt ja vulkaaniliselt aktiivsete vöönditega, mis ümbritsevad kogu planeeti.

Kõik need faktid räägivad ise enda eest. Nüüd on võimalik määrata mandrite liikumist ka otseste mõõtmiste teel maapinnal ning kosmosest maapealsete jaamade abil. Mandrite triiv on liiga aeglane selleks, et neid liikumisi oleks saanud mõõta Wegeneri-aegsete seadmetega, kuigi ta püüdis seda siiski teha. Islandi saart läbib Kesk-Atlandi rift, selle idaosa eemaldub lääneosast keskmise kiirusega ca 2 cm aastas (Sigmundsson 2006). Saare all asub suur magmaline pluum, mis täidab tekkinud lõhed värsket magmaga ning seal tegutseb rida vulkaane ja geisreid.

Litosfääri laamade liikumisega seotud protsesside (spreading, kollisioon, subduktsioon, obduktsioon jne.) kirjeldusi võib leida kõigis kaasaegsetes struktuuri-geoloogia, geodünaamika ja tektoonika õpikutes ning erialastes teaduslikes publikatsioonides. Korrektse eestikeelse ülevaate laamtektoonika põhimõtetest annab slaidiprogramm, mis on internetis kättesaadav (www.gi.ee/geomoodulid/, vt. peatükk Laamtektoonika).

Lõpetuseks

Käesoleval ajal on laamtektoonika teooria muutunud paradigmaks ehk püsivaks ja üldtunnustatud mõistete, seaduste ja meetodite süsteemiks, millel rajaneb Maa uurimine ja maateaduste õpetamine. Mitmete põlvkondade geoloogide ja geofüüsikute ühistööna välja arenenud laamtektoonika teooria hämmastab oma kõikehaaravuse ja unikaalsusega. Kahtlemata aitab see kaasa geoloogiateaduse edasisele arengule.

Kasutatud kirjandus

- Jacoby W.R. 2001. Translation of Die Entstehung der Kontinente Dr. Alfred Wegener. Petersmanns Geographische Mitteilungen 58 I, 189–195, 253–256, 305–309, 1912. *Journal of Geodynamics* 32: 29–63.
- Sigmundsson F. 2006. *Iceland Geodynamics: Crustal Deformation and Divergent Plate Tectonics*. Springer-Praxis, Chichester. 209 p.
- Strahler A.N. 1998. *Plate tectonics*. Cambridge, Massachusetts. 544 p.
- Turcotte D.L. & Schubert G. 2002. *Geodynamics*. 2nd Edition. Cambridge University Press. 456 p.
- Wegener A. 1915. *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, 1st Ed., 2nd Ed., 1920; 3rd Ed., 1924; 4th Ed., 1924; 4th Ed., revised, 1929; 5th Ed., revised by Kurt Wegener, 1936. Braunschweig, Germany: Friedrich Vieweg & Sohn.

Ülo Sõstra (systra@staff.ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Teemandid koju kätte – šošoniitse magma jälgedes

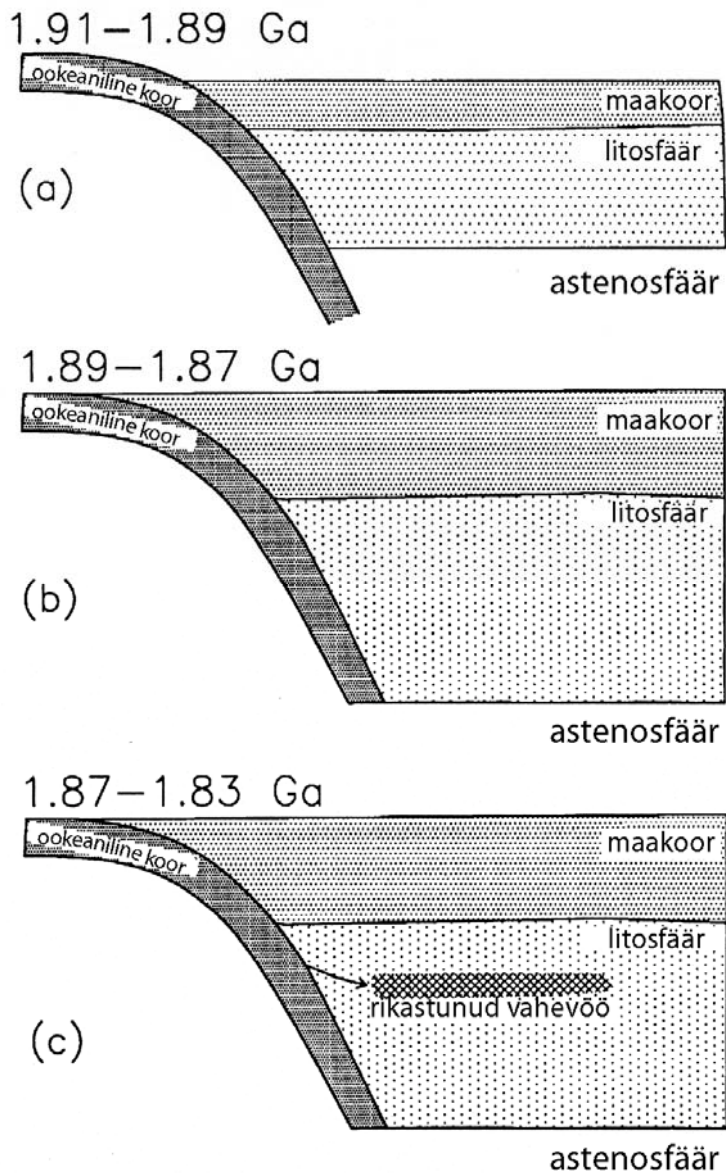
Margus Voolma

Šošoniidid on laialt levinud kivimid nii ajalises kui ka ruumilises mõttes. Allpool on toodud lühike ülevaade šošoniitidele iseloomulikest keemilisest koostisest, tektoonilisest tekkekeskkonnast ning seotud maagiilmingutest Soomes, Kanadas ja Hiinas.

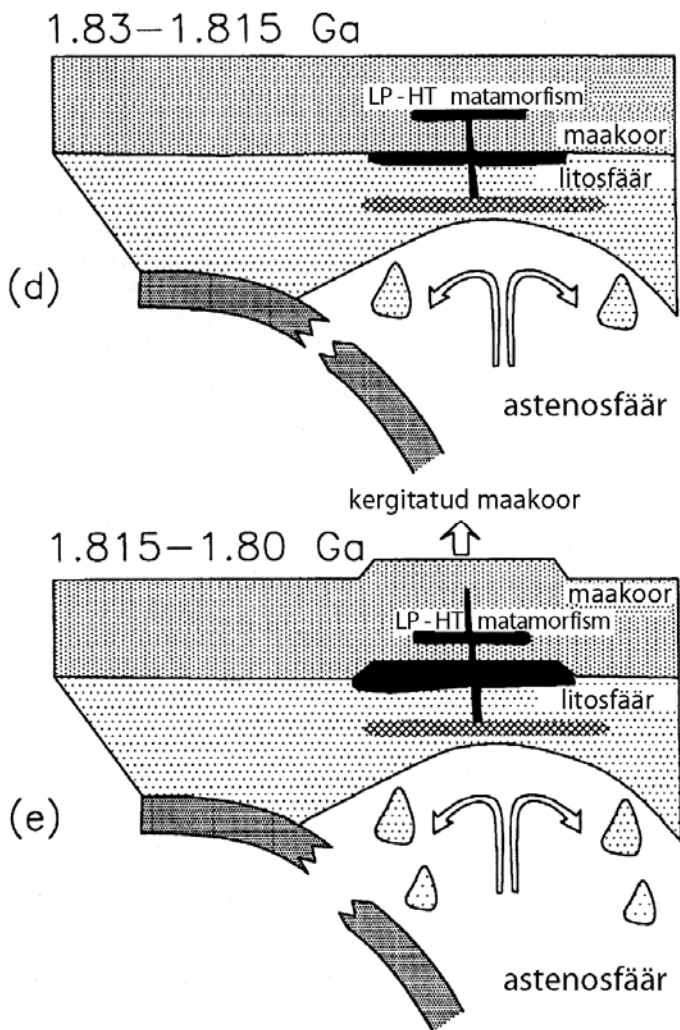
Šošoniidid on aluselise kuni keskmise (st. kuni 65% SiO₂ sisaldusega) koostisega vulkaanilised kivimid. Kaaliumoksiidi (K₂O) kontsentratsioon kasvab kivimi silikaadisalduse (SiO₂) suurenedes, samas kui CaO, FeO, TiO₂, P₂O₅ ja MgO sisaldus selle tulemusena väheneb (Wang et al. 2006). Iseloomulikuks tunnuseks erineva vanusega šošoniitsetele magmadele on litofiilsete elementide (K, Rb, Ba, Cs, Th ja U) rikkus ning kõrge LREE/HFSE (Light Rear Earth Elements ehk kergete leelismuldmetallide/High field-strength elements) suhe (Wyman et al. 2006).

Umbes 600 km pikkuses vööndis, mis ulatub Laadoga järvest Venemaal Ålandi e. Ahvenamaa arhipelaagini Lõuna-Soomes, võib leida vähemalt 14 šošoniitset intrusiooni ehk kristalliinsesse aluskorda tunginud magmakeha. Uraan-plii dateeringutega on nende intrusioonide vanuseks saadud 1815–1770 Ma (Eklund & Shebanov 2005). Šošoniitse koostisega intrusioonide tekkepõhjuseks Lõuna-Soome aluskorras on välja pakutud järgnev tektooniline mudel (joonis 1). Umbes 1,89–1,87 Ga tagasi toimus kahe saarkaare põrkumine arhaikumivanuse kontinendiga. Subduktsiooni ja saarkaarte kokkupõrke tulemusel toimus vahevöö ülemistes kihtides (sukelduva laama ja vahevöö piiril) metasomatoos subduktsiooni käigus vabanenud fluidide toimel. Astenosfäärilist konvektsioonivoolude jõul üles kerkinud kuumem magma hakkas sulatama paksenenud ja külma litosfääri, mille tulemusel viimane õheneb ja kerkis ülespoole. Eelnevalt metasomatoosi käigus rikastunud materjali osalise sulamise tulemusel tekkiski šošoniitidele iseloomulik litofiilsete elementide K, Rb, Ba, Cs, Th, U ja LREE-rikas magma (Väisänen et al. 2000).

Kanadas, Superior Province'i teemantimaardlates on maavara sisaldavaks kivimiks just šošoniitised lamprofüürid (tardkivimid). Teemandite stabiilsusväli ja šošoniitse magma teke subduktsioonivööndis saab toimuda suhteliselt kitsastes temperatuuri ja rõhu tingimustes. Maakoore sukeldumisel tekib nn. „külma sõrme efekt“, mis loob stabiilse madalarõhulise (30 kbar) ja madalatemperatuurilise (300°C) keskkonna ja seega soodsad tingimused teemantide moodustumiseks sukeldunud laamal. Teemandite transport vahevööst või sukeldunud laamalt maakoore ülemistesse kihtidesse šošoniitsete magmade poolt on haruldane normaalse



Joonis 1. Ookeanilise koore subduktsioon ning sellega kaasnevad rikastumise ja metamorfismi protsessid (Väisänen et al. 2000).



Joonis 1. jätkub.

(suure langusnurgaga) subduktsiooni korral. Seevastu väikese nurga all toimuva subduktsiooni puhul tekib sukeldunud laamal soodne rõhu- ja temperatuurikeskkond teemantide ja šošoniitse magma moodustumiseks. Sukeldunud laama murdumisel ja vahevöösse vajumisel sulab see osaliselt, moodustades teemanteid sisaldava šošoniitse magma, mis tõuseb

maakoore ülemistesse kihtidesse. Kanadas, Superior Province piirkonnas on teada kaks sellist leiukohta, millele puhul peetakse võimalikuks eelpool kirjeldatud tekkemehhanismi (Wyman et al. 2006).

Rohkem seostatakse šošoniite nn. „*lode gold*“ kullaleiukohtadega – sulfiidsete maagisoontega. Sellised maavarailmingud on olemas näiteks Kanadas, Austraalias, Fiji saartel ja Hiinas. Luzongi (Ida-Hiina) šošoniidid, mida seostatakse Cu-Au-Fe mineralisatsiooniga, pärinevad subduktiooni-vööndis metasomatismi mõjul rikastatud vahevööst. Astenosfäärist tõusev kuumem magma põhjustas rikastunud vahevöö materjali osalise sulamise. Šošoniitse magma tekkel liitis see endasse ka sulfiidid, mis kanti maakoore ülemistesse kihtidesse ja ladestusid seal fraktsionaalse kristalliseerumise käigus (Wang et al. 2006).

Šošoniitne magmatism on iseloomulik postorogeenses (ehk mäetekkeprotsesside-järgses) tektoonilises keskkonnas. Šošoniitide lähtematerjal pärineb sügavalt metasomatismi käigus rikastunud vahevööst. Kui ülepaksenenud maakoore hakkab õhenema astenosfäärist konvektsioonivoolude poolt kerkiva kuuma magma tõttu, toimub osaline rikastunud vahevöö ülesulamine ja selle segunemisel astenosfäärist kerkiva magamaga tungivad maakoore ülemistesse kihtidesse šošoniitsed intrusioonid.

Kasutatud kirjandus

- Väisänen M., Mänttari I., Kriegsman L.M., Höltta P. 2000. Tectonic setting of post-collisional magmatism in the Palaeoproterozoic Svecofennian Orogen, SW Finland. *Lithos* 54: 63–81.
- Eklund O. & Shebanov A. 2005. Prolonged postcollisional shoshonitic magmatism in the southern Svecofennian domain – a case study of the Åva granite-lamprophyre ring complex. *Lithos* 80: 229–247.
- Wyman D.A., Ayer J.A., Conceição R.V., Sage R.P. 2006. Mantle processes in an Archean orogen: Evidence from 2.67 Ga diamond-bearing lamprophyres and xenoliths. *Lithos* 89: 300–328.
- Wang Q., Wyman D.A., Xu J., Zhao Z., Jian P., Xiong X., Bao Z., Li C., Bai Z. 2006. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu–Au mineralization. *Lithos* 89: 424–446.

Katkestuspindadest ja lünkadest Eesti paelasundis. Stratigraafilisi ja sedimentoloogilisi probleeme

Rein Einasto

Settelünkadega seotud probleemistik nii sedimentoloogias, faatsieste õpetuses (katkestus- ja kulutuspinna) kui stratigraafias – lünkade ajaline kestvus, pindlise leviku ulatus ja kujunemisprotsess – on üks kesksemaid probleeme geoloogias, kuna suur enamus geoloogilisi läbilõikeid on lünklikud. Lünkade ja katkestuspindade mõtestamist ja tähendust on kirjanduses laialdaselt käsitletud alates stratigraafia sünnist 1799. Ükski geoloogilisi läbilõikeid teoreetiliselt või konkreetselt käsitlev koguteos ei pääse mööda lünkadega seotud küsimustest (nt. Einaste jt. 1991; Мяннийль 1966; Кальо ред. 1970; Rõõmusoks 1970, 1983; Мягкова jt. 1977). Meie paelasundis esinevate arvukate katkestuspindade ja stratigraafiliste lünkade käsitlusi on oma töödes esitanud arvukalt uurijaid, kellest nimetagem järgmisi: Kupffer 1870; Lamansky 1905; Orviku 1940., 1961; Геккер 1960; Jaanusson 1961; Эйнасто 1964; 1989, 1994; Nõlvak 1972; Наливкин 1974; Пылма 1982; Пиррус & Эйнасто 1987; Bauert 1989; Saadre 1992, 1993.

Mida põhjalikumad on uuringud, seda enam avaneb uusi probleeme. Seni oleme tegelema peamiselt katkestuspindadena avalduvate selgelt markeritud lünkadega. Viimastel aastakümnetel on Ralf Männili, Jaak Nõlvaku ja Viiru-Kai Nestori lahustuspaleontoloogial tuginevad mikrostratigraafilised uuringud aga aktualiseerinud väliselt ühtlastes kivimkehades, näiteks mudalistes lubjakivides ja merkivides (kivistunud savine lubimuda – mergel, savisisaldusega 25–75%, vrdl ingl. Marlstone; Einasto 2005) varjatud (väliselt märkamatu, selgete katkestuspindadeta) lünkade ja läätsealise settimise küsimused.

Katkestuspinnad ja settelüngad

Katkestuspind on nii sedimentoloogiline, fatsiaalne kui ka stratigraafiline mõiste, mis tähistab settimiskeskonnas (kunagise madala mere põhjas) moodustunud settekihi pealispinda (merepõhja), mida settimise katkestuse ehk lünga ajal mõjutasid mitmesugused keskkonnafaktorid. Need olid veealuse katkestuse korral näiteks: vee liikumisega kaasnev merepõhjal lebavate setteosakeste kulutav ja lihviv toime (Эйнасто 1964); kõvastunud settesse kaevuvate ja kivistunud põhja puurivate organismide elutegevus (Orviku 1940; 1960); vee lahustav mõju (nt. veealune porsumine, Фролов 1984). Õhualuse lünga olukorras lisanduvad karstinähtused – pinna ja kaevumiskäikude seinte söövitused, karride ja minikoobaste

kujunemine. Katkestuspindade levik ja sagedus Põhja-Balti fatsiaalsel tugiprofilil on ära toodud kogumiku värvilises lisas joonisel 1.

Katkestuspinna mõiste tõi Eesti geoloogilisse kirjandusse Karl Orviku (1940). Läbilõikes markeerib see settelünka, mis Eesti paelasundi stratigraafilisel liigestamisel sai peagi lademete piiride fikseerimisel oluliseks kriteeriumiks (Мяньниль 1966; Rõõmusoks 1983; Кальо ред. 1970). Tekkeloolise eripära alusel eraldas Orviku (1940) kaks katkestuspinna morfotüüpi: tasased ja ebatasased. Viimaste seas eraldas Rein Einasto (Эйнасто 1964) kummaski veel siledad ja karedad pinnad – seega kokku neli katkestuspinna tüüpi: 1) tasased ja siledad; 2) ebatasased ja siledad; 3) tasased ja karedad; ning 4) ebatasased ja karedad katkestuspinnad.

Lisaks muutlikule morfoloogiale ilmneb katkestuspindade geneetiline mitmekesisus ka impregnatsioonivöö koostises, värvuses ja intensiivsuses (Пылма 1982). Kõige selgemini avaldub selline mitmekesisus Ordoviitsiumi läbilõikes, kus kivimtüüpide vertikaalne asendumine alt üles – glaukoniitlubjakivist ooiidlubjakivini, kukersiinlubjakivi rifflubjakivini ning afaniitse puhta lubimuda-lubjakivini – peegeldab Baltika kontinendi triivi koos Balti paleobasseiniga külmast parasvööttest troopikasse (Einasto 1995, Nestor ja Einasto 1997).

Lünk on stratigraafiline mõiste, mis tähistab settekatkestuse ajalist intervalli (stratigraafilist mahtu). Lüngad võivad olla lühiajalised, nt. vaid ühe tormi mõju tulemusena tekkinud (seega geoloogiliselt hetkelised) või kesta tuhandeid-miljoneid aastaid.

Fatsiaalseid probleeme Eesti paelasundi stratigraafias

Regionaal-stratigraafiline skeem peab peegeldama kohalikku arengulugu. Stratigraafilise skeemi stabiilsus tagatakse looduslikule hierarhiale toetudes, kus kestvamad ja ulatuslikuma levikuga lüngad on kõrgemat järku straatonide piirideks. Praeguses Eesti aluspõhja regionaalses stratigraafilises skeemis ei paikne mitmed kõrgemat järku straatonide (seeriate) piirid kõrgemat järku arenguloolistel ja kestvamate lünkade tasemel (vt. allpool).

Eesti paelasundi iseloomulikud jooned

Eesti võib oma rahvuskivi üle õigusega uhke olla, sest meil asuvad maailma suurimad:

S1 **Borealis-lubjakivi (rõngaspae)** unikaalse paksuse ja levikuga kihim;

O2-3 **kukersiidisaldusega** unikaalse paksuse ja levikuga kihim;

O2 **glaukoniitliivakivi** kihim paelasumi all – transgressiooni basaali; ning

O1 **Obolus-fosforiidi** lasum.

Eesti paelasundi kohta võib välja tuua mitmeid eripärasid võrreldes samalaadsete kihtidega mujal maailmas:

1. läbilõike väike üldpaksus (Ordoviitsiumi + Siluri suhteliselt täielik läbilõige, näiteks Ohesaares alla 0,5 km);
2. tagasihoidlik tektooniline rikutus ning paelasumi suhteline tekkeaegne terviklikkus;
3. selge kihilisus, eelkõige merkivi vahekihid ja -kelmed läbi kogu paekivi lasumi;
4. kolmes kliimavööndis (parasvöetmest troopikani) kujunenud paekivide esinemine;
5. pae-erimite värvi, koostise, struktuuri, tekstuuri mitmekesisus, mis peegeldab tekkeingimuste erinevusi;
6. kukersiidi ulatuslik levik (stratigraafiliselt BIII–J2);
7. erifatsiaalsete kivimite selge mitmejärguline tsükiline vaheldumine;
8. sagedased katkestuspinnad ja vähesed kestvamad lüngad;
9. rifimoodustiste esinemine mitmel stratigraafilisel tasemel;
10. kivististe rohkus ja elujälgede mitmekesisus;
11. fossiilsed haruldused (nt. ürgvähilised, stromatoliitsed vetikmoodustised jt.);
12. hilis-dolomiidistumise mõõdukas esinemine;
13. kihtide väljakiildumisala mitmel stratigraafilisel tasemel;
14. katkestuspinnad erinevat fatsiaalset tüüpi kivimites ja
15. võimalik sekundaarne dolomiidistumine lünkade ajal.

Mõne sõnaga paekivilasundi kihtide väljakiildumisest erinevatel stratigraafilisel tasemel, mis paikneb üsna mitmes eri piirkonnas, alates äärmisest avamus-lähedasest piirkonnast Loode-Eestis (BII\BIII, CII\CIII, G3\H) kuni konfatsiaalse üleminekuni Kesk-Eestis (DII\DIII, FII\F1–2, J2\K1).

Kihtide avamuselähedases piirkonnas on mitmel teisel stratigraafilisel tasemel samuti hästi tuntud kihtide sujuv õhenemine kuni tervete katkestuspindade seeriade loomuliku järkjärgulise väljakiildumiseni, kus põhja (loode-põhja-kirde ehk paleogeograafilise kalda) suunas kihid katkestuspindade vahel õhenevad kuni piiripindade liitumiseni. Paekalda läbilõikes tõestas juba Lamansky (1905) BIII alumise vöö puudumise Põhja-Eestis, mis aga esineb näiteks Peterburi lähistel Ingerimaal. See oli küllap esimene ulatuslikum lünk paelasumis, mille stratigraafiline maht (*Asaphus expansus* vöö) oli suhtelises ajaskaalas selgelt määratletud. Kaasaegse absoluutse aja skaalas on selle lünga kestus ca 1 Ma, mille vältel Baltika triivis parasvöetme jahedast vööndist subtroopikasse. Selle lüngaga kaasnevad olulised litoloogilised muutused: glaukoniidikuhe lõpp ning rauaoiidide, kukersiini ja fosfaatsete katkestuspindade kujunemise algus.

Tabel 1. Fatsiaalseid probleeme päekivide stratigraafias Eesti päekivilasundi näitel.

<p>I. FATSIAALSED ÜLEMINEKUD e. basseinisene probleemistik</p>	<p>1. PÕHILISED e. lateraalsed</p> <p>2. ARENGULOOLISED e. vertikaalsed</p>	<p>Kolm basseinisest settimise põhipiirkonda: platoo (P), nõlv (NI) ja nõgu (Ng)</p> <p>Siirdelised (üleminekulised) ja teravad (reeglina lünkadega seotud) üleminekud</p>
<p>II. PAKSUSED JA AEG</p>	<p>SETTIMISKIIRUS</p>	<p>1. Platoo – katkendlik settimine sagedaste lünkadega</p> <p>2. Nõlv ja nõgu – üksikute lünkadega pidev settimine</p>
<p>III. PALEO-GEOGRAAFIA (eriti batümeetria) e. vööndilisuse probleemistik</p>	<p>1. MEGAREGIOONID e. epi- või perikontinentaalne bassein (Murdmaa 1987)</p> <p>2. MAKROREGIOONID e. konfatsiaalsed vööndid (Jaanusson 1973)</p>	<p>1. Kontinendilähedane e. приконтинентальный</p> <p>2. Aavaokeaniline e. океанический</p> <p>1. Madal(veeline)-šelf e. raeplatoo lauge nõlvaga keskel (C1b–C1d): (a) Kaldalähedane tasane madal vaikse- ja liikuvaveeline platoo, väljapeetud paksused, sagedased lüngad (C1bcV, F1I, K1); (b) Lauge nõlv, kiired fatsiaalsed muutused, riffid, paksuste kiire kasv, lünkade suidumine.</p> <p>2. Süva(veeline)-self: (a) Nõlva jalam, maksim paksused (nii terrig. kui karb.), pidev settimine, nõlva jalamile ulatuvad ainult makrolüngad (E'P, FiaS, FicH, FicO, G1–2Ö, G3S); (b) Avamereleine vaikseveeline vaheplatoo (Liivi keele ala), pidev settimine, suured paksused.</p>

Tabel 1. jätkub.

		<p>3. Mandrinõlv – Baltika mandri nõlv Tornquest'i liinil</p> <p>4. Ookeaniline nõgu – kogu Kesk- ja Lõuna-Euroopa graptoliit-savimudade levila</p>
	<p>1. Kiht (Bed)</p> <p>2. Kihind</p> <p>3. Kihistik (<i>Member</i>)</p> <p>4. Kihistu (<i>Formation</i>)</p> <p>5. ?</p> <p>6. Kihijärk</p> <p>7. ?</p> <p>8. Kihtkond</p> <p>9. ?</p> <p>10. Kihim (vabamahuline)</p>	<p>Tsükliidi osa</p> <p>Minitüklit (mts)</p> <p>Mesotsükliit (Mts)</p> <p>Supermesotsükliit</p> <p>SUBMAKROTSÜKLIIT</p> <p>MAKROTSÜKLIIT</p> <p>SUPERMAKROTSÜKLIIT</p> <p>MEGATSÜKLIIT</p> <p>GIGATSÜKLIIT</p> <p>LAMAM/LASUM/LADEM Tsükliim (mõned uued terminid)</p>
<p>V. KLIIMA-MUUTUSED LÄBILÕIKES e. arengulooline probleemistik</p>	<p>1. PARASVÕÖDE (BI–BII) e. aeglane settimine, gõüitsed, glaukoniitsed kp</p> <p>2. SUBTROOPIKA (BIII–DII) e. mõõdukas settimine</p> <p>3. TROOPIKA (DIII–K4) e. kiire settimine</p>	<p>1. Platoon kaldalähedane külmaveeline glaukoniit, kestvad lüngad</p> <p>2. Nõos stüvaveelised punavärvilised setted, suured paksused, sagedased ja lühiajalised katkestused</p> <p>1. Platoon tõusu-mõõna vööndis kukersiin</p> <p>2. Lainetuse vööndis rauaoiidid ja sagedased fosfaatsed ja püriitsed katkestuspinnad</p> <p>1. Platoon laguunne dolomuda, avamere lubimuda (afaniitne l'bk) ja korallriffid, püriitsed kp</p> <p>2. Nõlval ja jalamil valdab külgtäitumine</p>

Katkestuspindade morfoloogiline ja impregnatsiooniline mitmekesisus erifatsiaalseis kivimtüüpides on üllatavalt suur. Olulisemad kivimtüübid kujunemise vanuselises järjekorras oleksid järgmised:

1. madalveelised *glaukoniit*-lubjakivid (BII);
2. samaaegsed sügavamaveelised *punavärvilised* mudalised savikad lubjakivid (BI–Cia, Fic);
3. pruunikashallid götiitsed *ooiid*lubjakivid (BIII–Cib, CII);
4. helehallid tombulis-peendetriitsed ja mudalis detriitjad (*ehitus*)lubjakivid (Cibc);
5. beeživärvilised *kukersiin*-lubjakivid (BIII, Cic–CII, E; vt. Кыртаc и др. 1991);
6. rohekashallid mudalis-detriitjad savikad *muguljad* lubjak. (BII–K3b);
7. helehallid *tsüstiid*- ja *krinoiid*lubjakivid (DII–DIII, FII, G1–2, G3, J1–J2, K2–K4);
8. kollakashallid *afaniitses* mudalubjakivid (E–Fia, G1–2 K, G3);
9. *mikrokihilised* Orgita ja Kaarma-tüüpi laguused savikad dolokivid (G3, J2–K2);
10. *mustrilised* savikad Selgase-tüüpi *kiri*-dolokivid (J2);
11. pruuni-mustrilised stromatoliit- ja onkoliit-lubjakivid (J2, K1, K2) ning
12. rohekashallid merkivid (Cic, CIII–DII, H–K3b).

On olemas mitmeid tõendeid sekundaarse dolomiidistumise toimumise kohta lasundis esinevate settelünkade ajal. Eesti paealade geoloogilise kaardistamise käigus arvukaid puursüdamikke dokumenteerides ja korreleerides levib mitmel stratigraafilisel tasemel sekundaarselt dolomiidistunud kivim vahetult piiri all, piirist kõrgemal lasuv paekivi aga ei kanna märgatavaid dolomiidistumise jälgi (Кальо ред. 1970). Selline piirisituatsioon on lateraalsel üleminekualal dolomiidistumata lubjakivilasundilt hilisdolomiitsesse lasundisse. Väga selgelt jälgitav on selle üleminekuala nihkumine Siluri ajastu vältel idast läände alates Pandiverest Juuru eal kuni Lääne-Saaremaani Paadla eal (Кальо ред. 1970).

Faatsieste kajastusi Eesti paeläbilõike stratigraafilistes skeemides

Järgnevalt mõned tähelepanekud ning soovitused Eesti Ordoviitiumi ja Siluri ladestute stratigraafilise skeemi kohta. Esmalt võiks Ordoviitiumi seeriad muuta regionaal-stratigraafilisteks ühikuteks, st. teha stratigraafilis-fatsiaalses tähenduses mahud omavahel võrdeliseks – kõrgema järgu sedimentoloogilis-fatsiaalseid muutusi peegeldavateks ühikuteks. Samaselt Ordoviitiumiga võiks ka Siluris eristada regionaalstratigraafilisi seeriaid. FII aegne interregnum (*extraordinarius-persculptus*)

esindab juba põikse lasuvusega Siluri transgressiooni algust. Lünkade kajastamine stratigraafilises skeemis võiks olla kujutatud järk-järguliste väljakiildumistena. Ordoviitsiumi ja Siluri ladestu piirilademetel lõigend-stratigraafiline läbilõige konfatsiaalsel üleminekualal Lääne-Eesti saarte – Kuramaa liinil on toodud kogumiku värvilises lisa joonisel 2. Eelnevale toetudes võiks Ordoviitsiumit (1–4) ja Silurit (5–8) jagada järgnevalt:

1. Iru seeria A1–A3: Tremadoc kuulub arengulooliselt Ülem-Kambriumi;
2. Ontika seeria BI–BII (~Arenig) esindamaks jahedaveelist glaukoniiti, Ordoviitsiumi transgressiooni algust;
3. Viru seeria BIII–DII;
4. Harju seeria DIII–Fic (DIII lasub lüngaga transgressiivselt Lõuna-Leedus isegi vundamendil) esindamaks suurimat faunamuutust kogu Baltikumi Ordoviitsiumis, troopiliste kliimatingimuste algust;
5. FII–G3 seeria (Porkuni lade lasub põikselt ja transgressiivselt erivanuselistel stratoonidel);
6. H–J2 seeria esindamaks selge põikse lasuvusega makrotsükliiti, mis asub kestvate lünkade vahel – tegemist on eustato-stratigraafiline globaal-stratooniga (Clintoni mahus);
7. K1–K2 interregnum (*nassa-ludensis*) esindamaks Siluri paleobasseini transgressiivset osa (paljuräägitud „венлок лудловского тунга“ ehk Ludlow tüüpi Wenlock);
8. K3a–D1a seeria (Alam-Devoni algus jätkab Siluri setteruumi basseini täitumist, tuues sellega kaasa stratigraafilise plaani muutuse).

Hetkel on Eesti Siluri stratigraafilises skeemis vähemalt kaks ülemladet, mis stratigraafilise mahu ja läbilõike alusel võiks jaguneda väiksemateks üksusteks. Soovitav oleks muuta võoline liigestus läbivaks, kuid ainult ühe konfatsiaalse vööndi piires. Nimetatud üksused võiksid olla järgnevad: 1) Paadla ülemlade jaguneks kaheks: *Uduvere* ja *Sauvere* lademeks, mis praeguseni on *kihid*; 2) Pirgu ülemlade jaguneks kaheks, *Adila* ja *Moe* lademeks.

Eesti paekivilasundis võib eristada mitmeid selgepiirilisi lademeülesei straatoneid, näiteks :

1. Liivi keele BII–Cia *punavärvi kihijärk*;
2. Läänes paeplatool BIII(Cib)–CII ülemise piirini – hele lainjaskihiline poolmuguljas puhas kuni detriitjas *ühtlase lubjakivi kihijärk*; esineb Ohesaarest Undvani;
3. Ida-Eestis BIII–CII *kukersiitne kihijärk*;
4. Platool ja nõlval CIIIülem–DII Lehtmetsa *merkivi lasund*, mis moodustus Liivi keele ääreala nõlva jalami külgtäitumisel, avamere suunas vähenevad paksused pea väljakiildumiseni;
5. Paeplatool E–FiaS *afaniitne kihijärk*.

TÄNUSÕNAD: Autori siiras tänu kuulub jooniste arvutitöötuse eest assistent Andrus Rähnile, arvuti hooldusabi eest võrguinsener Martin Mölsile ja väljaande toimetajaile.

Kasutatud kirjandus

- Bauert H. 1989. Discontinuity surfaces of possible microkarst origin in the Viivikonna Formation (Kukruse Stage, Middle Ordovician), Estonia. *Eesti TA Toim. Geoloogia* 38: 77–82.
- Einasto R. 1995. "Liivi keele" omapärasest Baltika arenguloos, Meidla, T. Jt. (toim.) *Liivimaa Geoloogia*. Tartu, 23–32.
- Einasto R. 2005. Tallinna ehituspaestiku läbilõige Paldiskis. *Tallinna Tehnikakõrgkooli Toimetised* 6: 30–36.
- Einasto R. 2007. Paealuspõhjast Põltsamaa ümbruses. Raam. Põltsamaa lossi sees ja ümber. *Põltsamaa muuseumi toimetised* (koost. ja toim. R. Tänav), lk 7–42.
- Einsele G., Ricken W. & Seilacher A.(Eds.) 1991. *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, 955 p.
- Jaanusson V. 1961. Discontinuity surfaces in limestones. *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala* 40: 221–241.
- Jaanusson V. 1973. Aspects of carbonate sedimentation in the Ordovician of Baltoscandia. *Lethaia* 6(1): 11–34.
- Kupffer A. 1870. Ueber die chemische Constitution der baltisch-silurischen Schichten. *Arch. Naturk. Liv-, Ehst- und Kurl.* 1(5): S.69–194.
- Lamansky W. 1905. Die aeltesten silurischen Schichten Russlands. *Mem. Com. Geol. St. Petersburg, Nouv.* 20: 148–203.
- Nestor H. & Einasto R. 1997. Ordovician and Silurian carbonate sedimentation basin. In: Raukas, A., Teedumäe, A.(Eds.) *Geology and mineral resources of Estonia*. Tallinn, 192–204 .
- Nõlvak J. 1972. Kukruse ja Idavere lademe piirikihtide iseloomustus Lipu puurprofiilis. *ELUS Aastaraamat* 61: 39–59.
- Orviku K. 1940. Lithologie der Tallinna.Serie (Ordovizium, Estland) I. *Tartu Ülik. Geol. Inst. Toim.* 58: 216 S.
- Orviku K. 1961. Diskontinuiteedipinnad Volhovi ja Kunda lademes. Rmt.: K. Orviku, (toim.) *Geoloogiline kogumik*. Tartu, 16–25.
- Rõõmusoks A. 1983. *Eesti aluspõhja geoloogia*. Tallinn, Valgus, 224 lk.
- 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.

- Фролов В.Т. 1984. *Генетическая типизация морских отложений*. Москва, Недра, 222 с.
- Геккер Р.Ф. 1960. Ископаемая фация гладкого каменного морского дна. *Труды ИГАН ЭССР V*, с 199–227.
- Кальо Д. (Ред.).1970. *Силур Эстонии*. Таллинн, Валгус, 343 с.
- Кыртс А., Мянниль Р., Пылма Л., Эйнасто Р. 1991. Этапы и обстановки накопления кукурситовой (водорослевой) органики в ордовике и силуре Эстонии. *Важнейшие биотические события в истории Земли: труды XXXII сессии ВПО*, Tallinn, lk 87–94.
- Мягкова Е.И., Нестор Х., Эйнасто Р. 1977. Разрез ордовика и силура реки Мойеро (Сиб. Платформа). *Труды ин-та геол и геоф Сиб. Отд. АН СССР* 303: 176.
- Наливкин Д.В. 1974. *Проблемы перерывов*. В сб. Этюды по стратиграфии, Москва, наука, с 10–21.
- Мурдмаа И. 1987. *Фаши океанов*. Москва, Наука, 304 с.
- Мянниль Р.М. 1966. *История развития балтийского бассейна в ордовике*. Таллинн, Валгус, 200 с.
- Орвику К. 1960. О литостратиграфии волховского и кундаского горизонтов в Эстонии *Труды ИГАН ЭССР*, вып V, с 45–87.
- Пиррус Э., Эйнасто Р. 1987. Классификация стратиграфических пробелов и седиментационных перерывов в палеозое Прибалтики. *ENSV TA Toimetised. Geoloogia* 36(1): 36–44.
- Пылма Л. 1982. *Сравнительная литология карбонатных пород Северной и Средней Прибалтики*. Таллинн, Валгус, 164 с.
- Рыбусокс А. 1970. *Стратиграфия Вируской и Харьковской серий (Ордовик) Северной Эстонии*. I, Таллинн, Валгус, 346 с.
- Эйнасто Р. 1964. К вопросу о классификации и формировании поверхностей перерыва. *Литология палеозойских отложений Эстонии, Инст геол АН ЭССР*, Tallinn, lk. 123–130.
- Эйнасто Р. 1989. Система перерывов в силуре северной Прибалтики. *Геология и палеонтология: к 100-летию со дня рождения академика Д. В. Наливкина*. Leningrad: Nauka, lk 142–153: ill–Bibliogr.: 27 nim.
- Эйнасто Р. 1994. Цикличность, перерывы и естественная стратиграфия ордовикско-силурийской карбонатной толщи в Эстонии. *Вопросы геологии и археологии: тезисы докл симпозиума, посвященного 150-летию со дня рождения профессора Ст-Петербургского Ун.та А. А. Иностранцева*, lk 23.

Kõige tähtsam teooria – vee teke

Andres Marandi

17. Siis Iisak läks sealt ära ja lõi oma telgid üles Gerari orgu ning elas seal.

18. Ja Iisak kaevas uuesti need veekaevud, mis tema isa Aabrahami päevil olid kaevatud ja mis vilistid pärast Aabrahami surma olid kinni matnud; ja ta pani neile needsamad nimed, mis tema isa neile oli pannud.

19. Aga kui Iisaki sulased kaevasid orus ja leidsid seal voolava veega kaevu,

20. siis Gerari karjased riidlesid Iisaki karjastega, öeldes: "Vesi on meie oma!" Ta pani siis kaevule nimeks Eesek (Tüli), sellepärast et nad temaga olid tüliksenud.

21. Siis nad kaevasid teise kaevu, ja selle pärast riidlesid nad ka; ja sellele ta pani nimeks Sitna (Süüdistus).

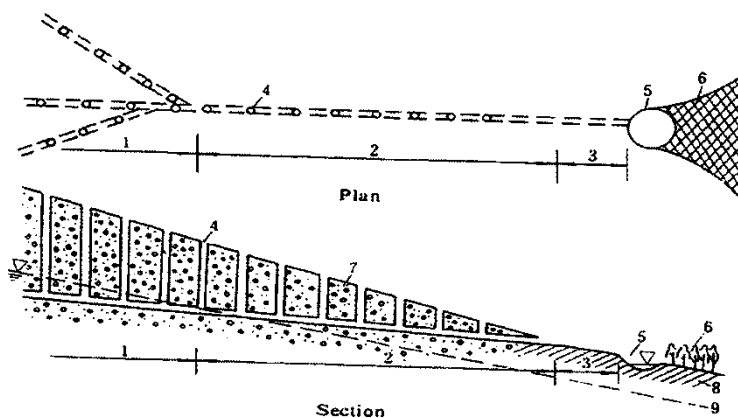
22. Sealt ta siirdus edasi ja kaevas veel ühe kaevu, aga selle pärast nad ei riidelnud; ja sellele ta pani nimeks Rehobot (Väljak) ning ütles: "Nüüd on Issand andnud meile avarust, et võiksime siin maal olla viljakad."

Nii kirjeldatakse juba Vana Testamendi esimeses Moosese raamatus (26:17–19) vee saamise olulisust elutegevuses ning veest tõusvaid suuri tülisid. Kuigi heebrealased kogusid rahvajutte ja – tarkusi, mille põhjal lõpuks valmis Piibel, ei puudutata neis jutustustes kordagi vee enda tekkepõhjuseid (Strangeways 2008).

Neile, kes on vähegi kokku puutunud hüdrogeoloogiaga, on Darcy seadus tuttav ning nad teavad, et tänapäeval aktsepteeritud teooria kohaselt käsitletakse põhjavett ühe osana veeringest, mis täieneb peamiselt sademete infiltratsiooni teel. Tänapäevase veeteooria vanus, võrreldes loodusteaduse ajalooga, on aga üsna lühike, kuna selle alused lõi prantslasest teadlane Henry Darcy alles 19. sajandil. Siiski on tähelepanek, et jõed voolavad pidevalt merre, samal ajal kui meri kunagi ei täitu ning jõed voolavad pidevalt, ilma et nad kuivaks jääksid, paelunud inimesi juba tuhandeid aastaid. Mingi aimdus, et on olemas ringe, mis need nähtused omavahel seob, on sama vana, kuid seletused on olnud erinevad. Käesolevas kirjatükis püüangi mõnede teoste tuginedes anda ülevaate vee tekke teooriatest muistset ajast kuni Darcy katseteni välja. Kes tahavad Darcy katsetest ning tänapäeva nägemustest rohkem teda, peavad külastama ülikoolides loetavaid hüdrogeoloogialaseid kursusi.

Veekasutus oli oluline juba muistsete põlluharijate ning rändrahvaste jaoks. Kui me tänapäeval teame, et allikad toituvad põhjaveest, mis omakorda toitub sademetest, siis muistsetel rahvastel seda teadmist ei olnud. Siiski teadsid nad oma kogemustest, et auke vee kogumiseks on kasulik teha just allikarikastes piirkondades või siis allikate ligiduses (Wetter 2001).

Juba 2000 aastat e.Kr. rajasid egiptlased ja sumerid niisutussüsteeme ning tamme jõgedele. Ligikaudu 600 aastat e.Kr. hakati Pärsias ehitama maa-aluseid vee kogumise ja transpordi tunnelerid – kanaate (*qanat systems* – inglise keeles) (joonis 1), mis võimaldasid veevaeses piirkonnas vett juhtida küllaltki pikkade vahemaade taha ning rajada ulatuslikke niisutussüsteeme põlluharimiseks (www.waterhistory.org/histories/qanats/).



Joonis 1. Kanaadi üldine skeem. Pildid on tähistatud numbritega: 1 – kanaadi infiltratsiooniosa, 2 – kanaadi vettjuhtiv osa, 3 – avatud kanal, 4 – vertikaalsed šahtid, 5 – väike kogumistiik, 6 – niisutusala, 7 – liiv ja kruus, 8 – veepide, 9 – põhjaveetase (www.waterhistory.org/histories/qanats/).

Ka Ateenas võis 600 a. e.Kr. leida sügavaid, kiviplatidega kaetud kaeve. Kivirakete servad olid kulutatud vaoliseks nõõride poolt, mis juba sajandeid olid vinnanud üles anumaid hinnalise veega (Wetter 2001).

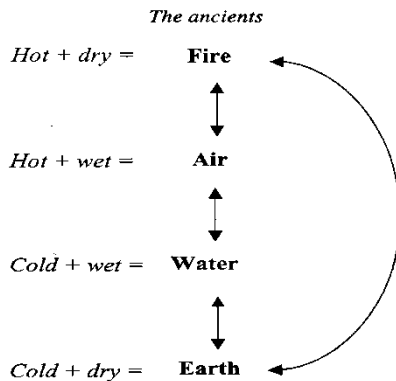
Just kreeklased olid esimesed, kes hakkasid huvi tundma vee olemuse ja tekke vastu ning seda mitte ainult praktilisest eesmärgist lähtuvalt, vaid neid huvitas ka nähtuse taust. Kreeka suurte mõtlejate teooriad sõltusid kõik tolleaegsest maailmakäsitlusest. Thales (600 e.Kr.) uskus, et Maa ujub vee peal ning kõik on alguse saanud veest, Maa kaasa arvatud. Teooria, kus Maa tekkis veest, võis alguse saada kreeklaste kogemustest Niiluse deltat vaadeldes, kuna jõevetega kaasaliikuvad rohked,

algsetl setted moodustasid deltaalale suuri saari. Niilus paelus kreeklasti ka oma ebatavalise veerežiimiga, mille äraoolu tipp on, vastupidiselt teistele ümbruskaudsetele jõgedele, suvel. Õige seletus Niiluse veerežiimi iseärasustele tuli alles peale brittide avatusretki Niiluse ülemjooksule 19. sajandil (Strangeways 2008).

Empedokles oli esimene kreeka filosoof, kes uskus, et kõik siin maailmas pärineb neljast põhielemendist – vesi, maa, õhk ja tuli. Hiljem „korjasid“ selle teooria üles Platon ja Aristoteles. Anaxagoras (500–428 e.Kr.) tõi esimesena välja teooria, et jõed voolavad tänu sademetele ning veele, mis on Maa sees, kuna Maa on seest tühi ja sisaldab vett oma tühimikes. Hippokrates (470–410 e.Kr.) arvas, et on olemas kahte sorti vett, millest üks on õhuke, kerge ja puhas ning teine on paks, hõgune ja tume. Samuti uskus ta, et päike tõstab kerge vee õhku ja seeläbi on sademete vesi kõige puhtam vesi maailmas (Strangeways 2008).

Aristoteles (384–322 e.Kr.) jõudis oma vee tekke kirjeldusega praegustele teooriatele kõige lähemale, kuigi tema mõtete põhialused olid teistsugused. Aristotelese sõnul (Meteorology by Aristotle 2007):

„Maapinna kohal moodustavad õhust väikesed veepiisad, mis omakorda ühinevad, kuni vesi saab sarnaseks vihmaga. Me peame eeldama, et täpselt samuti koguneb vesi vähehaaval maa sees ning et jõgede alged tulevad väikeste niredena maapinnale ning ühinevad lõpuks“.



Joonis 2. Neli põhielementi, millest koosneb kogu maailm (Meteorology by Aristotle 2007).

Kui Aristotelese teooria võtta välja tema aja kontekstist, siis on põhjavee tekke eeldused täiesti õiged. Kahjuks oli ka selle teooria aluseks

nelja põhielemendi olemasolu ning nende muutumine ühest faasist teise (joonis 2).

Aristoteles uskus samuti, et kõik siin maailmas koosneb neljast elemendist – maast, veest, õhust ja tulest. Iga element võib üle minna ühest teiseks, kuid ainult kindlas järjekorras, nii nagu on näidatud nooltega joonisel 2. Nii oli maa kõige alumine ning tuli kõige kõrgemal positsioonil elementide suhtes (joonis 2). Maa kohale tõusis vesi ning selle kohale õhk, kuid õhk jäi alati allapoole tuld. Kõik neli elementi moodustasid üksteisest läbi põhiomaduste: soojus, külm, kuivus ning niiskus (joonis 2; Stangeways 2008).

Lähtuvalt eelnevast, tungis Aristoteelse teooria kohaselt soe õhk maapinda, kus see kiirelt jahutati ning õhk muutus külma mõjul veeks. Siiski ei suutnud Aristoteles uskuda, et kogu jõgede vesi pärineb sademetest tulnud põhjaveest, sest tema arvates ei olnud sademeid piisavalt (Meteorology by Aristotle 2007).

Kreeka on maa, kus levivad karbonaatkivimite platood ning seetõttu olid ka filosoofid tuttavad karstinähtustega ning suurte karstikoobastega. Sellest tulenevalt oli varajaste mõtlejate arust Maa seest õõnes ning jõed toitused lisaks sademetele veel maa sees olevatest mageda vee reservuaaridest (Wetter 2001). Ka Aristoteelse meelest pidi olema olema maa-alune meri, mis varustas jõgesid uue värske veega. Selline meri toitused veest, mis külma mõjul moodustus maasse tunginud õhust, nii nagu maapinna kohal muudab külm õhu veeks (Meteorology by Aristotle 2007): *„õhk, mis ümbritseb maad muutub veeks tänu taeva külmusele ning langeb seeläbi maha vihmana....samamoodi õhk, mis tungib maapinda, muutub veeks tänu külmale, mis maapinnas valitseb“*.

Nii moodustuski Aristoteelse arvates kogu jõgede vesi maapõues oleva veekogu, maapinnas veeks formeeruva õhu ning sademete arvel (Meteorology by Aristotle 2007).

Lisaks oli kreeka filosoofidel veel teinegi levinud seletus, kuidas maa-alune „kamber“ veega täitus – nimelt toimus see merevee sissetungi arvelt, mis oma teel maa sees kuidagi puhastus. Antud teooria kohaselt oli aga filosoofidel raske seletada, kuidas vesi võis tõusta merest nii kõrgele, et toita mägedes voolavaid jõgesid (Wetter 2001).

300 a. e.Kr. hakkas Kreeka tsivilisatsioon hääbuma ning 100 a. e.Kr. liikus kultuuri keskus Roomasse. Roomlased olid väga head praktilised insenerid ning nad rajasid imetlusväärseid akvedukte ja kanalisatsiooni-süsteeme, kuid nad tegid seda, süüvimata protsessidesse ja põhimõtetusse. Kõik loodi lihtsa katse-eksituse meetoditel. Rooma kirjamehed ei omanud selles valdkonnas uusi värskeid ideid, vaid nad kirjutasid valdavalt üle kreeka filosoofide tarkusi (Stangeways 2008).

Seneca (4 e.Kr.–65 p.Kr.) kirjeldas oma teostes jõgede teket ning ei uskunud, et kogu jõgede vesi võiks olla pärit vaid sademetest. Ta märkis, et tema viinamarjaistanduses suudab vesi ka kõige tugevama saju korral tungida vaid maksimaalselt 10 jala sügavusele. Seneca arvates olid maa sees leiduva põhjavee allikad järgnevad: 1) maa iseeneses sisaldab palju vett, mida sealt pidevalt välja drenitakse, 2) maa sisse tunginud õhk muudetakse pimeduse ja külma mõjul pidevalt veeks ning 3) maa ise muutub pidevalt veeks (Wetter 2001).

Vitruvius (80–15 e.Kr.), kes kirjeldas oma teostes sademete teket ning uskus Aristotelese ja Hippokratesele sarnaselt, et vaid kerge vesi tõuseb soojuse mõjul õhku, püüdis kirjeldada veeringet sauna analoogial (Stangeways 2008):

„Soe basseinivesi, mida kuumutatakse, aurustub ja aur moodustab väikesed piisad sauna seintel. Kui moodustunud piisad muutuvad piisavalt suurteks, kukuvad need saunalistele pähe. Seetõttu on mõistlik eeldada, et kuna seintes vett ei ole, siis peab kogu vesi tõusma basseinist.“

Vitruviuse teos *De architectura libri decem* sisaldab ka soovitusi põhjavee leidmiseks ning seal on tabel, mis kirjeldab erinevates pinnasetüüpides sisalduva põhjavee hulka ja maitset (Wetter 2001).

Peale Rooma tsivilisatsiooni kustumist ei olnud järgneva 1500 aasta jooksul ühtegi uut ja originaalset ideed vee tekke üle. Isegi Leonardo da Vinci (1452–1519) jäi teooria juurde, et jõgesid toitev vesi tõusis merest veesoonte kaudu mägedesse ning teel puhastus merevee sooladest. Esimesena andis korrekste ülevaate veeringest prantslane Bernard Palissy (1510–1590; Wetter 2001).

Palissy hülgas esimesena teooria, et vesi tõuseb merest mägedesse. Tema arvates oleks sellisel juhul vesi pidanud olema soolane. Palissy pani tähele, et rannikualadel ja saartel on mäge põhjavesi kõrvuti soolasega. Tema arvates oli ainus võimalus, et saartel esineva magevee lääts, mis on ümbritsetud soolase veega, on tekkinud sademetest. Samuti jälgis ta, et kuivadel suvedel osad allikad kuivavad ning väitis, et see ei oleks võimalik mereveest toitumise puhul. Kõige olulisem järeldus oli aga see, et maa alla liigub vesi aeglasemalt kui maa peal. Viimane võimaldas anda seletuse kõige olulisemale küsimusele – kuidas saavad jõed voolata kuival ajal. Vihm jõuab lihtsalt jõgedesse mitte kohe peale vihma, vaid mingi viivitusega (Deming 2005):

„Vihm, mis sajab maha mägedes, lauskmaal või kus iganes, liigub maa sees vaikselt jõgede poole..... nii saavad toidetud kõik allikad ühe talve lõpust kuni teise alguseni“.

Kahjuks kirjutas Palissy oma tööd prantsuse, mitte ladina keeles, mis oli valitsev teaduskeel sel ajastul. Seetõttu jäid tema tööd laialdaselt

märkamata ning kreeklaste ja roomlaste vanad ideed kestsid jõudsalt edasi (Wetter 2001).

17. sajandil alustati põhjavee kvantitatiivsete mõõtmistega. Esi-mesena viis neid läbi Pierre Perrault (1608–1680), kes mõõtis sademeid ja vooluhulki Seine'i jõe ülemjooksul. Ta mõõtis väikesel valglal sademeid ning äravoole ning suutis seeläbi tõestada, et sademetest on enam kui küll jõe voolamiseks läbi aasta ning enamgi veel – sellest piisas ka, et katta kadusid nagu taimede toitmine ning aurumine. Perrault uskus siiski, et allikad toituvad jõgedest ning et sademed ei infiltreeru suures osas maapinda (Wetter 2001). Siiski olid Perrault poolt tehtud katsed aluseks edaspidistele mõõtmistele kuni Henry Darcy katseteni aastal 1850.

Henry Darcy sündis 10. juunil 1803. aastal Dijon'i linnas Prantsusmaal. Tema tegevusele andis tõuke ebakvaliteetne vesi, mida ta oli sunnitud tarbima oma lapsepõlves. Seetõttu sai tema elu eesmärgiks muuta paremaks Dijon'i veevarustus. 1840. aastaks oli linnal tarbimiseks puhtaim vesi tollaegses Euroopas. Dijoni linna veevarustuse planeerimisel sai Darcy palju praktilisi oskusi, mida kasutades rajas ta oma kuulsa katseseadme ning viis aastal 1855 läbi rea katsetusi ning postuleeris oma tulemused järgnevana (Sharp & Simmons 2005):

„samasuguse liiva puhul võib eeldada, et liiva läbiv vee hulk on proportsionaalne vee tasemega ning pöördvõrdelises seoses läbitava liivakihi paksusega“.

Darcy töö tulemuste mõjuga hüdrogeoloogiale on kõigil huvitatutel võimalik tutvuda aga juba hüdrogeoloogia loengute raames kõigis endast lugupidavates tänapäeva ülikoolides.

Kasutatud kirjandus

- Deming D. 2005. Born to Trouble: Bernard Palissy and the Hydrologic Cycle. *Ground Water* 46(6): 969–972.
- Meteorology by Aristotle. 2007. Translated by E.W. Webster. Ebooks @Adelaide. The University of Adelaide Library, (<http://etext.library.adelaide.edu.au/a/aristotle/meteorology/>).
- Sharp J.M. & Simmons C.T. 2005. The Compleat Darcy: New lessons Learned from the First English Translation of Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon. *Ground Water* 43(3): 457–460.
- Strangeways, I. 2008. *Precipitation: Theory, Measurement and Distributions*. Cambridge University Press. (http://assets.cambridge.org/97805218/51176/excerpt/9780521851176_excerpt.pdf).
- Wetter C.W., Jr. 2001. Historical Knowledge of Ground Water (<http://www.appliedhydrogeology.info/>).

Internetiallikad:

<http://www.waterhistory.org/histories/qanats/> [09.2008]

Andres Marandi (andres.marandi@ut.ee) – Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Ökoloogia ja Maaieaduste Instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu; Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Maa magnetvälja müsteerium

Ulla Preeden, Jüri Plado

Kuna Maa magnetvälja teket, olemasolu ja toimimist puudutavaid teooriaid pole nähtuse enda keerukuse tõttu ei lihtne kirjeldada ega põhjendada, on selle allikas olnud seetõttu kaua aega mitmesuguste hüpoteeside aluseks.

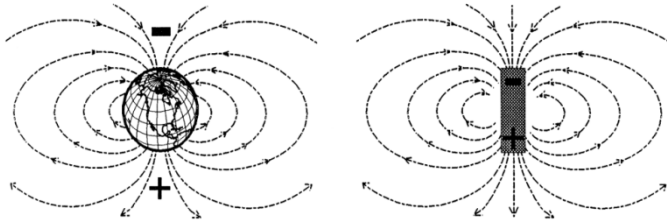
Ajaloolisest taustast

On arvatud, et Maa magnetvälja põhjustavad magnetiseerunud maakoorekivimid. Kõige tugevamalt on magnetiseerunud (intensiivsusega 1...10 amprit meetris) basaldid ja gabrod. Samas, isegi kui need kivimid oleksid maakoores ühtlaselt jaotunud, suudaksid nad luua magnetvälja tugevusega, mis moodustab tegelikust vaid mõne protsendi. Kuna temperatuur vahevöös ja tuumas on kõrgem kui ferromagneetikute Curie' punkt, mis on iseloomulik temperatuur (raual näiteks 770°C), milleni säiluvad mineraalide ferromagneetilised omadused. Seetõttu ei saa Maa magnetväli olla loodud mõne püsiva magnetiseeritud allika poolt. Lisaks eelneval peaks teooria, mis selgitaks rahuldavalt Maa globaalse magnetvälja teket, olema võimeline selgitama ka selle varieerumist ajas ja ruumis.

Kivimite magnetiliste omaduste uurimise alguseks loetakse nn. "magnetraua" (magnetiidist rikastanud kivim) avastamist Aasias ~1000 aastat tagasi. Arvatakse, et esimestena oskasid magnetiseerunud rauda kasutada hiinlased. Idee sellest, et kogu Maa käitub nagu üks suur magnet, tekkis palju hiljem. Esimesed andmed magnetkompassi kasutamisest navigatsioonis pärinevad 12 saj. lõpust.

Esimene teaduslik uurimustöö magnetväljast ja tema suunast pärineb aastast 1600, mil *sir* William Gilbert (1544–1603) avaldas raamatu "*De magnetibus, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*". Gilbert näitas, et Maa ning tavalise püsिमagneti ümber eksisteeriv magnetväli on oma kujult sarnased ning ekvivalentsed e. samaväärsed, nagu oleks magnet paigutatud Maa sisemusse paralleelselt tema pöörlemisteljega (joonis 1).

Süsteemaatilisi magnetvälja suuna vaatlusi hakati Londonis läbi viima veel Gilberti eluajal. Maa magnetvälja suuna lokaalseid anomaaliaid kasutati juba 1640. aastal rauamaagi otsinguil Rootsis. Samas puudusid sel ajajärgul veel sobivad vahendid analüüside tegemiseks, mis aitaksid põhjendada magnetvälja päritolu maapinnal.



Joonis 1. Maa (vasakpoolne) ja püsimagneti (parempoolne) magnetväli kirjeldatuna magnetilise induktsiooni joonte abil (Lille 1999).

Kas magnetväli, mida vaatleme, tuleneb Maa sisemusest, Maavälistest allikatest või elektrivoolust, mis ristub maapinnaga. Saksa teadlane Carl Friedrich Gauss oli 19. sajandil esimene, kes lahendas selle probleemi matemaatiliselt (Dunnington et al. 2004). Ta eeldas, et iga magnetiline keha sisaldab võrdses osas kahte magnetilist „fluidi“: põhi ehk positiivne ja lõuna ehk negatiivne. Ta kordas Gilberti vaatlusi ning näitas, et maapinnal vaadeldava magnetvälja põhjuseid tuleb otsida Maa seest.

1870. aastal töötati välja maakide otsingukaardistamiseks mõeldud spetsiaalne aparaat ja selle tööde tulemusel 1879. aastal publitseeris R. Thalen esimese geofüüsikalise teadusliku artikli “*The Examination of Iron Ore Deposits by Magnetic Measurements*”.

Nüüdisaegne lihtsustatud teooria magnetvälja tekkest

Tänapäevaks on kindlaks tehtud, et suurim osa (~98%) Maa magnetväljast pärineb Maa sisemuses paiknevatest allikatest. Arvatakse, et selle põhjustajaks on liikuv vedel metall (hea soojus- ja elektrijuht) planeedi tuumas (Lille 1999). Ülejäänud 2% on väline magnetväli, mis pärineb muudest allikatest (peamiselt Päike).

Lihtsustatult võib tõepoolest Maa magnetvälja kirjeldada kui dipooli, mille üks poolus asub Maa geograafilise põhjapooluse ja teine lõunapooluse juures ning on kallutatud 10,9° Maa pöörlemistelje suhtes. Pooluste kontseptsiooni on võimalik demonstreerida laboratooriumis, puistates rauapuru õhukesele klaaslehele, mille alla on paigutatud püsimagnet. Rauapuru orienteerub piki kõverjooni, mida nimetatakse magnetilise induktsiooni joonteks. Punkte, kus magnetilise induktsiooni jooned kokku saavad, nimetatakse magnetpoolusteks. Faktiliselt asuvad poolused magneti sees, tema otsade läheduses (joonis 1). On kokku lepitud, et magnetilise induktsiooni jooned väljuvad + ehk põhjapooluselt ja suubuvad magnetisse – ehk lõunapoolusel. Poolused esinevad alati paarina,

kuid väga pika magneti puhul ei allu need jooned teise, vastaspooluse mõjule. Sel juhul on võimalik igat poolust vaadelda kui isoleeritud poolust.

Globaalse magnetvälja teket põhjendatakse dünamoteooriaga. Nimelt, maapinnal vaadeldavad globaalse välja neli maksimumi lubavad oletada kahest omavahel seotust geomagnetilisest dünamost koosneva mehhanismi eksisteerimist. “Dünamomehhanismi” põhjustavate jõudude detailne iseloom pole selge. Piirdatakse ettekujutusega, et Maa pöörlemisele sarnanev mehhanism kutsus esile tuumasisesse aine liikumist.

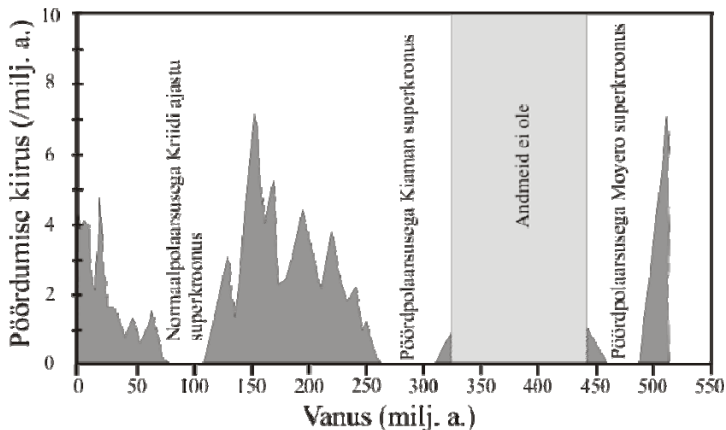
Aine liikumiseks vajalik energia võib pärineda sisetuumast, põhjustades **termilise konvektsiooni**. Soojendamisel vedelik paisub, tema tihedus muutub väiksemaks, ning hakkab liikuma gravitatsiooniliselt ülespoole. Kui soojendamine on aktiivsem “allpool”, siis ülal vedelik jahtub, muutub tihedamaks ning vajub allapoole. Kokkuvõttes moodustub konvektsiooniline tsükkel. Maa välisruumis võimaliku toimiva termilise konvektsiooni käigushoidmiseks on vaja väga palju energiat. Üheks energiaallikaks on radioaktiivne lagunemine. Kandidaadiks võib olla kaaliumi radioaktiivne isotoop ^{40}K poolestusajaga 1300 Ma (radioaktiivne kaalium moodustab ~0,01% kaaliumi koguhulgast). Eelnevast on teada, et kaalium on litofiilne („silikaate armastav“) element ning seega peaks ta esinema väljaspool Maa tuuma, eriti kontinentaalses maakoores. Suurte rõhkude juures aga käitub kaalium siderofiilselt („rauda armastav“), kuid ei lahustu. On võimalik, et tuumas esineb olulises koguses ka radioaktiivset uraani ja tooriumi.

Ainese liikumise põhjuseks võib olla ka **koostisest põhjustatud konvektsioon**. Selleks, et selline konvektsioon välisruumis toimiks, peab sisetuuma ruumala kasvama. Oletatakse, et välisruuma materjal jaguneb sisetuumaga piiril kaheks komponendiks. Näitena kasutatakse Fe – FeS lahust: osa rauda eraldub sisetuumaga piiril ning järelejääv FeS rikas lahus (kergem) liigub gravitatsiooniliselt ülespoole. Selline, materjali koostise poolt põhjustatud konvektsiooni mudel on eelistatud, kuid ei oma otsest tõestust. Vaatamata sellele, et ajaloo vältel on tehtud tohutu edasiminek dünamoteooria lahenduste põhjuste otsimisel, ei ole Maa dünamost hetkel ühtegi kompleksset kirjeldust (Dormy & Mouël 2008).

Magnetvälja muutused

Maa magnetväli pole alati olnud sama suuna ja tugevusega. Selleks, et geoloogilisi minevikusündmusi uurida, tuleb analüüsida fossiilset välja (vulkaanilised kivimid, setted), millesse võib olla salvestatud kivimi tekke hetkel valitsenud Maa magnetilised tingimused. Vaheldunud on pikad stabiilsed intervallid, mida nimetatakse kroonusteks (epohhideks), kus magnetväli on orienteeritud nii nagu tänapäeval (normaalpolaarsus) või

vastupidi (pöördpolaarsus). Pikkade intervallide järel toimuvad välja suuna pöördumised, mis tähistavad järsku üleminekut ühest polaarsusest teise. Ühe kroonuse kestvus viimase 80 miljoni aasta jooksul on ulatunud 100 000 kuni 10 000 000 aastani ja keskmine kestvus viimase 250 miljoni aasta jooksul on olnud 15 000 000 aastat, kui superkroonused (kõik pikemalt kestvad sarnase polaarsusega ajad) välja arvata (joonis 2; Dormy & Le Mouél 2008).



Joonis 2. Geomagnetilise välja muutuste sagedus Faneroosikumi jooksul (Pavlov ja Gallet 2005 alusel).

Praeguse aja Maa magnetvälja uurimused näitavad, et väli nõrgeneb ja Maa võib olla liikumas uue pöördpolaarsuse perioodi poole. Alates 1840. aastast, mil täpsed mõõtmised välja intensiivsusest alguse said, on täheldatud, et välja tugevus on alanenud ~5% sajandis (Roach 2006). Kui kahanemine jätkub sama trendiga, toimub polaarsuse vahetumine lähema 2000 aasta jooksul. Teisalt see ei pruugi ka nii minna, kuna välja intensiivsus on läbi aegade pidevalt muutunud – nii tugevnenud kui kahanenud. Arvatakse, et viimase 800 000 aasta jooksul on magnetväli üritanud pöörduda 10. kuni 20. korral. Maa magnetvälja pöördumiste põhjused pole siiani selged. On küll loodud mitmeid teoreetilisi mudeleid Maa vedela ülemise tuuma liikumise kohta pöördemomendil, kuid ükski neist pole siiani üldtunnustatud.

Kokkuvõtteks võib nentida, et Maa magnetväli ja selle päritolu on kompleksne ja keeruline süsteem. Ühe kindla ja vääramatu teooriaga pole suudetud välja tulla tänapäevani, kuid tehnika ja teadmiste arenguga pole lahendused tõenäoliselt enam kaugel.

Kasutatud kirjandus

- Dormy E. & Le Mouél J.L. 2008. Geomagnetism and the dynamo: where do we stand? *C. R. Physique* (in press)
<http://france.elsevier.com/direct/COMREN/>
- Dunnington G.W., Gray J., Dohse F.E. 2004. Carl Friedrich Gauss: Titan of Science. Kirjastaja MAA, 537 lk.
<http://books.google.ee/books?id=4mwSrfxBSzkC&hl=en>
- Lille R.J. 1999. *Whole Earth Geophysics. An Introductory Textbook for Geologists and Geophysicists*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, 361 lk.
- Pavlov V. & Gallet Y. 2005. A third superchron during the Early Paleozoic, *Episodes* 28: 78–84.
- Roach J. 2006. Magnetic Field Weakening in Stages, Old Ships' Logs Suggest.
<http://news.nationalgeographic.com/news/2006/05/magnetic-field-1.html>

Ulla Preeden (ulla.preeden@ut.ee) – Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu.

Jüri Plado (juri.plado@ut.ee) – Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu

Dendrokronoloogia geoloogias

Kristina Sohar, Alar Läänelaid

Geoloogidele pole võõrad dateerimismeetoditena kasutatavad radioaktiivsed isotoobid, näiteks radioaktiivne süsinik (^{14}C) või suhteliste vanuste määrangutel abiks olevad biostratigraafia ja varvokronoloogia. Alljärgnev annab põgusa ülevaate veel ühest absoluutse vanuse määrangutest – dendrokronoloogilisest dateerimisest ning selle rakendustest geoloogias.

Dendrokronoloogia ja ristdateerimine

Laiemas tähenduses on dendrokronoloogia teadus puude aastarõngastest ja nende seostest erinevate keskkonnatingimustega: õhutemperatuur, sademed, valgus, tuul, toitainete kättesaadavus, erinevad häiringud (näiteks tulekahjud, õhu- ja mullasaaste). Kitsamalt on dendrokronoloogia puidu dateerimine selle aastarõngaste põhjal. Seda meetodit kasutatakse erinevates teadusharudes, näiteks arheoloogias, kunstiteadustes ja ehitusajaloos (Schweingruber 1996).

Juba sajandeid on tehtud tähelepanekuid aastarõngaste ja ilmastikutingimuste vaheliste seoste kohta. Näiteks 15. sajandist pärinevad Leonardo da Vinci märkmed puude juurdekasvu kohta. Ta märkis, et saetud puudel nähtavad rõngad näitavad puu vanust ning nende laius viitab kuivematele ja niiskematele aastatele. Samuti märkis da Vinci, et Põhja-Itaalias on aastarõngad laiemad kui Lõuna-Itaalias. Tänapäevase teadusharuna tekkis dendrokronoloogia alles 19. ja 20. sajandi vahetusel enam-vähem üheaegselt Euroopas ja Põhja-Ameerikas. Esimesed uurimused olid seotud puidu anatoomia, botaanika ja füsioloogiaga ning klimatoloogia ja astro-noomiaga. Teadusharu arenedes kasutati puude aastarõngaid ka ajaloo-, arheoloogia- ja geomorfoloogiaalastes uurimistöödes. Puude aastarõngaste teadusliku uurimise alusepanijais peetakse A. E. Douglassi USA-st ning B. Huberit Saksamaalt (Schweingruber 1988, 1996).

Dendrokronoloogilise dateerimise aluseks on asjaolu, et igal aastal puutüves moodustuva aastarõnga laius sõltub keskkonnatingimustest, eelkõige ilmastikust. Kuna need faktorid varieeruvad aastast aastas, siis ka aastarõngaste laiused on aastate lõikes erinevad. Samas kasvukohas mõjuvad keskkonnategurid puude juurdekasvule ühesuguselt. Puidust puuritud proovidel nähtavad aastarõngalaiused moodustavad „triipkoode“, mida dendrokronoloogid nimetavad aastarõngamustriks. Nii nagu meie geograafilisest asukohast lõuna pool on soojem kliima, nii mõjub ka see sealsete puude juurdekasvule erinevalt. Analüüsitud puiduproovide põhjal

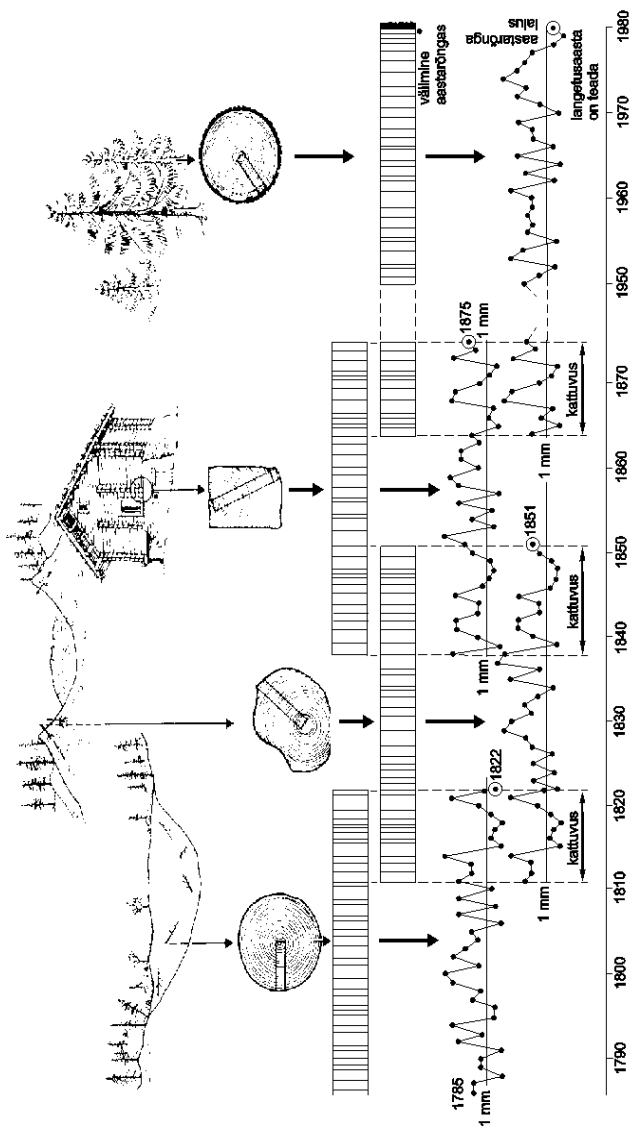
on teada, et Eesti mändide ja kuuskede aastarõngalaiuste read on omavahel sarnased kogu riigi territooriumi ulatuses. Lisaks on avastatud, et aastarõngalaiuste read sarnanevad rohkem meie naaberalade lääne- ja idapoolsete kui põhja- ja lõunapoolsete kronoloogiatega (Länelaid 1998, 2001).

Erinevate puiduproovide aastarõngamustrite võrdlemisel saab kattuvate osade abil leida nende kasvamisajad. Seda meetodit nimetatakse ristdateerimiseks (joonis 1). Puu tegelikku vanust näitab viimane koorealune aastarõngas. Vaid selle puiduosa säilimisel saab määrata ka surnud puu viimast kasvuaastat ning ehituspuidu puhul langetamisaastat. Neist viimase järgi saab omakorda määrata näiteks puithoonete ehitamis-aega. Seega annab dendrokronoloogiline dateerimismeetod absoluutse vanuse. Juhul, kui õnnestub kronoloogiat pikendada tänapäevani, on võimalik dateerida puitobjekte ja nendega seotud geoloogilisi objekte aastase täpsusega.

Dendrokronoloogia rakendustest geoloogias

Kuna puud on võimelised kohanema keskkonna muutumisega, siis kajastub see ka nende juurdekasvus. Lisaks tüve ristlõikele saab ka võrsete ja juurte moodustumise dünaamika abil kirjeldada kauges minevikus toimunud sündmusi. Kasvavad puud on pärit oma algsest paigast, surnud puud võivad säilida nii oma kasvukohas (näiteks kannud turbarabas) kui olla erinevate loodusjõudude poolt viidud uude asukohta (näiteks ajupuit veekogu kallastel). Järgnevalt mõned näited rakendusala-dest geoloogias (Schweingruber 1988, 1996).

Puude aastarõngaste kasutamist dateerimaks maapinna protsesse, nimetatakse laiema dendrogeomorfoloogiaks. Näiteks mägimetsades saab puude armide ja aastarõngamustri või surnud tüvede abil kindlaks teha varingute ja rusuvoolude perioode. Puude juured kasvavad üldjuhul maa sees. Tuule- ja veeprotsesside tõttu paljastunud juurte abil on võimalik määrata pinnase ärakande hulka rõhtsalt kasvavate juurte keskpunkti ja tänapäevase maapinna vahe kaudu. Kesk-Euroopa jõesängide Kvaternaari-ajastu setetest leitud tammepuidujäänuste abil on üles ehitatud sealse maastiku kujunemislugu. Euroopa lääneranniku setetest on leitud hulganisti tamme- ja männikände ning tüvejäänuseid. Alge asukoha säilitanud puiduleiud näitavad meretaseme ajalugu. Puude aastarõngaste kasutamist dateerimaks ja kirjeldamiseks liustike praegust ja mineviku dünaamikat nimetatakse dendroglatsioloogiaks. Seda on palju rakendatud näiteks Alpi ja Kaljumäestiku liustike uurimisel.



Joonis 1. Ristdateerimise põhimõte: dateeritud (kasvava) puidu aastarõngamustri kattuvus dateerimata puiduproovi aastarõngamustriga annab viimasele dateeringu. Kattuvate aastarõngamustritega puiduproovide leidumisel saab rida pikendada kaugemale minevikku (Schweingruber 1988).

Moreenis säilinud puidujäänuste koorealuse aastarõnga abil saab kindlaks teha liustiku pealetungi aja. Puu säsi vanus ehk kasvamise algusaeg viitab jäävabale perioodile. Jääst vabanenud aladel erinevatelt sügavustelt leitud kändude põhjal saab määrata liustikuserva kõikumise ulatuse. Puidujäänuse dateerimisele eelneb tavaliselt radiosüsinik-dateerimine. Selle abil määratakse ligilähedane vanus absoluutsel ajaskaalal, millele järgneb juba täpsem dendrokronoloogiline dateering pikaajaliste võrdlusridade abil.

Dendrovulkanoloogilised uuringud põhinevad tõsiasi, et vulkaanipursked mõjutavad puude kasvukeskkonda, mis väljenduvad juurdekasvu muutumises. Aastarõngamustri selge muutus viitab purske toimumise ajale. Näiteks tuhaga kattunud lehestikuga puudel on takistatud fotosüntees ning moodustub kitsas aastarõngas. Samas puudel, mis jäävad peale vulkaanipurset ellu ning ümberringi hävinud puude arvelt saavad rohkem valgust, võib juurdekasv paraneda ning moodustuda laiemad aastarõngad. Suured vulkaanipursked võivad mõjutada kogu maailma kliimat. Pärast purset atmosfääris edasikanduv tuhk takistab päikesekiirguse jõudmist atmosfääri madalamatesse kihtidesse ning ilm püsib pikemat aega tavalisest külmem. Aastarõngas kajastub see väikse tiheduse ja külmakahjustusega hilispuiduna. Vulkaanipurskele järgneval külmal perioodil võib tekkida rohkem sademeid ning niiskuse poolt piiratud puuliikidel moodustuda hoopis laiem aastarõngas. Samuti mõjutavad puude kasvu meteoriidiplahvatused. Tuntud on 1908. aasta Tunguusi meteoriidiplahvatuse mõjualasse jäänud puude juurdekasvu muutumine (Kasatkina & Shumilov 2007).

Põhja- ja Lääne-Euroopa soodest, eriti turbarabadest on leitud tamme ja mändide fossiilseid jäänuseid. Puutüvesid võib leida nii erinevatest raba osadest kui ka erinevatest turbakihtidest. Selliste kasvukohtade järsk niiskuserežiimi muutus (nii järsk kuivenemine kui üleujutus) väljendub sealsete puude aastarõngaste laiuse kitsenemisega. Anaeroobsetes tingimustes on puutüved väga hästi säilinud, kui aga puidumaterjal on jäänud raba pinnale, võib ta mõne aastaga hakata lagunema. Eriti mädaneb koorealune maltspuit, mis on määrav osa puidu dateerimisel.

Toodud näidetes on dendrokronoloogiline dateerimine võimalik vaid tänu pikaajaliste võrdluskronoloogiate olemasolule. Kesk-Euroopas küünivad tamme- ja männikronoloogiad üle 10 000 aasta tagusesse aega. Näiteks on loodud 12 460 aasta pikkune Kesk-Euroopa kombineeritud tamme- ja männikronoloogia (Friedrich et al. 2004). Tartu Ülikooli dendrolaboris ristdateerimise alusel loodud 894 aasta pikkune männikronoloogia ulatub hetkel 12. sajandisse (1113–2006), mis geoloogilises ajaskaalas on liiga lühike ajahik.

Eestis on dendrokronoloogiat geoloogias kasutatud põlevkivi-kaevanduste langatuste mõju uurimisel (Läänelaid jt. 2006, 2008). Mattunud puidu järgi on võimalik hinnata näiteks rabade kasvukiirust; kasvavate puude kaudu rannaluidete liikumise kiirust ja ulatust; kuivenduse efektiivsust poldrialade metsa suhtes ning veetaseme kõikumist veekogudes.

Kui heade juhuste kokkulangemisel õnnestub Eesti dendrokronoloogilisi ridu ajaskaalas pikendada, siis oleks rohkem võimalusi ka geoloogidel seda dateerimismeetodit oma hüvanguks rakendada.

Kasutatud kirjandus

- Friedrich M., Remmelel S., Kromer B., Hofmann J., Spurk M., Kaiser K. F., Orcel C. & Koppers M. 2004. The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from central Europe – A unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment constructions. *Radiocarbon* 46(3): 1111–1122.
- Kasatkina E. A. & Shumilov O. I. 2007. One More Puzzle of the Tunguska Catastrophe? *JETP Letters* 85 (4): 216–219.
- Läänelaid A. 1998. A network of tree-ring series in Estonia. In: V. Stravinskiene, R. Juknys (eds.) *Proceedings of the International Conference Dendrochronology and Environmental Trends, 17–21 June, 1998, Kaunas, Lithuania*. Kaunas, 264–270 pp.
- Läänelaid A. 2001. Network of tree-ring series in Estonia connected with north European chronologies. *Palaeobotanist* 50(1): 101–105.
- Läänelaid A., Palmik M. & Uibo V. 2006. Kuuskede ja mändide kasvust põlevkivikaevanduse langalal. I. Puura, S. Pihu (toim.) *XXIX Eesti Looduseuurijate Päev. Põlevkivimaa loodus*. Tartu, lk, 57–67.
- Läänelaid A., Eckstein D. & Seo J.-W. 2008. Impact of underground mining of oil shale in northeastern Estonia on Scots pine and Norway spruce growing thereon. *Oil Shale* 25 (4): 12.
- Schweingruber F.H. 1988. *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers Group, 276 pp.
- Schweingruber F.H. 1996. *Tree Ring and Environment. Dendroecology*. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt. Berne, Stuttgart, Vienna, 609 pp.

Kristina Sohar (kriss8@ut.ee) – Tartu Ülikooli geograafia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu.

Alar Läänelaid (alar.laanelaid@ut.ee) – Tartu Ülikooli geograafia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Vanemuise 46, 51014 Tartu.

Rahvusvaheline Planeet Maa Aasta: geoteadused ühiskonna heaks

Ivar Puura

“Geoteadused ühiskonna heaks” on aastaisks 2007–2009 UNESCO ja Rahvusvahelise Geoloogiateaduste Liidu (IUGS, International Union of Geological Sciences [1]) eestvedamisel välja kuulutatud Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta moto. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) – Ühinenud Rahvaste Hariduse, Teaduse ja Kultuuri Organisatsioon [2, 3], mis on loodud ülemaailmseks intellektuaalseks koostööks teaduse, hariduse, kultuuri, kommunikatsiooni, keskkonnakaitse ja inimõiguste vallas, korraldab sarnaseid temaatilisi aastaid suure sagedusega. Lähedastel teemadel toimuvatest aastatest väärivad märkimist Rahvusvaheline Polaaraasta 2007–2008 [4] ning Rahvusvaheline Astronoomia Aasta algusega aastal 2009 [5].

Nende initsiatiivide eesmärgiks on vähendada lõhet teadlaste ja teiste ühiskonnaliikmete vahel, ärgitades teadlasi oma ideid ühiskonnale selgitama ning võimaldades ühiskonnaliikmetel üldarusaadavas vormis nendest ideedest osa saada. Teaduse kommunikatsiooni teema on pälvinud tähelepanu ja rahastust nii Euroopa teadusuuringute ja tehnoloogia arendamise seitsmenda raamprogrammi [6] valdkonnas “teadus ühiskonnas” ning on ka Euroopa poolt rahastatavate teaduse tippkeskuste prioriteetide hulgas [7]. Ka Eestis on Haridus- ja Teadusministeeriumi haldusalas tegutsev sihtasutus Archimedes pööranud järk-järgult suurenevat tähelepanu teaduse populariseerimisele [8]. Ka Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta pearõhk on suunatud geo-teaduste ning nende poolt käsitletavate keskkonnateemade tutvustamisele. Käesoleva artikli trükki suunamise ajaks (6. oktoober 2008) on sellega ühinenud 73 riiki, kolme viimasena Ukraina, Uruguai ja Rohelise Neeme Saared [9].

Rahvusvaheliselt on välja kuulutatud kümme prioriteetset teemat, mille kohta on avaldatud tutvustavaid materjale:

- * Põhjavesi: reservuaar janusele planeedile?
- * Keskkonnariskid: ohtude vähendamine ja teadlikkuse tõstmine
- * Maa ja tervis: turvaline keskkond
- * Kliimamuutused: „kivine lint”
- * Maapõuerikkused: jätkusuutliku kasutamise suunas
- * Megalinnad: ehitame sügavamale ja ohutumalt
- * Sügav Maa: koorest tuumani
- * Maailmameri: aja sügavik
- * Muld: Maa elav nahk
- * Maa ja elu: mitmekesisuse sünd

Rahvusvaheline Planeet Maa Aasta Eestis

Korraldustoimkond Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta tähistamiseks Eestis otsustati moodustada Eesti Teaduste Akadeemia juhatuse istungil 13. juunil 2006. aastal. Selle praegune koosseis on järgmine: Tõnu Meidla (esimees), TÜ; Alvar Soesoo (aseesimees), TTÜ GI; Olle Hints (sekretär), TTÜ GI; Jüri Elken, TTÜ Meresüsteemide Instituudi direktor; Dimitri Kaljo, akadeemik, Eesti Geoloogia Rahvuskomitee esimees [10], ühtlasi Rahvusvahelise Geoloogiateaduste Liidu esindaja; Ülle Kikas, Haridus- ja Teadusministeeriumi nõunik; Kalle Kirsimäe, TÜ; Vello Klein, Eesti Geoloogiakeskuse direktor; Urmas Kõljalg, TÜ Loodusmuuseumi direktori kt.; Leo Mõtus, akadeemik, UNESCO Eesti Rahvusliku Komisjoni esindaja; Kairi Otsiver, Keskkonnaministeeriumi peaspetsialist; Ivar Puura, Eesti Loodusuurijate Seltsi esindaja; Anto Raukas, akadeemik; Loit Reintam, akadeemik, EMÜ; Jaan Saar, Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi peadirektor; Toomas Tiivel, Eesti Entsüklopeediakirjastus; Rein Vaikmäe, TTÜ prorektor, Eesti Geograafia Seltsi esindaja. Tõnu Meidla esindas Eestit rahvusvaheliste ürituste kavandamisel Londonis 2007. a. ning Alvar Soesoo Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta avaüritusel Pariisis 12.-13. veebruaril 2008.

Peamisteks Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta tegevuste rahalisteks toetajateks Eestis on olnud Keskkonnainvesteeringute Keskus ning mitmed omavahendeid kaasanud ja kasutanud asutused ja organisatsioonid, eelkõige Eesti Looduseuurijate Selts, Tartu Ülikool ning TTÜ Geoloogia Instituut ja Eesti Geoloogiakeskus. Liikmemaksu tasumise Rahvusvahelisele Geoteaduste Liidule on enda kanda võtnud Eesti Teaduste Akadeemia. Toetajateks võime lugeda ka Tiigrihüppe Sihtasutuse, kes võimaldas Planeet Maa Aasta egiidi all avaldada pikaajalise projekti tulemusena valminud CD-ROM-i “Evolutsioon ja Universum”; meediakajastustega toetanud Eesti Rahvusringhäälingu ja Kuku raadio; ürituste kavandamisel kaasa löönud Haridus- ja Teadusministeeriumi ja Keskkonnaministeeriumi; näitusi ja õppepäevi korraldanud Eesti Loodusmuuseumi, Tartu Ülikooli Loodusmuuseumi, Riiklikku Looduskaitsekeskuse ning Sagadi Looduskooli, mittetulundusühinguid Loodusajakiri ja Loodusring ning Looduse Omnibussi.

Haridus ja ühiskonna teadlikkus

Haridus- ja teavitustoimkonna töö eestvedamise eest vastutab Ivar Puura TÜ Loodusmuuseumist ja Eesti Looduseuurijate Seltsist ning

toimkonda õppejõud ja doktorandid TÜ Ökoloogia ja Maateaduste Instituudi geoloogia osakonnast: Tõnu Meidla, Oive Tinn, Liina Laumets ja Liisa Lang, Katrin Alekand Eesti Looduseuurijate Seltsist ning Kadri Rull Maa-Ametist. Tallinna ürituste koordineerimise ning kodulehe [11] koostamise ja uuendamise eest on hea seisnud Olle Hints ja Alvar Soesoo (TTÜ Geoloogia Instituut).

Aktiivse panuse Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta haridusprogrammi on andnud ka kõik Tallinnas Planeet Maa õhtu ja Tartus Planeet Maa Aasta avaürituse esinejad [12], 3. ja 4. geoloogia sügiskooli [13] ning 2008. aasta Looduseuurijate Päevade korraldajad, esinejad, tekstide autorid ja trükiste toimetajad ning ürituste kavas olevate sündmuste [14] läbiviijad. Eraldi äramärkimist väärib Karula Rahvusparkis toimunud Eesti Looduseuurijate Päeva “Planeet Maa – globaalsed ja lokaalsed probleemid” korraldustoimkond Eesti Looduseuurijate Seltsist, kus löid kaasa Katrin Alekand, Silja Kana, Maie Puusepp, Aime Randveer, Kai Reemann, Pille Tomson ja Tõnu Viik ning samuti geoloogia 3. ja 4. sügiskooli korraldustoimkond, kus 2005. aastal käivitatud geoloogia sügiskoolide idee peamise eestvedaja Evelin Verši kõrval on aktiivselt kaasa löönud doktorandid Leeli Amon, Veiko Karu, Liisa Lang, Liina Laumets, Maile Polikarpus, Ulla Preenen, Kadri Rull ja Kadri Sohar.

Trükised, meediakajastused, üritused

Keskonnainvesteeringute Keskuse toel on Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta egiidi all koos käesoleva raamatuga Eestis ilmunud viis väljaannet: MAEGS 2008. aasta ekskursioonijuht ja teeside kogumik, Looduseuurijate Päeva kogumik ning geoloogia 3. ja 4. sügiskooli ettekannete kogumikud sarjas *Schola Geologica*, samuti geoteadusi populariseetivate artiklite seeriad ajakirjades ”Horisont” ja ”Tarkade klubi”.

Lisaks Tõnu Meidla, Alvar Soesoo ja Ivar Puura intervjuudele uudistes on Rahvusvahelise Planeet Maa Aasta teemaderingi kajastatud ka mitmes pikemas raadiosaates, eelkõige Vikerraadios ja Kuku raadios, kus on kõnelenud peamiselt Alvar Soesoo ja Ivar Puura [15, 16, 17].

Eespool juba mainitud suuremate avaürituste, temaatilise Looduseuurijate Päeva ja geoloogia sügiskoolide kõrval väärivad märkimist 4. aprillil toimunud Eesti Geoloogiakeskuse aprillikonverents (peakorraldaja Vello Klein), 7. Balti Stratigraafia Konverents 17.–18. mail ning mitmed õpetajatele suunatud üritused, sealhulgas temaatilised praktikumid, õppepäevad ja ekskursioonid õpetajatele ning loengud koolides evolutsiooni ja kivististe ning kivimite teemal, mida on läbi viinud peamiselt TÜ loodusmuuseumi ja geoloogia osakonna paleontoloogid Mare Isakar, Ivar Puura ja Oive Tinn ning mineraloogid Juho Kirs ja Tõnu Pani.

Eesseisvad üritused

Planeet Maa Aasta jätkub ka 2009. aastal, mil nii osalejate arv kui sündmused peaksid kavakohaselt kulmineeruma. Täpsem ürituste kava on koostamisel, kuid juba praegu saab nimetada mõnda olulisemat.

Rahvuvahelistest üritustest võib noortele geoloogidele (kuni 35 a.), sealhulgas kraadiõppuritele, huvi pakkuda Itaalias korraldatav noor-geoloogide konverents “Young Earth Scientists for Society” [18].

Planeet Maa Aasta teemade käsitlemist jätkab ka 5. geoloogia sügiskool Eestis. Elurikkuse evolutsiooni teemad on terve aasta jooksul tähelepanu keskpunktis seoses Charles Darwini 200. sünniaastapäevaga 12. veebruaril 2009. “Liikide tekkimine” eesti keeles Mart Nikluse tõlkes on kavandatud välja anda teose esmatrüki ilmumise 150. aastapäevaks novembris 2009.

Kasutatud kirjandus

- [1] <http://www.iugs.org/>
- [2] <http://portal.unesco.org>
- [3] <http://www.unesco.ee>
- [4] <http://www.ipy.org>
- [5] <http://www.astronomy2009.org>
- [6] http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html
- [7] <http://www.archimedes.ee/teadpop/>
- [8] <http://str.archimedes.ee/et/struktuurifondid/toetatud/tippkeskused>
- [9] <http://www.yearofplanetearth.org/>
- [10] <http://www.akadeemia.ee/et/suhted/organisatsioonid/eestikontakt/>
- [11] <http://www.planeetmaa.org/>
- [12] <http://www.planeetmaa.org/?cat=5>
- [13] <http://geoloogiasygiskool.blogspot.com/>
- [14] http://www.planeetmaa.org/?page_id=6
- [15] http://www.planeetmaa.org/?page_id=18
- [16] http://vikerraadio.err.ee/helid?main_id=1015121
- [17] http://vikerraadio.err.ee/helid?main_id=944071
- [18] <http://www.giovanigeologi.it/iype.asp>

Ivar Puura (ivar.puura@ut.ee) – Tartu Ülikooli Loodusmuuseum, Vanemuise 46, 51014 Tartu.

VÄRVILINE LISA

Joonised R. Einasto artiklile

FOTOMEENUTUSED KOLMANDAST GEOLOOGIA SÜGISKOOLIST

