

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

MAA RESSURSID

Schola Geologica VII

Tartu 2011

Autoriõigused: autorid, toimetajad ja Eesti Looduseuurijate Selts

TOIMETAJAD: Evelin Verš, Ulla Preeden, Liisa Lang

Kirjastanud Eesti Looduseuurijate Selts

Esikaane foto: Niisutussüsteemi vesirattad, Süüria, Hama linn.

Autor: Kadri Rull

Kaanekujundus: Kadri Sohar

Soovitav viitamise vorm:

Kogu väljaandele:

Verš E., Preeden U., Lang L. (toim.) 2011. *Maa ressursid. Schola Geologica VII*. Eesti Looduseuurijate Selts, Tartu, 148 lk.

Artiklile:

Soesoo A. 2011. Maapõuevarad – poliitika ja globaalse keskkonna ristpunktis. Rmt.: Verš E., Preeden U., Lang L. (toim.) *Maa ressursid. Schola Geologica VII*. Eesti Looduseuurijate Selts, Tartu, lk. 11–18.

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

ISSN 1736-3241

ISBN 978-9985-9943-9-9

"The real wealth of the Nation lies in the resources of the Earth — soil, water, forests, minerals, and wildlife. To utilize them for present needs while insuring their preservation for future generations requires a delicately balanced and continuing program, based on the most extensive research. Their administration is not properly, and cannot be, a matter of politics."

Rachel Carson
Washington Post (1953), Letter to the editor

„Planet Earth first! We mine the other planets later.“

Mäeinsener

EESSÕNA

Mis on eluks vajalik? Elu toetavad ressursid

Ivar Puura

Descende, audax viator, et terrestre centrum attinges
Jules Verne. Voyage au Centre de la Terre.

“Lasku alla, julge reisija, ning jõua maakera keskpunkti,” kirjutas Jules Verne. Tänapäeva julge reisija (*audax viator*), keda kirjeldas 20-liikmeline uurimisrühm Dylan Chiviani juhtimisel, elab 2,8 km sügavusel Lõuna-Aafrika Vabariigis Mpoengi kullakaevanduses. Autorite kinnitusel kinnitavad keskkonnaproovide geeniuuringute tulemused, et bakterite hõimkonda *Firmicutes* kuuluv mikroorganism *Desulforudis audaxviator* võib olla uuritud ökosüsteemi ainus liik. Julge reisija võimekus Maa ressursside muundamisel ja vahetul omastamisel on imekspandav: sulfaadi redutseerimine püriidist, süsiniku sidumine lahustuvast kaltsiidist, smektiidist vabaneva lämmastiku sidumine, jne (Chivian jt. 2008). Tundub, et eelnevaga on lahendatud ka pikka aega inimkonda vaevanud küsimus, kes elab Maa sees ja sööb kive. Tabavalt on teema kokku võetud ka “Horisoni” populaarse artikli pealkirjas: “kõik eluks vajalik ühes genoomis” (Henk 2008).

Sissejuhatuses oma teosele “Philosophia Botanica” kirjutas Karl Linné (Linnaeus 1751): *Kivid kasvavad. Taimed kasvavad ja elavad. Loomad kasvavad, elavad ja tunnevad*. Kivide kasvamiseks vajalikud keemilised lähteühendid pärinevad tähetolmusest (Mason 1991). Üldjoontes on tänaseni tunnustatud Emanuel Swedenborgi 1734.a., Immanuel Kanti 1755.a. ja Pierre Laplace'i 1796.a. hüpoteesid, mille kohaselt väiksemad ja hiljem suuremad tahked taevakehad tekkisid gaasilis-tolmjast udugogust ning seega kivide kasvamine algas kosmoses, tähtede jahtudes ja udu tihenedes. Nõnda tekkis ka “kolmas kivi Päikesest”, mida tunneme planeedina Maa.

Maa keemiline evolutsioon alates planeedi tekkimisest u. $4,566 \pm 0,002$ miljardi aasta eest avalduski esimese poole miljardi aasta jooksul peamiselt “kivide kasvamises” ja teistes keemilistes reaktsioonides, mida käsitleb anorgaaniline keemia. Maale jõudsid varakult ka kosmoses toimunud reaktsioonides tekkinud süsinikuühendid, näiteks aminohapped, millest said hiljem “elusaine” komponendid. Kuid enne elu tekkimist ei olnud neil isegi potentsiaalset tarbijat.

Eelnevast näeme, et näiteks aine- ja energiaressurssidest kõnelemine omandab mõtte siis, kui on olemas keegi, kelle jaoks need vajalikud on. Samas ei tohi me oma mõtetest tõrjuda arusaama anorgaanilistest protsessidest, sest ressursside kasutamise tasakaalust ja optimeerimisest

aitab aru saada füüsikalise-keemiliste protsesside, sealhulgas aine ja energia jäävuse seaduse mõistmine.

Kui lähtume aine- ja energiavajadusest, on iga elusorganismi jaoks vajalik ressursid kõik see, mis tagab tema kasvu, eluspüsivuse ja paljunemise. Nii vajavad seemned eelkõige toitaineid, vett ning enamasti ka kasvukohta, fotosünteesivad taimed lisaks veel päikesevalgust. Loomad vajavad eelkõige toitu ja vett, kuid paljud neist ka oma territooriumi, muljeid ja head seltskonda – seda rohkem, mida paremini arenenud on nende mälu. Ressursse “tehnoloogiliselt” hankida, toota ja majandada suudavad organismid, kellel on kõrgelt arenenud episoodiline mälu – võime mees pidada, mida ja kuhu nad talletanud või peitnud on – nende hulka kuuluvad lisaks paljudele imetajatele ka mitmed linnud, kuid eeldatavasti on veel mitmeid eluvorme, kelle puhul on õnnestunud ja õnnestub vastavat individuaalset ja instinktiivset käitumist eristada. Inimtsivilisatsiooni areng ja sellega seonduv tehnoloogia areng (vt. järelsõna) koos rahvastiku ja selle vajaduste kasvuga on paraku toonud teravalt päevakorda kasvu piirid ning jäätmete teema: “Inimkonda on tema eksisteerimisest alates vaevanud kaks probleemi – esiteks, kust saada seda, mis eluks vajalik, ning teiseks, kuhu panna see, mida ei ole enam võimalik kasutada” (Võsu 2011).

Üks vaimukamaid loosungeid, mida olen kohanud auto tagaklaasil, kõlas: “*Powered by fairy dust.*” Kuid kui kõht tühjaks läheb, kipub naljatuju kaduma – kõigil peale kivisööja (*Desulforudis audaxviator*). Ning inimesed pööravad oma kurvad ja üha nõudlikumad pilgud meie poole. Tundub, et heade nõuannete pakkumine meie endi ning järgmiste põlvkondade eluks vajalike ressursside ning elukeskkonna kvaliteedi tagamiseks on üks suuremaid väljakutseid geoloogidele ja naaberteaduseid esindavatele kolleegidele. Jõudu meile selleks!

Kasutatud kirjandus

- Chivian D. jt. 2008. Environmental genomics reveals a single-species ecosystem deep within earth. *Science* 322, 275–278.
- Henk P. 2008. Veelkord süvabakterist: kõik eluks vajalik ühes genoomis. <http://www.horisont.ee/node/713>
- Linnaeus C. 1751. *Philosophia botanica in qua explicantur fundamenta botanica cum definitionibus partium, exemplis terminorum, observationibus rariorum, adjectis figuris aeneis*. Kiesewetter, Stocholmiae.
- Mason S.F. 1991. *Chemical Evolution: Origins of the Elements, Molecules and Living Systems*. Oxford University Press, USA.
- Võsu A. *Prügila ja keskkonnanõuded*. <http://www.landfill.ee/print.php?koht=1&id=1173> (01.10.2011)

SISUKORD

<i>Ivar Puura</i> Eessõna. Mis on eluks vajalik? Elu toetavad ressursid.....	4
<i>Alvar Soesoo</i> Maapõuevarad – poliitika ja globaalse keskkonna ristpunktis.....	11
<i>Anto Raukas</i> Kas tuumaenergeetikale on alternatiivi?.....	19
<i>Anton Timofejev</i> Bentoniidi ehk montmorilloniidi kasutusala.....	26
<i>Jaak Nõlvak</i> Kivistised kui varamu.....	32
<i>Tagli Pitsi</i> Tasakaalustatud ja tasakaalukas toitumine.....	43
<i>Raili Allmäe ja Evelin Verš</i> Pilguheit muistsete eestlaste toidulauale – kas liha-, kala- või taimesööjad?.....	44
<i>Heidi Soosalu</i> Vulkaani makett kohvi kõrvale – maitsev ja hariv.....	56
<i>Heidi Soosalu</i> Välitöö väljakutsed Islandil.....	59
<i>Kärt Üpraus ja Triine Post</i> Inimressursi parim kasutamine geoloogia õpetamisel.....	63
<i>Liis-Erliken Vinne</i> Inimressursi parim kasutamine geoloogia õpetamisel.....	66
<i>Alla Šogenova, Rein Vaher, Jüri Ivask ja Kazbulat Šogenov</i> CO ₂ geoloogiline ladustamisvõime – maapõue uus ressurss.....	67
<i>Mariina Hiiob ja Enn Karro</i> Võrumaa põhjaveehaarete rauaärastusseadmete töö efektiivsuse võrdlus.....	73

<i>Veiko Karu</i>	
Suletud põlevkivikaevanduste ressurss – kaevandusvesi.....	83
<i>Raili Kukk ja Veiko Karu</i>	
Põlvamaa maavarade varu, jätkusuutlikkus ja kaevandamistehnoloogia võimalused.....	93
<i>Andres Marandi ja Maile Polikarpus</i>	
Veebilansi muut – laialt levinud eksiarvamus.....	99
<i>Rein Einasto</i>	
Ökosotsiaalne elulaad ja maa ressursid – ka inimvara on loodusvara....	105
<i>Vladimir Sazonov</i>	
Sõjad ressursside pärast varadünastilises Sumeris ja Akkadis (2800–2154 e.Kr.).....	110
<i>Maris Leiaru, Raili Kukk ja Veiko Karu</i>	
Eestimaa ressursid – <i>Schola Geologica VII</i> meened esinejatele.....	117
<i>Ivar Puura</i>	
Järelsõna. Loodusteadus ja tundmatu kodustamine.....	122
LISA	
H. Soosalu <i>Vulkaani makett...</i>	133
H. Soosalu <i>Välitöö väljakutsed...</i>	133
V. Karu <i>Suletud põlevkivikaevanduste...</i>	134
M. Leiaru jt. <i>Eestimaa ressursid...</i>	136
A. Shogenova jt. <i>CO₂ geoloogiline...</i>	138
R. Kukk ja V. Karu <i>Põlvamaa maavarade...</i>	138
Fotomeenutused kuuendast geoloogia sügiskoolist	139

AJAKAVA

"Maa ressursid"

VII geoloogia sügiskool
Taevaskoja, Põlvamaa

Reede, 07. oktoober

13:15 – start Tallinnast (TTÜ peahoone, Ehitajate tee 5)

16:00 – start Tartust (Chemicum, Ravila 14A)

17:00 – registreerumine ja tervitusamps

17:30 – avasõnad

18:00 – Mis on eluks vajalik? Elu toetavad ressursid – Ivar Puura (TÜ loodusmuuseum)

18:30 – Geoloogilised ressursid ja poliitika – Alvar Soesoo (TTÜ)

19:00 – Fosforiidiprobleem 30 aasta eest – Rein Raudsep (KeM)

19:30 – õhtusöök (2 vahetuses)

21:00 – paneeldiskussioon Eesti fosforiid: "valge kuld" või déjà vu?

Rein Raudsep (KeM), Valdur Lahtvee (Erakond Eestimaa Rohelised), Alvar Soesoo (TTÜ) jt. Modereerib Ivar Puura (TÜ loodusmuuseum)

Laupäev, 08. oktoober

08:00 – hommikusöök

09:00 – Kas tuumaenergeetikale on alternatiivi? – Anto Raukas (TTÜ)

09:30 – Päikesepatareid – Dieter Meissner ja Enn Mellikov (TTÜ)

10:00 – arutelu

10:30 – Paigavaim: Ahja ürgoru veerul – Jaan Kaplinski (kirjanik)

11:00 – kohvipaus

11:30 – Bentoniidi ehk montmorilloniidi kasutusala – Anton Timofejev (TTÜ)

12:00 – Kivistised kui varamu – Helje Pärnaste (TTÜ)

12:30 – Tasakaalustatud ja tasakaalukas toitumine – Tagli Pitsi (TAI)

13:10 – Pilguheit muistsete eestlaste toidulauale – kas liha-, kala- või taimesööjad? – Raili Allmäe (TLÜ) ja Evelin Verš (TTÜ)

13:40 – lõuna (2 vahetuses)

15:00 – õpitoad

- Vulkaanimakett (juh. Heidi Soosalu, TTÜ, EGK) Koos ettekandega „Välitöö väljakutsed Islandil“
- Maastikumakett (juh. Veiko Karu, TTÜ)

- Käsi-XRF (juh. Margus Voolmaa, TTÜ)

16:30 – kohvipaus

17:00 – diskussioon: Inimressursi parim kasutamine geoloogia õpetamisel – Riina Nemvalts (KMIN), Evelin Verš (TTÜ), Kärt Üprus (TÜ), Triine Post (TÜ), Liis-Erliken Vinne (TTÜ), Juho Kirs (TÜ)

19:00 – õhtusöök

21:00 – hiline külmlaud ja pildisessioon Assoori saartest – Heidi Soosalu (TTÜ, EGK)

Pühapäev, 09. oktoober

08:00 – hommikusöök

09:00 – CO₂ geoloogiline ladustamisvõime – maapõue uus ressurss – Alla Šogenova (TTÜ)

09:20 – Võrumaa põhjaveehaarete rauaärastusseadmete töö efektiivsuse võrdlus – Mariina Hiiob (TÜ)

09:40 – Suletud põlevkivikaevanduste ressurss – kaevandusvesi – Veiko Karu (TTÜ)

10:00 – Põlvamaa maavarade jätkusuutlik kasutamine – Raili Kukk (TTÜ)

10:20 – Veebilansi müüt – laialt levinud eksiarvamus – Andres Marandi (TTÜ)

10:40 – kohvipaus

11:00 – Uued tuuled teadusrahastussüsteemis – Volli Kalm (TÜ)

11:30 – Biosfäärist, noosfäärist ja Maa vaimsetest ressurssidest – Oive Tinn (TÜ)

12:00 – Ökosotsiaalne elulaad ja Maa ressurssid – ka inimene on loodusvara – Rein Einasto (TTK)

12:30 – lõppsõna

13:00 – lõuna (2 vahetuses)

14:30 – kojusõit (bussid Tartu ja Tallinna)

Kasutatud lühendid:

TÜ – Tartu Ülikool

TTÜ – Tallinna Tehnikaülikool

TAI – Tervise Arengu Instituut

KMIN – Kaitseministeerium

Keskkonnaministeerium

TLÜ – Tallinna Ülikool

TTK – Tallinna Tehnikakõrgkool

EGK – Eesti Geoloogiakeskus

KeM

–

GEOLOGIA SÜGISKOOLID

SCHOLAE GEOLOGICAE

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

Maapõuevarad – poliitika ja globaalse keskkonna ristpunktis

Alvar Soesoo

Loodusvarade saamise ajendil on peetud sõdu juba vähemasti viimased 2000 aastat. Kui maavara võiks käsitleda sellise toorainena, mille või millest tootmine on antud ajahetkel kasumlik, siis loodusvara võiks mõista laiemalt. Loodusvaraks on vee, taimede ja õhu kõrval kindlasti ka maastik ise või selle esteetiline väljund. Ühe või teise aine tootmine maapõuest või maapinnalt on aga määratud majanduslik-poliitiliste tegurite ja sellest tuleneva tootmise kasumlikkusega. Näiteks uraan merevees ei ole hetkel maavara, aga võib selleks saada, kui mingil põhjusel kerkib uraani hind turul piirini (untsi uraanoksiidi hind >350 USD), kus mereveest tootmise hind jääb madalamaks kui tootmine kaevandamisega nn. tahkest maakoorest. Või alternatiivina – tuleb turule tehnoloogia, mis lubaks toota uraani mereveest odavamalt. Seega on olulise tähendusega maavarade äris ka tehnoloogia. Odavamate või kiiremate tehnoloogiate tekkimine muudab kahtlemata pilti sellest, kust üht või teist maavara otsitakse ja kaevandatakse. Vajadus kindla keemilise elemendi, põlevaine või täiteaine vastu tuleneb aga ühiskonna tehnoloogilisest arengutasemest ja majanduse edust. Vähemasti viimasel sajal aastal on see protsess olnud reguleeritud ka poliitiliste tuulte poolt. Kuidas muidu oleks seletatav riikide poolt kehtestatud embargod, nafta hinna „kontrollitud“ kõikumine (vähemasti teatud ajavahemikus) ning kasvõi kulla hinna jätkuv tõus. Aafrikas on mitmed näited, kus riigi rahva äärmuslik vaesus on vastandunud tohutute teemandi- ja kullavarudega. Kuidas seletada sellist tasakaalustamatust?

Ka Eesti valitsuse tasandil räägitakse, kui tähtis on investeerimine tehnoloogiate arendusse ja teadusmahukasse majandusse. Tihti on arengudiskussioonidest ja -kavadest, aga ka uute tehnoloogiate arendamisest, välja jäänud meie maapõue enda varad ning nende kasutuselevõttust tulenevad võimalikud rikkused. Eesti rahva ajju on tihti kinnistatud teadmine, et meil ei ole maavarasid ning Eestimaa ainuke rikkus on meie põlevkivi. Paljud ei tunneta sedagi. Põlevkivi on meie energeetiline vabadus ja ekspordiartikkel, vähemasti veel praegu.

„Fosforiidisõda“, mida seostatakse rahva isemõtleamise tõusu ja taasiseseisvumistahte seemnena, kätkes endas aga samuti ka rahva vastuseismist igasugusele kaevandamisele ning sellest ehk ongi tekkinud muinasjutt maavarade puudumisest. Geoloogid teavad, et kindlasti ei ole Eesti maapõu kasulikest elementidest nii vaene. Majandusmehed teavad, et kasvavad majandused, eeskätt Aasia suurriigid, süvendavad vajadusi metallide ja muude elementide järele. Vajadus teatud elementide osas on juba praegu vastandanud suurriike ja regioone. Siinkohal võiks lisaks

naftasõdadele mainida ka muldmetallide „sõda“. Viimane ei ole ehk veel nii silmaganähtav tavakodaniku jaoks, kuid on siiski olemas. Kahtlemata on tulemas joogiveega seotud heitlused, aga samuti nõudluse kasv taimekasvu edendavate elementide järele. Rahulikku Euroopa tänavapilti ei sobi ilmselt teadmine, et maailm on juba praegu janus ja nälga kannatav. Joogivesi on lõplik suurus, viljakandvad põllumaad on praktiliselt kõik tootmisesse rakendatud, uute põllumaade hõlvamine saab toimuda vaid millegi muu arvelt. See viimane võib esile kutsuda tohutuid looduskeskkonna muutusi! Globaalsemat maailmapilti on kasulik teada – siis vaatame ka oma loodusvarade peale uue pilguga. On täiesti selge, et Eesti vajab uut loodus- ja maavarade revisjoni, mis suudaks hinnata meie tugevust või nõrkust viimasel kümnendil toimunud maailmasündmuste taustal. Seega kinnitus, et peale põlevkivi, karbonaatse kivi, liiva ja kruusa, turba ja ehk ka savi meil midagi muud ei olegi, ei pruugi olla piisavalt edumeelne ja edasiviiv.

Eesti omad varad maapõues

Majandusbuumi ajal, aga ka peale seda, on mitmed Eestimaa kivimid olnud välisfirmade huviorbiidis. Mitmed Austraalia, Kanada, Rootsi jt. firmad mõlgutasid tõsiseid mõtteid Põhja-Eesti graptoliit-argilliidist nii uraani, molübdeeni, vanaadiumi kui ka teiste metallide tootmisest. Huviorbiiti oli ja on sattunud platinagrupi elemendid, kuld ja hõbe. Kas me siis ise ei teadnud nendest metallidest? Muidugi teadsime, aga need teadmised jäid paraku suhteliselt ammustusse aegadesse, millal elementide sisalduste määramise aparatuur oli algeline ning elementide tootmiskulud olid suuremad elemendi turuhindadest. Näiteks, kui parkümmend aastat tagasi räägiti kulla kaevandamise rentaabluse puhul vähemasti 20 grammist tonnis (maagis), siis praegusel ajal on see piir nihkunud umbes 10 korda. Kirde- ja Lääne-Eesti maapõues oleva graptoliit-argilliidi uraanisisaldus ulatub näiteks kohati kuni kilogrammini tonnis, kaevandamisväärsed on ilmselt ka molübdeen, vanaadium, reenum, aga tõenäoliselt ka teised metallid, millede täpse sisalduse kohta praegu lihtsalt andmed puuduvad. Uraani sisaldab ka fosforiit, aga samuti mitmed granitoidsed kivimid nii Põhja-Eestis kui ka mujal Eestimaal. Kohaliku uraanitooraine kasutamine kerkib kindlasti jõudsalt üles, kui maailm jätkab tuumajaamade arendamise poliitikat – kes teab, võibolla kerkib see plaan taas ülesse ka Eestis. Nii või teisiti, sellise info adekvaatne olemasolu riigis ei põhjusta ei sotsiaalset- ega keskkonnakahju!

Hiljuti tõi oma huvi fosforiidikaevandamise vastu Eestis rahva ette Viru Keemia Grupp. Võiks retooriliselt küsida, kas „fosforiidisõda“ saab nüüd ametlikult läbi? Kas Eesti ühiskond on valmis seda teemat rahulikult käsitlema? Kas omamaine kaevandamine on parem kui tollane NL

kaevandamine? Tegelikuses ei saa paarikümne aasta tagust lähenemist kuidagi võrrelda tänapäevasega. Samas on selge, et sellist keemiasaadust tarbiks Eesti ise vaid piiratud määral ja enamus peaks minema ekspordiks. Samuti teame, et „kopp maasse“ stiil ei ole praeguses Eestis kuidagi võimalik tegevuse üldiseks alustamiseks. Maavara kasutamiseks valmistumine algab ikka detailse geoloogilise uuringuga, mis peaks näitama ära muuhulgas ka võimalikud keskkonnakahjud ja -mõjud ning meetmed nende minimeerimiseks. Geoloogid teavad, et fosfaate sisaldav liivakivi paikneb graptoliit-argilliidi all ning neid kivimeid tuleks ehk käsitleda võimaliku kaevandamise puhul koos.

Rohkem kui pool sajandit on teada Jõhvi piirkonna aluskorra kristalsetes kivimites paiknev rauamaak, mille varudeks on aastakümneid tagasi arvatud ligi 630 miljonit tonni (kihid sügavuseni 700 m). Rauamaak ehk hetkel suurt kaevandamishuvi ei pakuks, küll aga sellega seotud muud elemendid nagu vask, plii ja tsink. Viimase kahe elemendi maagistumise jäljed on teada mitmel pool Eestis. Kuna Jõhvi maaki uuriti aastakümneid tagasi, siis vähemesinevate elementide, nagu kuld, hõbe jt. sisaldusi ei olnud võimalik tollal määrata kuigi täpselt, seepärast on meie teadmised Jõhvi piirkonna võimalikust maagipotentsiaalst väga lünklikud. Viimastel aastakümnetel pole selle vastu meil tegelikult huvi tundudki. Küll aga on sellistest uuringutest huvitatud mitmed välisfirmad.

Ei ole välistatud, et Jõhvi piirkonnal on geoloogiline sarnasus Rootsi Bergslageni alaga. Viimane aga on oma maakidega mänginud ülimalt tähtsat rolli Rootsi riigi rikkuse tekkimisel mitmeid aastasadu tagasi.

Eesti maakoore ülemises osas on kasutatavad lubjakivi, dolomiit, liiv, kruus ja turvas. Alati ei ole ehituslike arengukavade tegemisel arvestatud nende maavarade olemasolu või kättesaadavusega. Tallinn-Tartu maantee laienduski nõuab tohutul hulgal liiva ja kruusa, aga ka killustikku. Kui liiva ja kruusa võib uutes avatavates karjäärides isegi jätkuda (kui neid lubatakse avada), on killustikuvajaduse rahuldamiseks ilmselt vaja avada mitmeid uusi lubjakivikarjääre (millele on terav ühiskondlik vastuseis). Liiva vajavad ka sadamalaiendused. Seda, et materjali napib, näitab ka asjaolu, et liiva kaevandatakse juba merest ning uute maardlate otsingud toimuvad meie territoriaalvetes. Lisaks jääb küsimus, kust saame graniitkillustikku? Kas kasutame oma materjali, avades näiteks Põhja-Eestis maa-alused kaevandused või toome seda jätkuvalt laevade ja rongidega? Milline variant on tegelikult keskkonda säästvam ja odavam praegu või mõne aasta pärast? Ehitusmaavarade paremaks ning keskkonna- ja energiasäästvamaks kasutamiseks on ehk abiks tänapäevaste infotehnoloogiavahendite parem rakendamine. Olemasoleval tohutul informatsioonil baseeruva ekspert-süsteemi loomine maavara varu ja kvaliteedi, keskkonnapiirangute ja muude -parameetrite, aga ka sotsiaalsete faktorite arvestamiseks võiks

tagada elanikkonnale, otsusetegijale ning arendajale eelhinnangu iga konkreetse kaevandamise/tootmise juhtumi hindamiseks. Selline süsteem peaks olema varustatud vabalt (tasuta) ligipääsetava brauseriga.

Üks maapõueressurssidest on siiani leidnud teenimatult vähe tähelepanu – maasoojus. See ei ole otseses mõttes maavara – tegu on energeetilise rikkusega, mida saaks tarbida keskkonda minimaalselt muutes ja kaasaegseid tehnoloogilisi lahendusi rakendades. Maasoojuse kasutamine vähendaks elektrienergia tootmise tõttu tekkivaid keskkonnamuutusi. Võib rääkida kahest maasoojuse „tasandist“: ülemised ca 100–200 m ja süvasoojusest, >2000 m. Ülemine osa jaguneb veel kaheks osaks – päikese poolt ja põhjavee poolt „kõetud“ vööndiks. Kui kõige ülemine energiavöönd on leidnud Eestis kasutust tuhandetes küttesüsteemides, siis põhjaveega „kütmist“ piiravad osaliselt keskkonnanõuded ja teiselt poolt tehnoloogiline mahajäämus. Kahjuks ei võeta siiani süvasoojuse uuringuid tõsiselt, ehkki sügavate puuraukude rajamine annaks riigile kasu laiemalt, kui ainult süvatemperatuuride teadasaamine.

Geotermaalenergia kasutuselevõtt on ehk hetkel veel majanduslikult mitte kiiresti tasuv, aga samas on elu näidanud, et ressursside hilisem juurutamine läheb alati sujuvamalt ja kindlasti ka odavamalt, kui baasuuringud on varem läbi viidud. Energia kallinemine on kahjuks siiski ühesuunaline, kasvav trend ning geotermaalenergia ärakasutamine võib osutuda rentaabliks palju kiiremini, kui me hetkel arvata oskame. Oleks väga vajalik investeerida nii riiklikul, kui ka erakapitali tasandil nimetatud uuringutesse. Lätlastel ja leedulastel on seda tüüpi uuringud meiega võrreldes üsna kaugele jõudnud ja esimesed katsejaamadki toimimas. Klaipedas alustas selle sajandi algul tööd geotermaalenergia näidisjaam, mis kasutas energiallikaks kohalikku põhjavett. Kolmekümne kaheksa kraadilist Devoni veehaarde põhjavett saadakse enam kui kilomeetri sügavuselt. Jaama ehitamise hinnaks oli arvestuslikult 20 miljonit USD. Soojus saadakse kätte absorptsiooni soojuspumpade abil ning seda kasutatakse Klaipeda linna küttesüsteemi toetuseks. Jaama võimsus on küll väike (2003. aastal 215 000 MWh), aga võrreldes kütteõliga jäi arvestuslikult aastas atmosfääri paiskamata ligi 52 000 t CO₂, 11 t NO_x ja 1160 t väävliühendeid. Eesti arvukate tuuleparkide kõrval oleks geotermilisel katsejaamal kindlasti oma koht olemas, nii arvestatavalt võimsuselt kui ka maksumuselt. Võrdlusvõimalusena võib tuua siinkohal kuulsa kaheksa tuulikuga Pakri tuulepargi, mille võimsus on kuni 18 MW ja maksumuseks kujunes umbes 24 miljonit EUR.

USA teadlased ja firmad on viimase 10 aasta jooksul uurinud intensiivselt nn. shale gas'i tootmise võimalusi. Shale gas e. kildagaas on gaas, mis eraldub orgaanikat sisaldavatest kivimitest. Eesti aluspõhjas sisaldavad orgaanikat eeskätt põlevkivi ja graptoliit-argilliit. Kas peaksime

ka neid rikkusi uue pilguga vaatama? Vaatamata sellele, et Eesti potentsiaal selles vallas on ilmselt kesine, on siiski informatsiooni olemasolu vajalik ja kasulik arenenud riigile.

Juba aastaid on maavarade uurijad ning kaevandajad heitnud pilku ja kaevandanudki meres ja ookeanis. Eesti puhul on hetkel tegu enamasti liivakaevandamisega. Aga kas ainult liiva? Ka meie mereala teadmised ei vasta tänapäevastele standarditele. Kuuldavasti kaevandavat Venemaa meie külje all Suursaare kandis mangaanikonkretsioone. Nii need, kui ka võimalikud gaasieraldused võiksid ehk lähiaegadel mõningast uurimist leida.

„Puhas“ maavarakasutus

Tihti vaadeldakse kaevandamist kui ainukest ohtlikku tegevust maavara kasutamise ahelas. Üks lähituleviku võtmesõnu on säästev ja puhas mineraalse materjali kasutamine, mis haarab nii kaevandamise, rikastamise, transpordi kui ka lõpliku elemendi jms. tootmise alatsükli. Ühelt poolt me teame, et mitte ühtegi maavara ei ole võimalik kaevandada ilma lähikeskkonda mõjutamata, isegi põhjavee pumpamisega muudame ja rikume me keskkonda. Igasugune loodusliku materjali ümberpaigutamine on keskkonna muutmine. Inimesest on saanud viimase 10 aasta jooksul loodusliku materjali ümberpaigutamise osas peamine tegur, ületades esimest korda Maa ajaloos looduslike (geoloogiliste) tegurite mõju. Seega on alanud uus geoloogiline ajajärk – inimese ajajärk. Teiselt poolt me teame, et maavarade otsingut, uuringut ja kaevandamist ei toimuks, kui ei oleks nõudlust, ehk siis tarbimist. Tegelikult määrabki tarbimine selle, kui palju me kahjustame planeeti ja seeläbi ka iseennast. On lihtsasti näidatav, et ükskõik millise maavara kaevandamine ning järgnev töötlemine moodustab vaid väikese osa järgnevast planeedi keskkonda muutvast mõjust. Võtame näiteks ühe metalli – plii. Pliimaagi kaevandamine ja plii metallina kättesaamine mõjutab keskkonda vähem, kui plii edasine teekond näiteks akudes, juhtmetes, haavlites või mujal. Tihti lõpetab metall ümbertöötluses, mis omakorda kasutab energiat ja lisanduvat loodusressurssi (näiteks vett) ning eraldab mitmesuguseid jäätmeid.

Ei ole ka Eestis ühtegi loodus- või maavara, mille kasutamine ei põhjustaks keskkonnamuutusi. Paljud neist muutustest ei puuduta vaid leiukoha ümbrust – mitmed muutused on globaalse skaalaga. Ka meie põlevkivielektri tootmine on tegelikult globaalse ulatusega protsess, seda eeskätt õhusaaste läbi. Eesti elektri jaamade CO₂ võiks küll näiteks Läti maapõue matta, aga mis hetkest selline tegevus loodustsäästvaks muutub, on omaette küsimus. Oponent saaks alati küsida, et kui palju paisatakse õhku jäätmeid torustiku tootmiseks ja eriti selle paigaldamiseks ning ka

opereerimiseks. Ka uue kõrgtehnoloogilise soojuspumba paigaldamine elumaja kütteks on sarnase efektiga. Soojuspump küll vähendab elektritarbimist (saastet läbi selle) näiteks kaks korda, kuid kõrgtehnoloogiliste seadmete tootmine on eelnevalt energia- ja saastemahukam. Sellistel puhkudel on efektiivsuse mõõdupuuks aja dimensioon. Säästmine on nii mitmetahuline tegevus, mida saab nii valesti teha, et see muutub teatud hetkest raiskamiseks!

Enamus maailma riike on pahusis keskkonnaprobleemidega. Majanduse hoogustumine mõjutab keskkonda läbi tarbimise. Tarbimine mõjutab keskkonda läbi tarbimisharjumuse. Tarbimisharjumused on mõneti nagu entroopia – raske on tarbijat suunata kaupade ja teenuste vähendamise suunas. Vaatamata rahvusvaheliste lepingute arvukusele, ei leidu kahjuks hetkel veel efektiivset instrumenti maavarade kasutamise optimaalsuse või säästlikkuse kontrolliks.

Maavarade kaevandamisega seonduvad kahjulikud mõjud Eestis on kindlasti viimasel kümnendil vähenenud. Teiselt poolt, kasvav vajadus mineraalse toorme järele aktiveerib kaevandamistegevust. Ilma uute kruusa-, liiva- ja lubjakivikarjääride avamiseta ei ole võimalik ellu viia planeeritud ehitustegevust. Põlevkivikaevandamise jätkamiseta puuduks meil energeetiline iseseisvus ning põlevkivikeemia ja -õlitootmise ärajäämine vähendaks riigi eksporti. Lähituleviku väljakutseks võivad olla Eesti aluspõhja- ja aluskorrakivimitega seonduvad metallid, võimalik, et ka fosfaadid. Metallimaakide kaevandamist Eestis ei saaks kindlasti võrrelda kunagiste plaanidega fosforiidikaevandamisel. Samuti oleks otsene keskkonna- ja sotsiaalne mõju ilmselt väiksem kui põlevkivi ja karbonaatsete kivimite kaevandamisel karjäärides. Lõppkokkuvõtteks, me ikka ise teeme selle otsuse maavarade kaevandamise mahtude ja meie soovitud elustandardi vahel: kui tahame jätkuvalt hästi elada, peame kasutama oma ressursi. Samas kui suudame tarbimisharjumusi kardinaalselt muuta ja tarbimist märgatavalt vähendada, saaksime säilitada rohkem loodusressursse. Kaevandada saab küll loodust säästvalt, aga tarbimine ei ole oma olemuselt kunagi puhas ega keskkonda säästev!

Säästlik areng

On selge, et puhta energiatootmise vastu ei protesteeritud keegi, vähemasti niikaua kui me ei pea oma tavapärasest elukvaliteedist midagi tagasi andma. Kuidas on aga muude loodusvarade kasutamisega? Selles suunas on pilt üsna keeruline. Mitmed maavarade poolest väga rikkad Aafrika riigid elavad üsna vaeselt, mitmetes arenguriikides on jätkuvalt kaevandamiskoormus kohalikule keskkonnale liiga suur, neist mitmetes see isegi kasvab jätkuvast metallibuumist ajendatuna. Paljudel juhtudel on situatsiooni

põhjuseks nõrk või olematu seadusandlus, riigi-mastaabis korrupsioon või poliitilised kokkulepped. Tihti kardetakse suuri kaevandusfirmasid. Samas on praeguseks teada, et ligi 13 miljonit inimest töötab jätkuvalt või hooajaliselt ühe-kahemehe kaevandustes, seda põhiliselt Aasias, aga ka Lõuna-Ameerikas ja Aafrikas. Nendest kaevandajatest on sõltuvuses ligi 100 miljonit maakera elanikku pereliikmete ja lähedaste näol. Just sellistest väikesemastaapsetest kaevandamistegevustest, mis tavaliselt ei järgi mitte ühtegi seadust, on tõusnud väga tõsised keskkonnaprobleemid näiteks Hiinas ja Mongoolias. Sellistes väikestes kaevandustes toodetakse tavaliselt väärismetalle, millede tootmistsükliks kasutatakse nii elavhõbedat kui ka tsüaniide. Ühe grammi kulla kättesaamiseks paiskub tavaliselt keskkonda 2–3 grammi elavhõbedat. Küsimus ongi selles, kuidas tõmmata joon loodusressursside kasutamise ja looduskeskkonna säilitamise vahele. Ühemehe kullakaevandus kusagil Mongoolia jõeorus toidab ilmselt ära terve küla, mis tähendab, et selles külas on sotsiaalsed probleemid „kontrolli“ all. Samas, tootmismürkidest tekkiv kahju keskkonnale võib aga püsida aastasadu. Mitmetes Mongoolia väikekaevanduspiirkondades sünnib juba mitmeid aastaid tugevate tervisehälvetega lapsi. Kuhu me peaks piiri tõmbama?

Maavara tootmise-kasutamisega ja sotsiaalse arenguga seonduvad küsimused võivad ühel hetkel kummitada ka Eestit, seda tulenevalt põlevkivitootmisest. Kujutame ette, et seiskame ühel hetkel põlevkivi kaevandamise ning seoses sellega ka seonduvad tegevused (näiteks ei jõua me enam EL-s kasvavaid saastemakse maksta). Millega hakkab tegelema vabanev töötajaskond? Kas Eesti suudab füüsiliselt ja finantsiliselt korraldada ümberõppe või maksta toetusi? Või on lihtsam haarata vabanenud inimesed muusse kaevandamisesse (näiteks metallide), või ehk leiutame vahepeal „Eesti Nokia“, kuhu tööjõud paigutada?

Keskteks loodusressursside kaevandamise-kasutamise ja majanduslik-sotsiaalse arengu vahel peetakse säästva arengu kontseptsiooni. ÜRO 1983. aasta resolutsiooniga algatatud nn. Brundtlandi komisjon avaldas 1987. aastal kokkuvõtte võimaluste kohta maakera majandusliku, sotsiaalse ja looduskeskkonna säästvaks arenguks. Sellest ajast peale on räägitud ja arutatud, kokku pandud arengukavasid ja välja antud direktiive selle kohta, kuidas optimeerida keskkonnakasutust ilma majanduslikku kasvu ja arenenud riikide elustandardeid ohvriks toomata. Selle kontseptsiooni kätte all on läbi viidud projekte, mille ainsaks produktiks on jäänud aruanded, mis tihti pole vastukaja leidnud. Enamasti on säästva arengu kontseptsiooni kasutatud mitmete suurriikide „tuulelipu-poliitikute“ väikeste ja suurte ambitsioonide elluviimiseks, sealhulgas tervete riikide ambitsioonide saavutamiseks maailmatasandil. Nii Brundtlandi kui ka mitmete selle-teemaliste hilisemate rahvusvaheliste komisjonide töö fookuseks oli ikkagi

piiri tunnetamine looduskeskkonna muutmise ning riikide ja rahvaste majandusliku arengu vahel. Oleks naiivne arvata, et majanduslikult edukad riigid nõustuksid oma elukvaliteeti langetama keskkonna parema säästmise nimel, ehk teisisõnu pidurdama tuntavalt maavarade kaevandamist. Pidurdamaks Hiina ja India kiiret majandusarengut ning maailmas väljakujunenud majandustasakaalu võimalikku muutumist, sobivad nii säästva arengu kui ka kliimamuutuste „ratsud“ päris hästi. Edukad väikeriigid, näiteks meie naabrid Rootsi, Soome jt. on leidnud oma tasakaalujoone loodusvarade kasutamise ja majandusarengu vahel ning valanud selle ka vastavatesse seaduste paketti. Looduskeskkonda reguleerivad seadused peavad olema lihtsad ja kompaktsed, et ära hoida mitmetitõlgendamist. Juba 1999. aastal konsolideeris Rootsi tollel hetkel eksisteerinud 15 keskkonda reguleerivat seadusakti üheks „keskkonna-seaduseks“. Selle seaduse raamidesse mahuvad tegevused maavarade otsingul, uuringul, kaevandamisel ja kaevandatud alade hilisemal taastamisel. Mitmetel teistel väikeriikidel, sealhulgas Balti riikidel, seisab ees sotsiaal-majandusliku sfääri ja keskkonnavahelise tasakaalujoone defineerimine ja olemasolevate seaduste kohastamine loodetavasti juba lähitulevikus. Tahame ju ka meie, kõik eestimaalased, säilitada oma elustandardit ja samas hoida puhast keskkonda. Selle nimel tasub edasi mõelda, nii oma maa rikkustele, kui ka parimale võimalikule keskkonnanahkiule.

Kokkuvõtteks võiks tuua lõigu „Brundtlandi komisjoni“ lõppjäreldest (Brundtland jt. 1987; Report of the World Commission on Environment and Development): „30. *Yet in the end, sustainable development is not a fixed state of harmony, but rather a process of change in which the exploitation of resources, the direction of investments, the orientation of technological development, and institutional change are made consistent with future as well as present needs. We do not pretend that the process is easy or straightforward. Painful choices have to be made. Thus, in the final analysis, sustainable development must rest on political will.*“ Siinkohal jääb loota, et ka meil saab olemas olema selline poliitiline tahe, aga ka rahvuslik-poliitiline suutlikkus!

Alvar Soesoo (alvar.soesoo@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086.

Kas tuumaenergeetikale on alternatiivi?

Anto Raukas

Eestit ei saa vaadelda suletud süsteemina ning maailmamajanduses toimuv mõjutab ka meie tööstuse ja põllumajanduse arengut, ekspordi ja importi, samuti energiatarbimist. 1. jaanuaril 2007 elas maailmas 6 589 115 092 inimest ja elektrit tarbiti ligikaudu 15 000 TWh aastas. Aastal 2030 elab maailmas tõenäoliselt juba 8,2 miljardit inimest ja elektrinõudlus kahekordistub (Raukas 2008). Aastal 2050 genereeritakse elektrit juba kolm korda ja aastal 2100 koguni viis korda enam kui 2004. aastal (Valdma 2007). Eriti oluliselt mõjutab energeetikat majanduse plahvatuslik areng Hiinas ja Indias.

Tõenäoliselt orienteerub maailma energeetika lähematel aastakümnetel eeskätt tuumaenergeetika edendamisele. See on loomulik, sest tuumaenergia on kõige odavam ja võimaldab kiiresti saavutada suuri mahtusid (Kall mets 2009). Hiljuti avaldasid soomlased võrdlevad andmed baaselektri hinna kohta Soomes (euro/MWh), mille kohaselt konkurentsivõime kõige odavam on tuumaenergia – 25,9 (sellest kütus 3), gaasil on see 45,0 (kütus 35,9), kivisöel 34,4 (kütus 17,6), turbal 35,9 (kütus 18,8), puidul 51,2 (kütus 30,8) ja tuulel 45,5. Praegu toodetakse tuumareaktoritest 17% maailma tarbitavast elektrienergiast, seejuures Euroopas kolmandik, millest Prantsusmaal ligikaudu 80%. Maailmas on installeeritud 443 äriotsustatud tuumareaktorit koguvõimsusega umbes 370 GW. Aastaks 2025 suureneb see vähemalt 100 GW võrra. Aastaks 2050 kõneldakse koguni 1500 uue reaktori ehitamisest. Rajamise staadiumis on 28 reaktorit, planeeritud on neid 78 ja üles on näidatud soovi ehitada lähiajal veel 194 reaktorit. Üksnes Hiina kavandab rohkem kui 140 reaktori ehitamist. Ukraina, mis kannatas koos Valgevenega Tšernobõli katastroofis kõige enam, ei kõhkle mitte vähem kui 20 reaktori ehitamises. Venemaa kavandab 2030. aastaks 42 uue reaktori rajamist. Tuumajaamade ehitamist ei takista ka pärast Jaapani tuumajaama avariid alanud maruline vastupropaganda. Saksamaa teade oma tuumajaamade sulgemisest on odav ning läbinähtav poliitiline manööver ja vaevalt see realiseerub.

Innovatiivne ja ohutu tuumaenergeetika

Just sellise nimetuse all toimus 2011. aastal 20.–22. aprillini Kiievis Tšernobõli katastroofi 25. aastapäeva meenutuseks esinduslik rahvusvaheline konverents, kus ka minul oli võimalus osaleda. Nõupidamisel esinesid ÜRO peasekretär Ban Ki-Moon, UNESCO direktor Irina Bokova, Rahvusvahelise Tuumagentuuri juht Yukiya Amano, Euroopa

Arengupanga president Thomas Mirow, Euroopa Nõukogu tippjuhid ja maailma tuumaenergeetika eliiti kuuluvad teadlased. Nende sõnum maailma avalikkusele oli selge – hoolimata Tšernobõli ja Fukushima avariidest ei ole tuumaenergia kasutamisest võimalik loobuda, sest sellela pole inimkond jätkusuutlik.

Nüüdistuumaajaamad on ohutud. Äärmusliku avarii tõenäosus on vaid kord 2,5 miljoni tööaasta kohta (Paist 2008). Tehtud katsed kinnitavad, et tuumajaamad peaksid vastu isegi neid täiskiirusel pikeeriva reaktiivlennuki rünnakule. Maksimaalse ohutuse tagamiseks on rakendatud süvakaitsekontseptsioon, mille puhul mitu ohutussüsteemi toimivad ilma välise juhtimiseta ja isegi olukorras, kus elektrivarustus katkeb. Fukushima jaamas katkes maavärina tõttu elektrivarustus, tsunaamilaine viis rivist välja varugeneraatorid ja akudel baseeruvad veepumbad ei suutnud tagada vajalikku veevarustust, mis viis selles vana tüüpi jaamas halvasti kaitstud kütusevarraste osalisele paljastumisele ning mõningasele radioaktiivsete ainete emissioonile. Samal ajal on kannatanute hulk võrreldes tsunaamilainega tühine.



Joonis 1. Eesti spetsialistid Leningradi tuumajaama ees, 2007.

Nüüdisreaktorites on kütusevardad 30 cm paksuses terasest reaktoris, mille ümber on vähemalt meetripaksune betoonist kaitsekest. Peamised turvameetmed baseeruvad loomulikel füüsikalistel nähtustel nagu konvektsioon, gravitatsioon ja survevahe. Nüüdisaegsed jaamad on

varustatud süsteemiga, mis avarii korral sulgevad tuumajaama automaatselt, ka jahutustorustiku purunemisel käivitub ilma operaatori sekkumiseta turvaline kaitsesüsteem, mis funktsioneerib ilma välise elektritoiteta (Kall mets 2010).



Joonis 2. Eesti spetsialistid Leningradi tuumajaamas, 2007.

Loomulikult ei saa keegi väita, et tuumaenergeetika oleks täiesti ohutu. Ohud algavad juba uraani kaevandamisest ja transpordist ning lõpetades tuumajäätmete matmisega, kuid kogu energeetika on keerukas ja ohtlik. Näiteks kui terroristid lõhkaksid Assuani paisu või maavärina tõttu puruneks mõni Hiina hüdrojaam, ulatuks ohvrite arv miljonitesse. Kivisöekaevandustes hukub igal aastal kuni 20 000 kaevurit (Suurkask 2010). 1942. aastal hukkus Hiinas Benxihus plahvatuse järel puhkenud tulekahjus korraga 1549 kaevurit, 1906. aastal Courrieres Prantsusmaal aga 1099 inimest. Üle 200 hukkunu on ka Eesti põlevkivikaevandustes. Seega ei ole tuumaenergia teistest energialiikidest ohtlikum, pigem vastupidi. Seda on aga raske Eesti inimestele selgeks teha ja tädi Maalit ju ümber ei kasvata!

Milline on Eesti alternatiiv?

Energiakriis on Eestis kiiresti lähenemas ja selle eitamine oleks lühinägelik. Eesti ei suuda ennast juba lähitulevikus energiaga kindlustada. Estlink kaabel Soomega meid ei aita, sest Soome on elektrit importiv, mitte

eksportiv maa ja selle kaabli taga on veel Läti ja Leedu oma Eestist märksa suuremate vajadustega. Meid on aastakümneid päästnud odav põlevkivielekter, kuid see ei kesta enam kaua, sest Narva soojusjaamade vanad tolmpõletuskatlad tuleb vastavalt Euroopa Liiduga sõlmitud liitumisleppele aastal 2016 sulgeda. Sellest tulenevalt tekib meil kohene elektrienergia puudujääk ligikaudu 900 MW, mis aastaks 2025 võib ulatuda 1400 MW-ni. Renoveeritud keevkihtkatlaid on hetkel Narvas käigus vaid 430 MW ja kui me saamegi vanu katlaid veel töös hoida, tuleb nende eest maksta kõrgeid saastetasusid. Aastaks 2008–2018 koostatud elektrimajanduse arengukava kohaselt tõuseb täna keskmiselt 40 senti kW/h maksev põlevkivielektri hind 2013. aastaks 90 sendile (kui CO₂ tonni kvoodihind on 25 eurot) ja 130 sendile (kui kvoodihind on 50 eurot). Kavandatud uute põlevkiviplokkide ehitamine Narva on majanduslikult üsna ebamõistlik ettevõtmine. Ühe 300 MWe CFB ploki toetus on 34 miljonit eurot aastas ehk 20 aastaga 770 miljonit, kahe ploki peale aga kokku ligikaudu 1,5 miljardit eurot. Elektri hind lõpptarbijale võib tõusta kuni 3 korda, Taanis on see praegu 2,8 korda kõrgem kui Eestis.

Elektritariifide edasine tõus mõjutab oluliselt kõiki majandusharusid, kus elekter moodustab üle 10% kuludest. TaastuvenergiALE üleminek pole väljapääs, kogu maailmas on selle osa marginaalne. Aastani 2030 ennustatakse suurt absoluutkasvu kivisöeelektrijaamadele (kasvuprotsent 2,8% aastas) ning nende osakaal tõuseb 45%-ni. Veelgi kiiremat kasvu ennustatakse gaasielektrijaamadele (3,3% aastas), kuid nende osa jääb ikkagi poole väiksemaks kivisöejaamade omast. Hüdroelektrijaamade (1,7%) ja õliküttega (0,9% aastas) kasv on tõenäoliselt väike (Valdma 2007). Kõigist alternatiivenergia allikatest (tuul, päike, biokütused, maasisene soojus, vesinikuenergia) saadav elekter on perifeerne ja võib 2030. aastal ulatuda parimal juhul 4%-ni.

Sombuses Eestis on päikesekiirguse kasutamine suurenergeetikas üsna vähe perspektiivne. Hüdroressursid on Eestis peaaegu olematud, pealegi tingib väikeste hüdrojaamade rajamine suurt kalamajanduslikku ja keskkonnakaitselist kahju. Mõneti parem on olukord bioressurssidega, kuid turvast tohib meil kaevandada vaid aastase juurdekasvu mahus ja puidu hind kasvab peadpööritava kiirusega. Kui tuuleenergia peaks andma veerandi Eestis tarbitavast elektrist ehk 2 TWh aastas, siis tuleks meil tänaste toetuste juures elektrituulikute omanikele möödunud aasta hinnangu alusel maksta 1,6 miljardit krooni aastas. Need arvud peaksid panema mõtlema isegi suurima tuumaenergiA kahtleja!

Iga uus on hästi unustatud vana!

Idee ehitada Eestisse oma tuumajaam, ei ole kaugeltki uus. 1989. aastal loodi vabariikliku energeetikaprogrammi koostamiseks ajutine teaduskollektiiv, mis kavandas “Eesti energeetika arengu üldpõhimõtted aastani 2030”. Need põhimõtted kiideti heaks Eesti Teaduste Akadeemia presiidiumi koosolekul ja Vabariigi Valitsuses. Selles dokumendis rõhutati, et seoses elektrienergia tarbimise edasise kasvuga ja põlevkivi kasutamise vähenemisega on juba 2010. aastast vaja rakendada uusi suuremaid energeetilisi võimsusi, kas kivisöel töötava soojuselektrijaama või tuumaelektrijaama näol. Eelistati tuumajaama ja rõhutati, et tuumajaama esimene energiablokk oleks vaja käiku anda juba aastail 2010–2015 (Talvar 1990). Nüüd oleme asjatult kaotanud paarkümmend aastat, sest tuumajaamast me ilmselt ei pääse.

Tuumajaama asukohaks on meil palju võimalusi

Tuumajaam peab paiknema tektooniliselt võimalikult ohutuspiirkonnas, kuid Eestis polegi tektooniliselt tõsiselt ohtlikke piirkondi. See peab asuma võimalikult lähedal suurtarbijatele ja jaotusvõrkudele ning tuumajaama jääksoojust tuleb maksimaalselt ära kasutada. Lisaks on oluline jahutusvee olemasolu. Hinnanguliselt tarbib tuumaelektrijaam pool liitrit vett kWh kohta ja seetõttu on enamik jaamu mere ääres, kasutades jahutuseks merevett. Samas on tuumajaamu ka sisemaal, kus reaktoreid jahutatakse jahutustornide ehk gradiiridega. Arvestada tuleb ka ehitusgeoloogiliste tingimustega ning suurte ehitusdetailide ja reaktorite transpordivõimalustega. Alusetu on väide, et jaam peab paiknema inimtühjas piirkonnas. Lääne-Euroopas pole selliseid kohti võimalik leidagi ja jaamad paiknevad linnade vahetus naabruses, sest nii on inimestel lihtsam tööl käia ja hästi saab ära kasutada ka jääksoojust.

Mõnedest tuumaenergeetika kohta käivatest müütidest

Tuumajaamadega seonduvalt ringleb palju müüte. Tuumajaam olevat äärmiselt ohtlik. Arvud aga näitavad, et kui kaasata isegi Tšernobõli avarii, on tuumaenergeetika ohvrite arv paljukordselt väiksem kui söe-, gaasi- või hüdroelektrijaamades. Lisaks ei saa tuumaelektrijaamade reaktorid mitte kuidagi pommilaadselt plahvatada, sest tuumakütuses on plahvatuslikult lõheneva uraani ja plutooniumi hulk ligi 40 korda väiksem kui tuumade plahvatuslikuks lõhenemiseks vaja oleks (Paist ja Kruus 2011).

Veel kõneldakse, et uraan lõpeb maailmas otsa ja hinnad kerkivad suurtesse kõrgustesse. Tegelikult on uraanivarud maakoos väga suured ja

veelgi suuremad on tooriumi varud. Isegi Eestimaa maapõues on uraani üle miljoni tonni ja ainuüksi Toolse fosforiidimaardla piires olevas graptoliitargilliidis on seda üle 27 000 tonni. Uraani keskmine sisaldus maakoos on 2 ppm, happelistes kivimites üle 3,5 ppm, uraanirikastes graniitides üle 5000 ppm. Suured uraanivarud paiknevad Austraalias (Mount Isa), Kasahstanis, Kanadas (Elliot Lake), Gabonis, Sairis, Namiibias, Nigeerias, Prantsusmaal, Usbekistanis, Brasiilias, USA-s, Venemaal, Lõuna Aafrika Vabariigis ja mujal, kus pakkumine ületab nõudlust. Üksnes Austraalia tööstuslikke varusid hinnatakse 1 143 000 tonnile. Keskmine tuhande megavatine tuumareaktor kasutab aastas 24 tonni 4% rikastusastmega uraani massiarvuga 235. Toogem võrdluseks, et sama võimsusega soojusjaam kasutab aastas 4,5 miljonit tonni kivisütt, mille põletamisel lendub atmosfääri hulgaliselt saasteaineid.

Palju kõneldakse tuumajäätmetest ja nende ohutustamisest. Prantsusmaa 59 reaktorit annavad 78% riigi energiast. Samal ajal toodab Prantsusmaa igal aastal 2500 kg tööstusjäätmeid elaniku kohta. Sellest vaid alla 1kg on tuumaelektrijaamade jäätmeid, milles ainult 100 g on pikka aega radioaktiivsena püsivaid jäätmeid ja 10 g kõrge aktiivsusega jäätmeid. Eestil vaevalt, et kunagi jäätmete matmise lõpphoidlat vaja läheb, sest Euroopa Komisjon on ette valmistamas direktiivi, mis võimaldab regionaalsete lõpphoidlate rajamise. Samas on meil jäätmete matmiseks geoloogilised eeldused olemas.

Lõpetuseks

Eestis juhtrollis oleva Reformierakonna üks valimiseelsetest lubadustest oli energiasõltumatus kindlustamine ja tuumajaama ehitamine. Kui 2011. aastal võetakse Riigikogus vastu tuumaenergia seadus ja asutatakse Tuumaenergia Inspektsioon, siis võimaldaks see käivitada reaktorite hankeprotsessi ja ehituse projekteerimise. Kui selle tulemusel loodaks kopp maasse 2015, siis ei oleks takistusi jaama valmimiseks aastail 2020–2022. Hetkel on Tallinna Tehnikaülikooli ja Tartu Ülikooli koostöös algatatud tuumaenergeetika spetsialistide ettevalmistamine, mitmeid noori on juba õppinud ja õpib välismaal. Seega on meil selleks ajaks olemas ka tuumajaama teenindav meeskond. Tuumajaama rajamisega kaasneks lisaks odavale energiale suur tööhõive. Jaama ehitamise ajal võiks töö leida ligikaudu 2000 inimest, tuumajaamas endas hiljem umbes 600 (Kallemeets 2010).

Israeli poliitik Abba Eban (1915–2002) on öelnud kuldsed sõnad: „*Ajalugu õpetab, et inimesed ja riigid käituvad mõistlikult alles siis, kui nad on ammendanud kõik teised võimalused!*“ Seega on võimalik, et rahva vastuseisu tõttu Eestisse tuumajaama ei tule ja me peame valmistuma

energiakriisiks. Mina oma silmadega Eesti tuumajaama niikuinii ei näe ja seetõttu juhindun Hando Runneli sõnadest: “Kes lollidega vaidleb, on ise sama loll, kes tarkadega vaidleb, on veelgi lollem loll, seepärast annab alla, kes kõige vähem loll ja selle pärast võitjaks jääb kõige lollem loll.”

Kirjandus

- Kallemets K. 2009. Tuumaenergia majanduslikud põhjendused. *Inseneeria* 4, 18–20.
- Kallemets K. (toimetaja). 2010. *Eesti tuumaelektrijaam: vajadus ja teostus*. Tallinn: MTÜ Eesti Tuumajaam, 27 lk.
- Paist A. 2008. Tuumajaama võimalikkusest Eestis. *Eesti Päevalehe majandusleht*, 16.04.
- Paist A. ja Kruus R. 2011. *Tuumareaktorid*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. 135 lk.
- Raukas A. 2008. Energeetika – oi kui lihtne! Rmt.: Punning, J.-M. (toimetaja) *Taskutark I*. Tallinn: MTÜ Euroscience Eesti, 12–28.
- Suurkask H. 2010. Maailmas hukub kuni 20 000 kaevurit aastas. *Eesti Päevaleht*, 14.10.
- Talvar A. 1990. Tuumaelektrijaam Eestisse? *Tehnika ja Tootmine* 10, 9–11.
- Valdma M. 2007. Energeetika tulevikust. *Äripäev*, 03.10.

Anto Raukas (anto.raukas@mail.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086. Autor on Eesti Teaduste Akadeemia energeetikanõukogu ja MTÜ Eesti Tuumajaam juhatuse liige.

Bentoniidi ehk montmorilloniidi kasutusala

Anton Timofejev

Mis on bentoniit ehk montmorilloniit?

Montmorilloniit on 1847. aastal avastatud savimineraal (<http://www.mindat.org/min-2821.html>). See ei ole haruldane ja võib erinevates teadmikes esineda erinevate nimedega – nii tuntakse Ameerika Ühendriikides sama mineraali hoopis nimega bentoniit. Nii on ka selles artiklis edaspidi kasutatud pigem bentoniidi, kui montmorilloniidi nimetust.

Nii, nagu enamiku savimineraalide puhul, on ka bentoniidi veesisaldus väga varieeruv ning tavaliselt on sellel suur veeimavus. Vett imades bentoniit paisub ja pudeneb väga väikesteks osadeks, mis annab sellele erilised omadused. Enamik savisid sisaldavad ka liiva, aga hea kvaliteediga bentoniit sisaldab liiva ja muid suuremaid osiseid minimaalselt, mis võimaldab seda kasutada väga mitmel otstarbel.

Bentoniidi värvus sõltub suuresti tema puhtusest – mida vähem sisaldab bentoniitsavi teisi mineraale, seda valgem see on. Puhas bentoniit on peaaegu lumivalge ja sellest pressitakse ravimitööstuses tablette. Samuti töötab bentoniit väga hästi loodusliku paksendajana ja see omadus võimaldab seda kasutada toiduainetööstuses. Näiteks sisaldavad bentoniiti enamik ketšupeid ja jäätiseid, odavamad veinid (hoiab ära osakeste sadestumise põhja), majoneesid jms. Kosmeetikatööstus kasutab savi plastseid omadusi lisades bentoniiti kreemidesse ja tehes sellest isegi nahakoorijaid. Bentoniidi põhiline kasutusala ei puutu aga toiduainetega eriti tihedalt kokku.

Puurimissegud

Bentoniiti kasutatakse peamiselt pinnase ja maapõue puurimistööstuses puurimissegude valmistamiseks. Puurimissegudel on palju olulisi omadusi, tähtsaim neist on viskoossus.

Maailmas on tegelikult saadaval meeletus koguses kõige odavamat puurimisvedelikku, mida ei pea enamasti kaevandama – vett. Samas on veel mõned üksikud miinused, millest suurim on vee võimetus kanda puuraugust välja puurpuru. Kui me kallame vee sisse liiva (mis on fraktsioonilt sarnane tüüpilisele puurpurule), vajub see pikemalt ootamata põhja. Hea puurimissegu peab aga väiksemaid osakesi vedelikus hoidma isegi kuni nädala. Segades vee hulka bentoniitsavi, mis loomulikult peab olema eelnevalt kuiv ja jahvatud, saame tõsta vee viskoossust ja moodustada suurepärase omadustega puurimissegu. Lisaks heale osakesi kandvale

omadusele on bentoniitsavi põhistel puurimissegudel veel kasulikke omadusi: (1) bentoniitsavi on väga libe (aitab vähendada puurvarraste hõõrdumist puuraugus), (2) bentoniitsavi koosneb väga väikestest osakestest ja määrib (nagu õli) puurimisvedeliku pumba tööpindu, (3) savi ise on looduslik ja ei saasta loodust, (4) bentoniitsavi koguneb massiivis olevatesse pragudesse ja ei lase puurimisvedelikul kaduma minna, jne. Viimane nimetatud omadus võimaldab seda kasutada väga erinevates tingimustes. Hea puurimisegu, ükskõik mis liiki puurimisel, ei tohi valguda puuritavasse pinnasesse, sest muidu ei väljuta see puurpuru ja ei jahuta ega libesta kõiki maapinnas liikuvaid masina osasid.

Bentoniit on piisavalt viskoosne ning sulgeb väiksemad praod, moodustades omamoodi „kooriku“ puuraugu seinale. Kuna bentoniidi osakeste tihedus on puurimisegu tihedusest suurem, siis mida kõrgem on bentoniidi kvaliteet, seda õhem koorik moodustub. Sellisel moodusel on võimalik puurida isegi liivasesesse pinnasesse, kus puhta veega puurimisel liiv märguks ja puurauk variseks liiva täis.

Sama omadus aitab vähendada puurimisegu kadu, mis on oluline, sest „tühi kott ei seisa püsti“. Eeldades, et puurauku ei ohusta märgumine, ei tohiks see variseda, aga kui puuraugu seinu ei hoia miski kinni, vajub puurauk ikkagi kokku. Seda sellepärast, et miski ei takista osakestel puuraugu seinast lahti tulla ja põhja kukkuda (tavaliselt on puurauk puurimisegu täis ja puurimisegu enda raskuse abil moodustub piisav rõhk puuraugu seinale, et osakesed lahti ei tuleks).

Tunnuste loetelu on loomulikult palju pikem ja vajalike omaduste paremaks toimimiseks lisatakse bentoniitsavile veel teisigi aineid, aga see kuulub pigem täppispuurimissegude moodustamise ja keemia valdkonda.

Vertikaalpuurimine

Häid puurimissegusid hakati välja töötama seoses naftapuurimistega keerulistes tingimustes, seega peab erinevatest puurimistöödest rääkides alustama kindlasti vertikaalpuurimisest. Vertikaalpuurimise omapära seisneb selles, et mida sügavamale puuritakse, seda rohkem energiat on tarvis puurimisegu (puurpuru) maapinnale toomiseks. Järelikult on vaja suuremat rõhku, mis omakorda viib probleemini, et puuraugu põhjas surutakse vedelik puuritavasse pinnasesse, puurpuru jääb põhja ja pinnas ise märgub. Seega, mida sügavamale puuritakse, seda paremat puurimisegu on vaja. Loomulikult kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid: suruõhku, vahtu, suuremalt väiksemale diameetrile minekut, jne. Maailma kõige tulusam ja tõenäoliselt ka kõige keerulisem puurimine ehk naftapuurimine kasutab siiski puurimisvedeliku abi.

Puurimisvedelikku kasutatakse geoloogilisel puurimisel, kus probleemistik on hoopis erinev teistest puurimisliikidest, sest peamine ülesanne ei ole „kiiremini-kaugemale“, vaid rõhutakse hoopis kvaliteedile. Nii kasutatakse geoloogilisel puurimisel bentoniitsavi lahust ja põhimõtteliselt on protsess sarnane ükskõik millise muu veretikaalse puurimisega. Kuna geoloogiline puurimine on aeganõudev, on tihti vaja jätta puurauk koos tööriistadega seisma kas ööseks või nädalavahetuseks ja see tekitab probleeme peamiselt siis, kui läbitakse punduva savi kihte. Niikaua, kuni puurimisvedelik pidevalt puuraugus voolab, võtab ta savikihist eralduvat liigset materjali pidevalt kaasa, aga kui puurimine mitmeteks tundideks seisma jääb, võib läbistatud savi kiht paisuda sedavõrd, et surub puurvardad korralikult kinni. Selliseid probleeme aitab vältida hea puurimiseguga, mis sulgeb vee ligipääsu punduvale savile ja välistab sellega savi paisumise.

Horisontaalpuurimine

Kõige uudsem puurimise erivorm on horisontaalne suundpuurimine, mida kasutatakse erinevate kommunikatsioonide nagu elektrikaablite, valguskaablite, vee- ja kanalisatsioonitorude paigaldamiseks. Horisontaalpuurimine erineb vertikaalpuurimisest, olgugi et kasutatakse väga sarnaseid puurimissegusid ning kohati ka tööriistu ja läbistamistehnoloogiaid. Põhiline erinevus seisneb selles, et vertikaalpuurimisel ei ole korraliku puurimisvedelikuta üldse võimalik puurida, kuna alternatiivsed tehnoloogiad sisuliselt puuduvad. Lisaks saab horisontaalsuundpuurimist, erinevalt raskestijuhitavast vertikaalpuurimisest, väga täpselt juhtida – puurida saab näiteks kahe olemasoleva kanalisatsioonitoru vahelt, olenemata nende omavahelisest asendist. Samas on suundpuurimise suureks probleemiks puuritava pinnase eripära, kuna puuritakse maapinnaga paralleelselt ja tavaliselt mitte sügavamal kui 25 meetrit ning puuritavaks materjaliks on peamiselt liiv, savi, suuremad veerised ja muu murenenud või teraline materjal. Puurimiseks kasutatakse juba eelnvevalt kirjeldatud bentoniitsavi põhise puurimisseguga täiendades seda parima tulemuse saavutamiseks erinevate lisanditega.

Eriomadustega segud

Bentoniidipõhistest segudest on välja töötatud mõned väga olulised nii öelda „roheline suunitlusega tooted“. Kuigi bentoniit ise on looduslik ja selle kasutamine on kordades loodussõbralikum kui alternatiivsete, sünteetilisel teel toodetud puurimissegude kasutamine, on hakatud

mõtlemata, kuidas bentoniidi abil olemas olevaid ressursse veelgi paremini kasutada.

On jõutud tooteni, mis võimaldab horisontaalsuundpuurimise meetodil paigaldada näiteks uus plastikust kanalisatsioonitoru vana betoonist kanalisatsiooni sisse. Veel mõni aeg tagasi peeti seda ebaotstarbekaks, kuna betoonist torustik laguneb ja võib vigastada plastikust torustikku. Uue tehnoloogia kohaselt on võimalik betooni ja plastiku vahele pumbata spetsiaalset kivistuvat bentoniidipõhist segu. Eristumine traditsioonilisest betoonist seisneb selles, et bentoniidipõhine kivistuv segu ei lagune ajaga ära, vaid käitub maa-all pigem nagu savi kui betoon. Moodustades kaitsva kihi ümber plasiktoru, kaitseb see kanalisatsiooniväliste vigastuste ja temperatuurimuutuste eest.

Rohelise mõtlemise tulemusena on loodud ka nii-öelda soojuskandev bentoniit, mida kasutatakse geotermaalenergia efektiivsemaks ammutamiseks. Kui energiat „koguv“ torustik paigaldatakse horisontaalsuundpuurimise meetodil, jääb torude ümber mingi kogus puurimisegu, mis aja jookkul siiski ümbritsevasse pinnasesse imbub. Selle tulemusel saab torude ümber olema pinnas, mis tavaliselt ei ole hea soojusjuht ning suur hulk energiat jääb torudesse kandmata. Tänu sellele tuleb projekteerida pikem torustik või saadakse lihtsalt toota vähem energiat. Pumbates peale torude paigaldamist puurauku soojuskandvat segu, mis samuti imbub ajaga ümbritsevasse pinnasesse, suurendatakse energia ülekannet soojemalt maapõue osalt jahedamale, torude ümber paiknevale alale.

Soojustkandva segu kasutamine säästab merre rajatavate tuulegeneraatorite ehituseks kuluvat ainelist ressursi. Kuna suurema hulga tuuleenergia püüdmiseks paigutatakse tuulegeneraatorid rannikust järjest kaugemale, siis muutub energia transport mandrile keerulisemaks. Probleem seisneb pikkade elektrikaabli suures takistuses, mis nõuab vahemaade kasvades järjest suurema ristlõikega kaableid. Tulenevalt paigaldustehnoloogiast ja Euroopa nõuetest asetsevad kaablid merepõhja paigutatud toru sees, mistõttu koguneb jahutava merevee ja soojust eraldava kaabli vahele halva soojusjuhtivusega õhk. Bentoniidiga täidetud torudes saab kasutada palju väiksema ristlõikepindalaga elektrikaableid, säästes tohutul hulgal kaablite valmistamiseks kuluvat vaske. Parandatud juhtivusega bentoniit juhib soojust paremini kui vesi ja samas kaitseb ka toru sees asetsevaid kaableid võimalike vigastuste eest.

Veetõkked

Bentoniitsavi, nagu igasugune savi, on hästi kasutatav veetõkketeks. Kõige tuntum bentoniidil põhinev vett tõkestav toode on peamiselt prügilate rajamisel kasutatud bentoniitmatt. Mattidesse pakendatud

bentoniidi miinuseks on sagedased lekked nende liitekohtades. Alternatiivina saab kasutada granuleeritud bentoniiti, mis veega kokkupuutel paisub ja moodustab monoliitse kaitsekihi, mille veepidavus on sarnane plastikule. Monoliitne bentoniidi kiht on nii-öelda iseparanev, mis tähendab, et kui bentoniidi kiht peaks juhuslikult millegagi läbistatud saama, sulgeb bentoniit katkise koha uuesti veetihedalt. Samasuguseid graanuleid kasutatakse geoloogilisel puurimisel puuraugu sulgemiseks ja puurkaevu puurimisel takistamiseks pinnavee imbumist põhjavette. Graanulite abiga saab hõlpsasti rajada tiike, veehoidlaid ja muid seisva vee või aeglase vooluga veekogusid. Õiget paigaldamistehnoloogiat rakendades on sarnase tootega võimalik sulgeda ka allikaid.

Bentoniidipõhiseid veetõkkeid on võimalik moodustada ajutise või püsiva „seinana“. Ajutiseks veetõkkeks sobib hästi puurimisseguga sarnase massiga täidetud sügav tranšee, mida kasutatakse keerulistel ehitusobjektidel, näiteks avariilukorra likvideerimiseks karjääris või muus sarnases olukorras. Bentoniidi tooteid kasutatakse kaevanduste ventilatsioonisahtidele veekindluse andmiseks.

Põllumajanduslik kasutamine

Bentoniiti tarvitatakse põllumajanduses mitmetel otstarvetel. Loomulikult saab bentoniiti kasutada veetõkkena, takistamaks niiskuse kadumist muidu viljakast mullast. Tunduvalt huvitavam on fakt, et bentoniiti saab kasutada väetisena ja spetsiaal- või täppisväetise kandainena. Bentoniitsavi sisaldab palju kasulikke mineraale ja selle doseerimine on piserdamise teel veega lahustamisel mugav ja täpne. Kuna bentoniidi segu veega on nõrgalt aluseline, neutraliseerib tema kasutamine happelisi muldasid. Kusjuures horisontaalpuurimisel kasutatud puurimisseguga on Poolas toodetavale bentoniidist väetisele väga sarnase koostisega, erinedes vaid tänu sellele, et puurimisseguga on mingisugusest pinnasest juba läbi käinud ja omastanud puuritud pinnase mõned koostisosad.

Taaskasutus

Bentoniidi kasutus on äärmiselt lai ja hõlmab väga paljusid valdkondi, alustades meditsiinist ja toiduainetööstusest ning lõpetades põllumajanduse, ehituse ja isegi kaevandamisega. Maailmas on vähe ressursse, mille kasutusala on sedavõrd lai, kuid tootmine nii sarnane. Just tootmisprotsessi sarnasus erinevate valdkondade väga spetsiifiliste produktide toorainele on see, mis võimaldab bentoniidi niinimetatud rist- ja korduvkasutust. Tänu spetsiaalsetele seadmetele on võimalik puurimissegusid taaskasutada. Puurimisseguga sisuliselt puhastatakse puurpurust, uuendatakse ja lastakse

uuesti käiku vaid mõne minuti möödudes. Mõned puurimissegude tootjad isegi teevad nende segude täielikku ümbertöötlust, ostes klientidelt kasutatud puurimisegu ja müües neile värsket segu tagasi. Moodsas Euroopas toodetakse kasutatud puurimissegust põldudele looduslikku väetist, kasutades sama segu, mis Balti riikides jäetakse võimalusel puurimiskohta maha või äärmisel juhul viiakse utiliseerimisele.

Tänu sõnad

Bentoniitsavide uurimine ja juurutamine on seotud Vermeer Technics-Baltic OÜ teadus- ja arendustööga ning TTÜ Mäeinstituudi uurimustöödega “Säästliku kaevandamise tingimused” (ETF grant nr. 7499) ja „Täitmine ja jääkide (jäätmete) haldamine Eesti põlevkivitööstuses“ (ETF grant nr. 8123) ning Euroopa Liidu Läänemere piirkonna projektiga „Mining and Mineral Processing Waste Management Innovation Network“ (VIR491).

Anton Timofejev (anton@melkerbaltik.eu) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086.

Kivistised kui varamu

Jaak Nõlvak

Geoloogilise ressursina võib vaadelda mitte ainult looduslikku ainet, maavara või selle komponenti, mida saab otseselt ja kohe tarbida – näiteks meie maal põlevkivi, vaid ka teadmisi Maast, elu ajaloost ja oskusi neid kasutada, muuhulgas ka kaardistamisel.

Paleontoloogias on selleks vahendiks fossiilide e. kivististe kollektioon. Sellel on püsiv väärtus, sõltumata klassifitseerimisest ja süstematiseerimisest, s.o. taksonoomia tasemest, mis on väga tähtis üksteisemõistmiseks, kuid mis tänu järjest täiuslikumatele uurimistehnikatele ja uutele ideedele pidevalt muutub – loodetavasti kasutuskõlblikumaks. Allpool vaatleme üht piiratud lõiku Maa elustiku ajaloost, millega Eestis on kauem tegeletud ja paremini uuritud ning millist võimaldab olulise eelisena Eesti loodus, isegi globaalses mõõtnes ja võrdluses.

Unikaalsed kivistised ja muistse elu jäljed aluspõhjas

Meie ala aluspõhja erilisus seisneb elu arengu ühe väga olulise tunnuse, Vara-Paleosoikumi meredes toimunud bioloogilise mitmekesisuse järsu tõusu säilimises Eestis paljanduvates Kambriumi ning eriti Ordoviitsiumi, Siluri ja osaliselt Devoni kihtides ning võimalustes neis kivistisi detailselt uurida ja kirjeldada. Olulisus seisneb ka selles, et need kihid ja neis toimunud elustikukoosluste muutused on säilinud oma õiges kujunemise järjekorras, kuna hilisemad maakoore kõikuvliikumised ning mäetekkeprotsessid pole neid sadade miljonite aastate jooksul segamini pööranud. Meie läbilõigetes vanem kiht lamab alati allpool. Need asjaolud võimaldavad koostada vastava geoloogilise ajalõigu suhtelisi ajaskaalasiid geoloogiliste sündmuste toimumise tegeliku järjekorra selgitamiseks (biostratigraafia). Samas on ka elustikujäänuste säilivus siinsetes lubjakivides, eriti mikrokivististe osas, kohati parim isegi globaalses mastaabis.

Kivististe makromaailmast

Siinne aluspõhi koosneb settekivimitest, milles leidub settesse maetud ja soodsatel tingimustel säilinud elustiku jäänuseid. Kivistis on planeedi geoloogilises minevikus elanud organismi jäänus või liikumisvõimeliste loomade tegutsemise jälg, mis on kivimikihtides jälgitav ja erinevatel meetoditel uurimiseks kättesaadav. Tihti leidub meie aluspõhja kivististe seas ka suuremaid, mida on võimalik vaadelda ilma suurendusklaasi või

mikroskoobita, kuid valdavas enamuses jäävad nad siiski varjatuks ja kuuluvad pisikivististe hulka. Need võib jaotada taime- või loomariiki kuulumise alusel, või siis hoopiski suuruse järgi.

Näiteks Põhja-Eesti ja Saaremaa klintide paljandites ning siin-seal ehituskivides ja trepiastmetes võib leida meres elanud organismide kivistisi. Põhja-Eesti klindil paljanduvad kivimikihid kujunesid umbes 460 kuni 540 miljonit aastat tagasi, s.o. Kambriumi ning Ordoviitsiumi ajastu varasemal poolel. See piirkond, mis nüüd on Baltoskandia ja osa Poolast ning Ukrainast, oli enamuse sellest ajast Baltika ürgmandri ääremere põhi ning paiknes lõunapoolkeral tollaegse paras- ja polaarvööndi piirimail.

Kuna Põhja-Eestis on vanemate, valdavalt Kambriumi liivakivide ja savidega esindatud kihtide paljanduvus piiratud ja ka kivististe sisaldus vähene, siis piirdume siinkohal Ordoviitsiumi kihtides leiduvate selgrootute lühikirjeldamisega ja sedagi valikuliselt, sest neid on rikkalikult. Dinosauruseid ja teisi silmapaistvalt atraktiivseid selgroogseid pole siin leida, sest maismaa oli tollal teadaolevalt veel asustamata ja need “kuulsused” ilmusid Maa geoloogilisse ajalukku tunduvalt hiljem.

Vana-Tallinna ja laiemalt kogu Põhja-Eesti ehitustele iseloomulikud hallid paekivid – lubja- ja dolokivid – sisaldavad õnneks suuremaidki lubikojaga kivistisi. Need on tihti palja silmagagi hästi nähtavad müüri- ja trepikivides, ka kõnniteede katteplaatides ning meenutavad lülilist selgroogu. Lähemal vaatlusel on need limuste hulka kuuluvad mineraalse väliskeletiga loomad – peajalgsed (nautiloidid). Teod ja karbid kuuluvad samuti sellesse limuste rühma ja nende kiivistisi võib ehituskividest tihti leida, eriti kui kivimipind on lõigatud, lihvitud või kõnniteel siledaks kulunud. Esinemissageduse ja kuni meetrini ulatava suuruse tõttu äratavad just peajalgsed kõige rohkem tähelepanu, kuid kas nad väärivad ka rahvuskivistise staatust, kui selline vajalikuks peaks osutama, on maitse asi. Lisagem, et tollaegse mereelustiku suurimad kiskjad levivad ka Eesti Siluri kivimites isegi suuremate, harva kuni paari meetrini ulatuvate isenditena.

Kivimis on nähtavad tagakeha suunas peenenevad veidi lapiku ristlõikega kambrite read, mis on üksteisest kumer-nõgusate vaheseinte ehk septidega eraldatud. Paljudel on kambriid ühendatud selgelt eristuva toru ehk sifooniga, mille asend keskel või ühes servas määrab looma perekondliku kuuluvuse. See kambreid ühendav toru on väga oluline. Selle kaudu reguleeris loom gaasi- või veesisaldust tagakeha kambrites ning ujumissügavust. Siit vahest pärinebki allveelaevades kasutatav printsiip sukeldumissügavuse reguleerimisel. Lisaks esineb ka spiraalse kujuga peajalgseid, kuid harvem. Vanimad nautiloidid ilmusid juba Kambriumi ajastu lõpupoole, kuid meie Põhja-Eesti läbilõikes on nad arvukad just Kesk-Ordoviitsiumi lubjakivides (Kunda, Aseri ja Lasnamäe lademetes),

mis kihiti sobivad ka ehituskiviks. Nende, tänapäevaks väljasurnud peajalgsete molluskite (hõimkond *Mollusca*, klass *Cephalopoda*, alamklassid *Orthoceratoidea* ja *Endoceratoidea*) hulka kuuluvatel loomadel on ka tänapäevaseid sugulasi – tuntumad neist on ilma kodadeta kaheksajalad ja kalmaarid või spiraalse kojaga laevuke (*Nautilus*).

Meie settekivimites leidub arvukalt merepõhjas elanud käsijalgseid, kellest osa on elus püsinud tänaseni, kuid Paleosoikumis olid nad eriti mitmekesised. Siinkohal nimetagem veel vaid ühte ja võimalik, et lähiajaloo kuulsustki kogunud makrokivistist – heledates liivakivides leviv, musta värvi, läikiva fosfaatse kojaga käsijalgne (valdavalt perekondadest *Ungula* ja *Schmidtites*). Nendest ongi moodustunud maavara – karpfosforiit, mis on tuntud ka oobolusfosforiidina. Viimane nimetus on küll ebatäpne eksliku *Obolus*'e perekonna määrangu tõttu, kuid üldnimena siiski kasutata.

Kirjeldatud maavara moodustab Tallinnast ida poole kuni Pandivere kõrgustiku põhjanõlvani kohati juba kaevandamist väärivaid vahekihte ja mida Maardus keskkonna suhtes kõlbmatu tehnoloogiaga kuni 1991. aastani väetiste tootmiseks kaevandati. Kohati massiliste kivististe kuhjetena leitava loodusnähtusena on see siiski ainulaadne ja kujunes Kambriumi ja Ordoviitsiumi ajastu vahetusel liivakivide settimise ja mõneti anomaalse bioproduktiooni tingimustes – arvatavalt rannalähedases madalmeres, kus loomade kodasid vee liikumisega tohutul hulgal kokku kuhjus. Loomad omasid kahte pikitelje suhtes sümmeetrilist kojapoolmikki ja nad kuuluvad lingulaatide hulka, kuid varasemas kirjanduses kohtab ka nimetust puudulused. Kojad on tumekollakates pehmemates liivakivides hästi silmapaistvad, kuid enamasti veidi deformeeritud või hoopiski purustatud.

Tuntumatest kivististerühmadest uuritakse Eestis veel lüljalgsete hulka kuuluvaid trilobiite, samuti on väga olulisi tulemusi saavutatud ostra-koodide ehk karpvähiliste (kahepoolmelise kaltsiumkarbonaatse kojaga mikroskoopiliste vähilaadsete) kogumisel ja uurimisel (Meidla jt. 2011).

Need kivististerühmad on vaid väike valik fossiilide maailmast, samas selle meie jaoks omapärasemast ja atraktiivsemast osast.

Kivististe mikromaailmast

Erinevalt eelpoolnimetatutest on mikro- või pisikivistised vähemtuntud, kuna jäävad inimesilma eest varju ja on nähtavad vaid mikroskoobis (LISA joonis 1 ja 2).

Põhja-Eesti läbilõike alumistes liivakivides on mikrofloora esindatud orgaanilise kestaga, valdavalt ainuraksete vetikate hulka kuuluvate akritarhidega. Nende liigiline mitmekesisus kasvab tunduvalt Kesk-

Ordoviitsiumi lubjakivides ja levib arvukalt ka Siluri kihtides (LISA joonis 1, Q–U).

On veel mitmeid tänapäevaks väljasurnud kivististerühmi. Mikrofauna hulgast on nendeks näiteks konodondid – mõne cm pikkused ja tervikuna väga harva leitud kalade kauged sugulased, kellest tavaliselt on säilinud vaid fosfaatsed “hambad”, mis võisid toimida toidupeenestajatena (LISA joonis 1, A–H). Nad on paljudes kivimtüüpides kohati väga arvukad ja hästi säilinud ning oma laia leviku tõttu kõrge biostratigraafilise väärtusega Ordoviitsiumi ja Siluri läbilõigete uurimisel.

Leidub teisigi loomarühmi, kelle sugulased on elus tänini. Näiteks skolekodondid, hulkharjasussid, kellest on säilinud orgaanilisest ainest koosnevate lõuaaparaatide osised, mis on erineva kujuga. Nende keeruka koosluse selgitamine pole alati lihtne ja vajab kogemusi (LISA joonis 1, I–P).

Enamuses on leiud väga fragmentaarsed, sest eriti tänapäevaks väljasurnud faunast ja floorast pole säilinud muud, kui mineraalsest ainest kojad, sisetoesed või hambad, ka orgaanilisest ainest kestad, mille järgi on vahelduva eduga võimalik taastada, ent tihti vaid oletada iidsete olendite ehitust, kuju ja päritolu.

Kasulik faunarühm – kitiinikud

Üks selline rühm, kellel peatume pikemalt ja kes on ehk ka kõige vähem tuntud, on eksootilised pisikivistised – kitiinikud (LISA joonis 2). Kui Tallinnas, Lasnamäe nõlval Põhja-Eesti klindil paljanduvatesse kihtidesse kaevati suurejooneline uus süvend kunstimuuseumi Kumu ehituseks, siis oli see ka erakordselt harvaesinev ajutine paljand geoloogidele lubjakivide all lamavate pudedamate kivimikihtide uurimiseks ja proovimiseks. Need pudedad kihid on tavaliselt rusukaldega kaetud. Just neis poolpehmetes glaukoniiti sisaldavates liivakivides levivas, vaid kahe sentimeetri paksuses savi vahekihis, leidis väga rikkalik ja mitmeliigiline kitiinikute ja skolekodontide kooslus (Hints ja Nõlvak 2006). See on üks vanimaid kitiinikute kooslusi mitte ainult meil vaid ka teistel kontinentidel. Eestist on teada vaid üks veel vanem, ainult ühte liiki sisaldav kiht Selja jõe kaldalt Alam-Ordoviitsiumi Varangu lademe kõige ülemisest savikihist.

Mis loomad olid kitiinikud? Lühivastus – me ei tea. Nende jäljed kadusid juba 360 miljonit aastat tagasi ja tänapäeval tuntud elustiku hulgas analoogseid vorme pole.

Niisiis kitiinik – eestikeelse vastena ladinakeelsest versioonist *Chitinozoa* on terminina kasutusel 1996. aastast siinkirjutaja ettepanekul ja keeleteadlaste heakskiidul nende leviku kirjeldamisel Rapla puurprofiilist (Kaljo jt. 1996). Nende, meile seni veel paljuski mõistatuslike

mikrokivististe esmaleiud on pärit Ordoviitsiumi ja Siluri vanusega rändkividest.

Kitiinikute esmakirjeldused ilmusid 1931. aastal. Königsbergi ülikoolis töötanud sakslane Alfred Eisenack kogus Balti mere lõunakaldaile mandrijää poolt transporditud rändkive ning lahustas ja kirjeldas neis hästi säilinud mikrokivistisi. Rändkivid pärinesid kõvematest, s.o. vähema savisisaldusega lubjakivikihtidest, mis jäätranspordi käigus polnud lagunened. Nii ongi kitiinikute rühm avastatud tänapäeva Läänemere alla jäävate kihtide avamustelt lahtirebitud kivimitest, mis olid kujunenud meie maa kohal asunud Baltika ürgmandri Ordoviitsiumi ja Siluri merebasseini setetest, seega meie lähialadelt. Alles aastakümneid hiljem kirjeldati neid kõigilt mandritelt Ordoviitsiumi, Siluri ja Devoni merelistest sette kivimitest, välja arvatud Antarktikast. Kitiinikute rühm suri välja Devoni ajastu lõpus, umbes 360 miljonit aastat tagasi. Nende arvukus on väga varieeruv ja kõigub mõnest eksemplarist kuni sadadeni ühe grammi kivimi kohta, väga harva ka rohkem.

Kokkuleppeliselt kirjeldatakse kitiinikuid tinglikult kui loomi, kuigi need võisid olla ka mittesäilinud pehmekehaliste hulkraksete munad (Paris ja Nõlvak 1999). Kuid kas muna kui selline võib olla ka karvane? Võib, sest putukate hulgas on see laialt levinud. Ent sel ajal kui ilmusid kitiinikud, polnud putukaid teadaolevalt veel olemas.

Kitiinikuid leiame vaid Ordoviitsiumi ja Siluri aegsetest meresetetest moodustunud kivimitest Eestis ja naaberaladel, mis kuulusid kunagi Baltika ürgmandrit ümbritsenud merealade alla. Meie valdavalt liivakividega esindatud Devonist seni leide pole. Üldlevinud arvamuse järgi viitavad nende levikuandmed kuulumisele planktoni hulka, mille arvukus sõltub eelkõige merevee dünaamikast ja temperatuurist ning nende settesse mattumine hoovustest.

Lahustades kivimit hapetega leiame lahustumatu jäägi hulgast rohkesti musta värvi, õhukeseseinalisi, pikitelje suhtes tavaliselt radiaalsümmeetrilisi seest tühje kesti. Nende ühes otsas on avaus (suue), mis oli suletud, olenevalt kujust, korgi või kaanega. Kujult on nad väga erinevad: esineb kelluka-, kurika-, nuia-, pulga- või pudelikujulisi, samuti ümaraid, amforaid meenutavaid vorme. Kitiinikud on tavaliselt 0,2–0,5 mm pikkused, väiksemad vaid 0,05 mm, pikimad küünivad kuni 2,3 mm-ni. Välispind on kas sile või kaetud mügarate, karvakeste või hargnevate jätketega, kest koosneb moonde läbi teinud keerukast orgaanilisest ainest, mis hapetes ei lahustu.

Nende atraktiivsete kivististe eelis on nende suurus ja arvukus ning see, et osa liike on suhteliselt lühiealised ja sobivad suhteliste, senistest tunduvalt detailsemate ajaskaalade koostamiseks. See on oluline just puursüdamike uurimisel ja tähtis setteliste maavaradega seotud regionaalsel

geoloogilisel kaardistamisel (põlevkivi, ehituskivi, mujal ka nafta, jt.), samuti vulkaaniliste tuhakihtide (K-bentoniitide) ja teiste geoloogiliste sündmuste ajalise kuuluvuse määramisel. Loomulikult kasutatakse sealjuures ka teisi pisikivistisi, kuid kitiinikud on viimastel kümnenditel saanud üheks kolmest juhtvormist graptoliitide ja konodontide kõrval. Nad on olulised konkreetse ajalõigu geoloogiliste läbilõigete liigestamisel ja võrdlemisel teiste paleokontinentide läbilõigetega, seega globaalselt (Paris jt 2004; Vandenbroucke jt. 2010a; jt.) ning ka ajaühikute stratotüüpide piiride määramisel, näiteks Kati globaallademe alumisel piiril Oklahomas, USA-s (Goldman jt. 2007).

Kivististe ja kitiinikute uurimisest Eestis

Meie aluspõhja Ordoviitsiumi ja Siluri merelistest karbonaatkivimitest on vahelduva intensiivsusega umbes 180 aastat kogutud ja kirjeldatud rohkesti kivistisi, mille alusel on taastatud tolaegset elustikku, määratud kivimite suhtelist vanust ja mitmesuguseid geoloogilisi sündmusi ning nende toimumise järjekorda. Vaatamata moodsamate uurimismeetodite lisandumisele (täppisgeokeemia, isotoobid jt.) ei pääse siiski klassikalisest biostratigraafiast, sest kõike uut peab millegagi võrdlema, mingi foon on vältimatult vajalik. Seejuures põhineb see kõik iga uuritava rühma progresseeruvalt töökindlamaks muutuval taksonoomial. Juhul kui uurimist ikka jätkatakse.

Pärast Ralf Männili (1924–1990) Balti Ordoviitsiumi basseini arengu monograafilist üldkäsitlust (1966) pöördus Ordoviitsiumi tööühma huvi rohkem eri makrofauna gruppide arengu uurimisele (käsijalgseid, ostrakoodid, trilobiidid, okasnahksed). Loetletud kivististe levikule rajanesid oma põhiosas tolaegsed liigestuse- ja korrelatsiooniskeemid. Alustati eri faunagruppide suhteliselt detailset otsingulist tööd nn. killustiku meetodil, mis kujutas endast läbilõigete kiht-kihilist uurimist purustades kivimit mehaaniliselt ca 1 cm³ kildudeks. Uuriti ja koguti kivististega kivimitükke (valdavalt piiratud kivimikogusega puursüdamikest) juba mikroskoobi all. Meetod oli aga väga tömahukas ja nii äratas tähelepanu orgaanilise kestaga mikrofossiilide rohke leidumus piiratud kogusega kivimikihis ja nende säilumine happega töötlemise järgselt. Leidude lähemat uurimist tõukas tagant uuem teaduskirjandus ning ka ühe Moskvast Tallinnasse kaasatoodud akritarhide, ainuraksete floora hulka kuuluvate mikrofossiilide preparaatides leidunud salapärased läbipaistmatud musta värvi eksemplarid. Selgus, et neid sai määrata Alfred Eisenacki (1891–1982) tööde järgi, mis olid ilmunud Saksamaal enne Teist Maailmasõda. Lisandus materjal, mida olime ka meie leidnud (1967–1968. aastal), sel ajal nende levikule siiski veel olulist tähelepanu pööramata. Samas oli neil

mikrovormidel vaieldamatu eelis arvukatest puursüdamikest pärit settekivimite kihtide uurimisel.

Samal ajal, 1960-ndate aastate lõpus, ilmusid W. Jenkinsi (1967) ja S. Laufeldi (1967) tööd, mida meil õnnestus hankida väikese hilinemisega, tänu sõpradele läänes. Briti saarte Shropshire'i ja Rootsi Dalarna piirkondade kitiinikute kirjeldused andsid olulise tõuke nende kivististe kasutusvõimaluste uurimiseks meie läbilõigetest just stratigraafilistel eesmärkidel, s.o. nende leviku ja korrelatiivse väärtuse selgitamiseks.

Globaalses ulatuses olid need pisikivistised erilise tähelepanu all juba 1960-ndate algul. Seda seoses nafta leiukohtade uuringutega Põhja-Aafrika ja Araabia poolsaarel, samuti Ameerikas. Samal ajal loodi ka Rahvusvahelise Paleosoikumi Mikrofloora Komitee vastav alamkomisjon, mis kooskõlastas terminoloogia (Combaz ja Poumot 1962), selleks et levikuandmed eri paleokontinentide läbilõigetest oleksid võrreldavad. Rohkem või vähem aktsepteeritud ehk konsensuslikke kitiinikute liike tuntakse maailmas umbes 500 ja need kuuluvad 56 perekonda.

Esimesed mikropaleontoloogia uurimistulemused

Esimene ettekanne kitiinikute levikust meie läbilõigetes peeti 1969. aasta jaanuaris Leningradis, tolleaegse Üleliidulise Paleontoloogia Seltsi aastakoosolekul. Ralf Männili esimene laiema levikuga artikkel ilmus 1971. aastal Prantsusmaal, milles rõhutati kitiinikute arvukuse ja mõõtmete väiksuse olulisust ja loetleti mõningaid korrelatsioonide osas olulisi liike – nii Balti paleobasseini siseseid kui laiema alal Ordoviitsiumis. Seejärel publitseeriti esimesed tulemused 24. geoloogia kongressi teesides Montrealis 1972. aastal ja artiklina Eesti NSV TA Toimetistes (1972b).

Esimene kitiinikute leviku uurimistulemus kiht-kihilise prooviseeria alusel publitseeriti Põhja-Eestist, Lipu puursüdamiku Kukruse ja Idavere lademe piirikihtidest (Nõlvak 1972), kus sai kinnitust mõne juba varem Rootsis kirjeldatud liigi (Laufeld 1967) kõrge korrelatiivne väärtus ning kihtide vertikaalse liigestamise head võimalused (Nõlvak jt. 1999, Grahn ja Nõlvak 2010). Ordoviitsiumi kihtide uurimisel kontsentreerus R. Männili teatud stratigraafiliselt oluliste tasemete ning üksuste piiride korreleerimisele üle Ordoviitsiumi basseini ja tulemused leidsid laialdast kasutust hilisemate kogu ala hõlmavate 1978. ja 1987. aastate korrelatsiooniskeemide koostamisel (Resheniya 1987). Seejärel pühendus R. Männil detailsele, umbes 50-ks põlevkivi sisaldavaks kihiks liigestatud, läbilõigete biomikrostratigraafia (1986).

Veidi on muutunud ka Ordoviitsiumi kitiinikute uurimise raskuspunkt – on pühendatud rohkem liikide vertikaalsele levikule (Eesti tugiläbilõigete kohta vt. viiteid Nõlvak 2010) ja mitmekesisuse muutustele (sh. ka Poola,

Rootsi, Norra, Ukraina jt. läbilõigetes, seega üle basseini), mis on leidnud laia rahvusvahelist kasutust (Nõlvak ja Grahn 1993; Kaljo jt. 1996; Paris jt. 2004; jt.). Näiteks samavanuselistes kivimites Norras ja kohati Rootsis on hilisematel geoloogilistel perioodidel neile kihtidele lasunud vulkaanilised kihid tugevasti kuumutanud vanemaid kivimeid ja kitiinikute orgaanilised kestad peaaegu hävitanud. Kihtide tektooniliselt rikkumata lasuvus teeb meie piirkonna rahvusvaheliselt sobivaks etalonlaks, kuigi mõnedes läbilõike osades esinevad settelüngad ja kihtide kondenseeritus, eriti Alam-Ordoviitsiumis, kuid kihid on siin oma õiges ajalises järjestuses. Meie ala Ordoviitsiumist on tuntud ja kirjeldatud 160 liiki, osa on veel kirjeldamisjärgus. Samas tuleb tõdeda, et tihti on kivististe süstemaatika suhteliselt ebatäpne ja sageli ka vaieldav ning selleks, et saavutada töökindlat tulemust nende leviku uurimisel, on vaja selgitada liigi levikut laiemal alal ja mitte ainult ühe läbilõike alusel. Siin on aga meie plussiks varasemal ajal puuritud puursüdämike suhteliselt suur hulk, mis on uurimistööks veel tänapäevalgi kättesaadav.

Edu Ordoviitsiumi kihtide liigestamisel tiivustas ka uurimistöid Siluri läbilõigetega, mida viis edukalt läbi ja publitseeris Viiv Nestor alates 1976. aastast arvukates artiklites ning Vara-Siluri kihte käsitlevas monograafias (1994). Töö jätkub tänini.

Kahjuks pole meie kivimites rikkalikult leiduvaid ainurakseteks vetikateks peetavaid akritarhe taksonoomiliselt palju uuritud. Seda põhiliselt vastava kivimite lahustustehnoloogia erinevuste, samuti nende taksonoomiliste probleemide tõttu. Samas on nende levikuandmed ökoloogiliselt olulise tähtsusega (Kaljo jt. 1996; Hints jt. 2010) ja vääriskid jätkamist. Küll aga jätkuvad resultatiivsed konodontide (Peep Männik, Viive Viira), skolekodontide (Olle Hints), ostrakoodide (Tõnu Meidla, Oive Tinn) uuringud, kui nimetada Ordoviitsiumi kihtidega tegelevaid mikropaleontolooge.

Kliimauuringud

Süsiniku isotoopide sisaldussuhete muutused on kasutatavad stratigraafilistel eesmärkidel, kusjuures detailsete biostratigraafiliste tõendite olemasolu osutub eriti vajalikuks mõnede paleoklimatoloogiliste rekonstruktsioonide puhul: näiteks Hilis-Ordoviitsiumi nn. Hirnatia jäätumisega seonduv (Brenchley jt. 2003; Kaljo jt. 2008; 2011; Meidla jt. 2011; jt.).

Sõltuvalt kivimite säilivusest on Alam-Paleosoikumi vanusega merelistest settekivimitest raske täpselt määrata süsinikdioksiidi taset, küll aga selle suhtelisi muutusi. Hilis-Ordoviitsiumis toimus lühike, kuid intensiivne jääaeg, mis külmhoonetingimustes kutsus esile tervete

ökosüsteemide kollapsi ning mereelustiku perekondade ca 60% väljasuremise. Globaalse andmebaasi abil uuriti kitiinikute levikut ja mitmekesisuse dünaamikat Gondwana, Laurentia ja Baltika paleokontinentide läbilõigetest ning sellest andmebaasist moodustas Baltoskandia materjal üle kolmandiku (Paris jt. 2004; Vandenbroucke jt. 2010b). Koostatud mudelid (460 Ma ja 445 Ma kohta) näitavad ürgsete kliimavööndite asendit, kusjuures lõunapolaarvöönd laienes Ordoviitsiumi lõpuks oluliselt ja vähendas parasvöötme (kus asus ka Baltika ürgmanner) biotoopide ulatust. Polaarfront nihkus vähemalt 15 laiuskraadi võrra, veetemperatuur langes ning toimus ka ulatuslik kontinentide ääremere tasemete alanemine (regressioon). Levikuandmed ja võrdlus Pleistotseeni (kuni 2 milj. a tagasi) tsüklitega näitavad, et keskmiste laiuste biotoopide reageering jäätumisele Ordoviitsiumi lõpus oli tõenäoliselt põhjuseks ühele viiest massilisest väljasuremisest Maa ajaloos. Samas viitab see ka oluliselt suuremale atmosfääri koostise ja kliima stabiilsusele ajas.

Kokkuvõtteks

Üks maailma suurimaid Ordoviitsiumi ja Siluri vanusega kitiinikute kollektsioone on kogutud Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituuti ning seda on soosinud kivistite väga hea säilivus ja uurituse tase meie aluspõhja kivimites. Seda vaatamata sellele, et võrdlus tänapäeva elustikuga pole andnud tõestatud vastust küsimusele kitiinikute kireva ja mitmekesise rühma päritolu kohta.

Seega on teadmata, õigemini, tõestamata kes need 130 miljoni aasta jooksul merede pinnakihtides elanud ja tõenäoliselt ka munenud olesed olid. Samas on need vaheldusrikka kujuga mikrokivistised osutunud väga kasulikuks mitmesuguste geoloogiliste protsesside ja sündmuste järjestuse võrdlemisel nii globaalselt kui regionaalselt. Oluline on seejuures, et kivistisi sisaldavad settekivimid pole hilisemate moondeprotsesside käigus liialt muutunud. See on meie varamu.

Kasutatud kirjandus

- Brenchley P.J., Carden G.A., Hints L., Kaljo D., Marshall J.D., Martma T., Meidla T., Nölvak J. 2003. High-resolution stable isotope stratigraphy of Upper Ordovician sequences: Constraints on the timing of bioevents and environmental changes associated with mass extinction and glaciation. *Geological Society of America Bulletin* 115 (1), 89–104.
- Combaz A. ja Poumot C. 1962. Observations sur la structure des Chitinozoaires. *Rev. Micropaleont.* 5, 147–160.
- Eisenack A. 1931. Neue Mikrofossilien des Baltischen Silurs. I. *Palaeont. Zeitschrift* 13, 74–118.

- Goldman D., Leslie S.A., Nõlvak J., Young S., Bergström S.M., Huff W.D. 2007. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Katian Stage of the Upper Ordovician series at Black Knob Ridge, Southeastern Oklahoma, USA. *Episodes* 30 (4), 258–270.
- Grahn Y. ja Nõlvak J. 2010. Swedish Ordovician Chitinozoa and biostratigraphy: a review and new data. *Palaeontographica, Abt. B* 283, 5–71.
- Hints O. ja Nõlvak J. 2006. Early Ordovician scolecodonts and chitinozoans from Tallinn, North Estonia. *Review of Palaeobotany & Palynology* 139, 189–209.
- Hints O., Delabroye A., Nõlvak J., Servais T., Uutela A., Wallin Å. 2010. Biodiversity patterns of Ordovician marine microplankton from Baltica: Comparison with other fossil groups and sea-level changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 294, 161–173.
- Jenkins W.A.M. 1967. Ordovician Chitinozoa from Shropshire. *Palaeontology* 10(3), 436–488.
- Kaljo D., Hints L., Hints O., Männik P., Martma T., Nõlvak J. 2011. Katian prelude to the Hirnantian (Late Ordovician) mass extinction: a Baltic perspective. *Geological Journal* 46, 464–477.
- Kaljo D., Hints L., Männik P., Nõlvak J. 2008. The succession of Hirnantian events based on data from Baltica: brachiopods, chitinozoans, conodonts, and carbon isotopes. *Estonian Journal of Earth Sciences* 57(4), 197–218.
- Kaljo D., Nõlvak J., Uutela A. 1996. More about Ordovician microfossil diversity patterns in the Rapla section, northern Estonia. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.* 45 (3), 131–148.
- Laufeld S. 1967. Caradocian Chitinozoa from Dalarna, Sweden. *GFF* 89, 275–349.
- Meidla T., Nõlvak J., Tinn O. 2011. Mikropaleontoloogia ja biostratigraafia rollist ning ühest tähendusrikkast leiust Eestis. *Teadusmõte Eestis (VI), Elu-ja Maateadused*. Eesti Teaduste Akadeemia, Tallinn, 97–115.
- Männil R. 1966. *Evolution of the Baltic Basin during the Ordovician*. Tallinn Valgus Publishers, 200 lk. (vene keeles)
- Männil R. 1969. Znachenije hitinozov dlya stratigrafji ordovika i silura Baltoskandyi. *Tezisy dokladov 15 sessii Vsesoyuznogo Paleontologicheskogo Obstsestva*, Leningrad, 58–63.
- Männil R. 1971. Distribution of selected Ordovician chitinozoan assemblages and species in Northern Europa and their stratigraphical evaluation. Colloque ordovicien-silurien. *Mem. Bureau Rech. Geol. Minier.* 73, 309–311.
- Männil R. 1972a. The Zonal Distribution of Ordovician Chitinozoans in the Eastern Baltic Area. *Int. Geol. Congress 24th Session, Abstracts, Canada 1972, Sect. 7, Paleont.* 569–571.
- Männil R. 1972b. Rootsi ja Baltikumi Ülem-Viru kihtide korrelatsioon kitinosoade alusel. *Eesti NSV TA Toimetised. Keemia, Geoloogia* 21(2), 137–142.(vene keeles)
- Männil R. 1986. Stratigraphy of kukersite-bearing deposits CIb-CIII. In: V. Puura (red.). *Geology of the kukersite-bearing beds of the Baltic oil shale basin*. Tallinn Valgus Publishers, 12–24. (vene keeles).
- Nestor V. 1976. Kitinosoade jaotumus Ohesaare puuraugu ülemsiluris. *Geoloogilised märkmed* 3. ENSV Teaduste Akadeemia Loodusuurijate Selts, Tallinn, 31–35.

- Nestor V. 1994. *Early Silurian chitinozoans of Estonia and North Latvia*. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 163 lk.
- Nõlvak J. 1972. Kukruse ja Idavere lademe piirikihtide iseloomustus Lipu puurprofiilis. *Loodusuurijate Seltsi Aastaraamat* 61, 39–59.
- Nõlvak J. 2010. Distribution of Ordovician chitinozoans. In: Põldvere A. (ed.). *Estonian Geological Sections. Bulletin 10. Viki Drill Core*. Geological Survey of Estonia, Tallinn, 17–18, App. 6.
- Nõlvak J. ja Grahn Y. 1993. Ordovician chitinozoan zones from Baltoscandia. *Review of Palaeobotany and Palynology* 79, 245–269.
- Nõlvak J., Grahn Y., Sturkell E.F.F. 1999. Chitinozoan biostratigraphy of the Middle Ordovician Dalby Limestone in the Fjäckå section, Siljan District, Sweden. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology* 48 (2), 75–85.
- Paris F. ja Nõlvak J. 1999. Biological interpretation and paleobiodiversity of a cryptic fossil group: the “chitinozoan animal”. *Geobios* 32 (2), 315–324.
- Paris F., Achab A., Asselin E., Chen Xiao-hong, Grahn Y., Nõlvak J., Obut O., Samuelsson J., Sennikov N., Vecoli M., Verniers J., Wang Xiao-feng, Winchester-Seeto T. 2004. Chitinozoans. In: B.D. Webby, F. Paris, M. L. Droser & I.G. Percival (eds). *The Great Ordovician Biodiversification Event*. Columbia University Press, New-York, 294–311.
- Resheniya mezhvedomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po ordoviku i siluru Vostochno-Evropejskoj platformy 1984 g s regional'nymi stratigraficheskimi skhemami*. 1987, VSEGEI, Leningrad, 17–46.
- Vandenbroucke T.R.A., Armstrong H.A., Williams M., Paris F., Sabbe K., Zalasiewicz J.A., Nõlvak J., Verniers J. 2010a. Epipelagic chitinozoan biotopes map a steep latitudinal temperature gradient for earliest Late Ordovician seas: Implications for a cooling Late Ordovician climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 294, 202–219.
- Vandenbroucke T.R.A., Armstrong H.A., Williams M., Paris F., Zalasiewicz J.A., Sabbe K., Nõlvak J., Challands T.J., Verniers J., Servais T. 2010b. Polar front shift and atmospheric CO₂ during the glacial maximum of the Early Paleozoic Icehouse. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS)* 107 (34), 14983–14986.

Jaak Nõlvak (jaak.nolvak@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086.

Tasakaalustatud ja tasakaalukas toitumine

Tagli Pitsi

Kui pistetakse põske kumm või süüakse võileiba, ei mõtle enamik inimesi sel hetkel ei oma tervise ega ammugi mitte loodusressursside kasutamise peale. Toitumise põhitõed ütlevad, et toitumine peab olema tasakaalustatud, mõõdukas, mitmekesine ning vastama vajadusele. Lisaks võib väita, et mida vähem eeltöödeldud ja pakendatud on meie toit, seda parem on see meie tervisele, kuid kindlasti ka otstarbekam looduse poolelt vaadates.

Eestis on välja antud toitumis- ja toidusoovitused (<http://www.terviseinfo.ee/et/truekised/download/285>), mida järgides on võimalik tagada endale tervis, töövõime ning hea enesetunne. Kui toitumissoovitused võivad tunduda pisut keerulised (sisaldades keerulisi mõisteid nagu oligosahhariidid, küllastunud ja trans-rasvhapped jne.), siis toidusoovitustes räägitakse väga lihtsalt lahti milliseid toidugruppe ja kui palju me vajame ning milliseid valikuid tuleks teha toidugruppide sees.

Kui tänapäeval loetakse teiseks kirjaoskuseks arvutikasutamise oskust, siis räägitakse juba ka kolmandast kirjaoskusest ehk kriitilisest ja teadlikust suhtumisest meedia poolt pakutavasse. Sinna alla võib lugeda nii toidureklaamid kui ka ajakirjanduses ilmuvad „imedieete“ propageerivad artiklid, aga miks mitte ka toidupakendi enda. Pakendite lugemise oskus on üks ütlemata kasulik asi. Kahjuks võib see lõppkokkuvõttes viia selleni, et inimene ei julgegi poest midagi osta. Siinkohal tuleb aga jällegi appi toitumise põhitõde – mitmekesisus. Mitmekesine toitumine mitte ainult ei aita meid varustada kõikide vajalike toitainetega, vaid päästab meid ka võimalike vähemsoovitavate ainete kuhjumise eest, mida toiduga on võimalik saada.

Kuidas aga erinevad ained toidu sisse saavad, nii kasulikud kui ka vähemsoovitavad? Maapind, vesi, väetamine, keskkond, töötlemine, pakendamine – kõik see mängib rolli toidu kvaliteedis ja seeläbi ka meie tervises. Seega, selleks et toituksime hästi ja tervislikult tuleks tagada ka tervislik ja ökoloogiline maakasutus ning põllumajanduslik kasvatus.

Tagli Pitsi (tagli.pitsi@gmail.com) – Tervise Arengu Instituut, Hiiu 42, Tallinn.

Pilguheit esivanemate toidulauale – kas liha-, kala- või taimesööjad?

Raili Allmäe ja Evelin Verš

Ajaloolised esivanemad ja nende eluviis on teadlasi huvitanud juba aastasadu. Lisaks materiaalse kultuuri uurimisele on viimastel aastakümnetel arheoloogias üha enam pööratud tähelepanu ka muistse inimese kui bioloogilise objekti uurimisele. On huvitav märkida, et kui enamuse arheoloogilisi ja arheobioloogilisi uurimusi tegelevad küsimusega, kuidas inimene on aegade jooksul mõjutanud tehis- ja looduskeskkonda, siis bioloogiline antropoloogia (sh. bioarheoloogia, osteoloogia jne.) otsib vastust küsimusele, kuidas on keskkond mõjutanud inimest kui bioloogilist objekti. Arheoloogiliste inimsäilmete uurimisel otsitakse vastuseid küsimustele: millised on olnud seosed inimese ja looduskeskkonna vahel, kuidas mõjutasid inimest keskkonnamuutused, ühiskondlik kord ja elatusviis ning kuidas see väljendub tema luulistest säilmetes.

Arheoloogilise luumaterjali keemiline koostis kui meie esivanemate toitumise näitaja

Muistsete ja ajalooliste populatsioonide toitumist on võimalik uurida arheoloogilise luumaterjali keemiliste analüüside abil. Esimesed katsed rekonstrueerida ajalooliste inimeste dieeti tehti 20. sajandi teisel poolel. Erinevate keemiliste elementide sisaldused ja nende omavahelised suhted võimaldavad jälgida, milline on olnud inimeste toidulaud erinevatel ajaperioodidel ja piirkondades (Geidel 1982; Gilbert 1985; Buikstra jt. 1989 jne.). Sidudes omavahel minevikuinimeste toitumisuuringud ja terviseuuringud (paleopatoloogia, paleodemograafia) saab omakorda leida seoseid inimeste toitumise, tervise ja eluea vahel. Selleks, et adekvaatselt hinnata luude keemilises koostises ilmnenu tendentse, on vaja komplekset lähenemist, mis seob ühtseks tervikuks uuringud luukoe füsioloogia ja biokeemia alal, ühiskondliku korra ja elatusviisi alal ning loomulikult ka keskkonna geokeemia alal (Bumsted 1985).

Arheoloogiliste luude keemilise koostise uurimisel on teatud eksimisvõimalused. Hästi on teada, et pinnases kaua olnud luude keemiline koostis võib olla muutunud (Bentley 2006; Price jt. 1992), seetõttu kasutatakse viimastel aastatel üha enam toitumisuuringutes hamba dentiini (Burton jt. 2003). Hambad on suures osas kaetud emailikihiga, mistõttu on hammaste dentiin paremini kaitstud väliste keemiliste mõjutuste eest. Pinnases toimuvate füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste protsesside kumulatiivset mõju luudele, mis muudab nende keemilist ja füüsikalist

koostist nimetatakse diageneesiks (Wilson ja Pollard 2002). Diageneesi mõju mõistmiseks on vaja hinnata luude ja pinnase keemilist ja mineraloogilist koostist koos matmiskeskonna geoloogiliste, klimatoloogiliste ja põhjavee omadustega (Zapata jt. 2006). Luude diageneesi kohta on küll arvukalt uurimusi, milles on püütud leida ühine skaala diageneesiprotsesside hindamiseks (Hedges jt. 1995 jne.), kuid siiski on jõutud tõdemuseni, et iga luu ja luustiku diagenees on väga eripärane ja konkreetsest keskkonnast sõltuv. Seda isegi sama matmispaiga piires; kusjuures oluline roll on varastel tafonoomilistel faktoritel ehk kuidas luud on enne matmist käsitletud ning pinnase pH tasemel (Smith jt. 2007; Nielsen-Marsh jt. 2007).

Tähelepanelik tuleb olla ka proovide võtmisel, sest erinevad luud ja isegi sama luu erinevad osad võivad erineda keemiliste elementide kontsentratsioonist poolest (Pollard jt. 2007). Samuti on teada, et luude plinkollus uueneb aegasemalt ja on oma kompaktse struktuuri poolest inertsem väliskekskonna mõjudele (Grupe 1988; Ezzo 1994a), mistõttu peaks proovivõtul alati eelistama pikkade toruluude diafüüse roiete ja lameluudele, sest viimastes on reostumise suhtes tundlikku käsnollust rohkem.

Keemilised elemendid, mida sagedamini määratakse arheoloogilistest luudest eesmärgiga rekonstrueerida minevikuinimese dieeti ja keskkonnamõju on: Ca, P, Ba, Ca, As, Mg, Sr, Al, Zn, Mn, Cu, V, Cd, Cr ja Pb ning uuritakse ka nende omavahelisi suhteid.

Materjali päritolu – luud Tääksi ja Pärnu kesk-ja uusaegsetelt kalmistutelt

Arheoloogilistest luumaterjalidest valiti keemiliste elementide sisalduse määramiseks kaks seeriat: (1) 14.–18. sajandi Tääksi külakalmistu luustikud (Viljandi maakond, Suure-Jaani vald) ja (2) 16.–18. sajandi Pärnu linna Jaani kiriku kalmistu luustikud. Tääksi külakalmistule mattis kohalik kogukond, Pärnu Jaani kiriku kalmistu ajalugu on keerulisem. Pärnu Jaani kiriku kalmistu rajati 16./17. sajandi vahetusel ja esialgu maeti sinna luterliku koguduse liikmeid. Alates 1617. aastast hakati kalmistule matma ka Pärnu garnisoni sõdureid ja nende pereliikmeid; 1714. aastal anti matmispaik Vene garnisonile ning 1750. aastal jäeti kalmistu juba maha. Tääksi skeletiseeriast valiti keemilisteks analüüsideks 28 täiskasvanu skeletti (14 naise ja 14 mehe) ja Pärnu omast 31 (18 meest ja 13 naist).

Tääksi ja Pärnu luulise materjali keemilises koostises eeldatakse erinevusi, mis võiksid iseloomustada kahe erineva piirkonna ja erineva staatusega kogukonna toitumist. Mõlemaid skeletiseeriaid on viimastel aastatel uuritud erinevate füüsilise antropoloogia meetoditega (Allmäe ja

Limbo 2008; Allmäe 2009; Limbo 2009; Allmäe ja Limbo 2010), mistõttu on teada maetute vanus ja sugu. Oluline on märkida, et käesolev uurimus on alles esialgses faasis, kus hinnatakse meetodi sobivust ja kavandatakse metodoloogilisi täiendusi, mistõttu ei keskenduta võimalike diagenetiliste muutuste uurimisele.

Metoodika

Luuproovid võeti puurimise teel reeglina skeleti parema sääreluu proksimaalsest otsast. Pindmine luukiht puuriti maha enne, kui koguti proovimaterjal analüüsimiseks. Proove ei võetud luudest, millel olid ilmselged pronksesemete jäljed.

Edasi materjal pulbristati ning võeti 300 mg proovikogust, mis asetati mikrolaineahju proovianumasse. Anumasse lisati kontsentreeritud ultrapuhtad happed (Fluka Analytical, Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Saksamaa): 4 ml 69-70% HNO₃ (puhtusastmega TraceSELECT®) ja 2 ml 30% H₂O₂ (puhtusastmega TraceSELECT® Ultra).

Kõik proovid masindati mikrolaineahjuga MW3000 (Anton Paar, Saksamaa), kasutades rootorit 16HF100, mis on mõeldud raskesti lahustuvate proovide (geoloogilised proovid, metallid, sulamid, klaas, kvarts, saastatud pinnas) lahustamiseks, kuna võimaldab kasutada mõnevõrra kõrgemat rõhku (max 70 bar) ja temperatuuri (max 240°C) võrreldes teiste analoogsete rootorigega. Kõik masindamised tehti kasutades ühesuguseid võimsuse ja ajalise kestvuse parameetreid (kuumutades proove 45 minutit võimsusega 1400 W, mil temperatuur jõudis ca 125°C-ni ja rõhk 40 bar-ini). Peale masindamist vabastati reaktsioonituubid liigse surve alt (keerati korkide rõhu-avad lahti) ning lasti mõnda aega jahtuda. Proovid valati tsentrifuugi topsidesse ning lahjendati ultrapuhta MilliQ veega koguseni 50 ml.

Proovide mikro- ja makroelementide sisaldused saadud lahuses mõõdeti induktiivplasma massispektromeetriga (ThermoScientific X-Series 2 kvadrupool-ICP-MS), mis oli ühendatud proovide automaatse sisestajaga Cetac AutoSampler ASX-520. Mõõtestandardina kasutati rahvusvahelist standardit NIST-SRM 1486 (looma luujahu) ja mitmeelemendilist vedelikstandardit Multi Element Solution 2 (SPEX CertiPrep, Inc.) 5% HNO₃ maatriksis, millele oli lisatud elavhõbeda vedelikstandard 10% HNO₃ maatriksis (SPEX CertiPrep, Inc.). Sisestandardina kasutati 10 ppb-st reenumi vedelikstandardit. Igat proovi mõõdeti kolm korda, millest võeti statistiliselt keskmine tulemus. Proovide tulemuste kalibreerimine tehti täiskvantitatiivse analüüsi järgi, kus võeti kolme erineva kontsentratsiooniga standardi mõõdetud lineaarne korrelatsioon alguspunktina läbi mõõdetud „blank’i“. Blankina kasutati ultrapuhas 2%-st HNO₃.

Võetud luuproovides määrati järgmiste keemiliste elementide sisaldus: V, Mn, Cu, Zn, Sr, Ba ja Pb.

Liha ja kala meie esivanemate toidulaual

Liha esinemist toidulaual näitab eelkõige kõrgem Zn ja Cu sisaldus inimluudes (Geidel 1982; Gilbert 1985; Buikstra jt. 1989, Smrčka 2005).

Peamised tsinki (Zn) sisaldavad toiduained on mereannid, loomaliha ja -maks, kala, muna, piim ja piimatooted, kaunviljad, idandid, seemned, täisteraviljatooted ja pärm. Tsink on oluline mikroelement, kuigi tema imendumine, transport ja biokeemiline käitumine organismis on keerukad, võib väita, et organism, mis kasutab toiduks rohkem loomset toitu sisaldab alati rohkem Zn. Seda kinnitavad karni- ja herbivooride (liha- ja taimetoiduliste) luude Zn sisalduse võrdlevad uuringud (Gilbert 1985; Klepinger 1993). Tsingi sisaldused varieeruvad 100 ppm-st herbivooride luudes kuni 250 ppm-ni karnivooride luudes (Beck 1985). Põhimõtteliselt, mida kõrgemal tasemel toitumispüramiidis on loom, seda suurem on tema luude Zn sisaldus ja seda väiksem Sr sisaldus. Kui madalad Zn sisaldused langevad kokku kõrgema Sr sisaldusega, võib oletada, et kogukonna toidulaual oli vähem liha (Edward ja Benfer 1993). Huvitav on märkida, et Zn sisaldus kasvab naiste luudes vanusega, meestel aga kahaneb (Magee jt. 1994; Benfer 1995). Tääksi eakamate naiste luudes olid kohati üllatavalt kõrged Zn sisaldused, mis omakorda kergitab ka Tääksi naiste keskmise tsingisisalduse väärtust (tabel 1): meestel keskmine 71,1 ja naistel 91,5 ppm. Pärnu kogukonna luude tsingisisaldus oli oluliselt kõrgem: meestel 150,6 ja naistel 142,4 ppm, mis viitab liha ja mereandide suuremale osatähtsusele Pärnu kogukonna toidulaual.

Peamised vaske (Cu) sisaldavad toiduaned on maks, punane liha, kalaliha, oad, herned, täisteraviljatooted, pähklid. Karnivooride organismis on alati rohkem vaske kui herbivooride omas (Gilbert 1985). Vase sisaldus Pärnu luudes on keskmiselt 14,1 ppm, Tääksi omades 0,9 ppm (tabel 1). Tääksi naiste luudes oli Cu sisaldus suurem kui meestel (vastavalt 1,6 ja 0,2 ppm; tabel 2). Pärnu meeste ja naiste sisaldused olid sarnased (~14 ppm), kuid pea kümme korda kõrgemad Tääksiiga võrreldes. Vase suhteliselt kõrgem tase luudes (eriti koos tsingi ja vanaadiumiga) võib viidata suuremale liha osakaalule dieedis (Buikstra jt. 1989).

Kui luudest määratud Zn ja Cu väärtused on kõrgemad, siis reeglina on ka vanaadiumi (V) sisaldus suurem, sest V sisaldub loomses rasvas (Buikstra jt. 1989). Vanaadiumi kohta on kirjanduses vastukäivaid andmeid, kuna vanaadiumit seostatakse ka taimetoiduga (Geidel 1982). Vanaadiumi kõrged sisaldused on näiteks ka värskes köögiviljas nagu

Tabel 1. Tääksi ja Pärnu arheoloogiliste luude keemiline koostis.

Element		44Ca	88Sr	137Ba	66Zn	65Cu	55Mn	Ba/Sr	Log Ba/Sr	51V	208Pb
		%	%	ppm	ppm	ppm	ppm			ppm	ppm
Tääksi N=28	Keskmine	22,7	73,6	22,8	81,9	0,9	57,5	32,1	-0,51	1,4	1,3
	Min	16,2	51,7	4,8	52,0	-1,1	6,4	6,6		0,4	0,1
	Max	27,5	94,5	52,0	169,3	3,9	257,4	94,3		4,4	3,5
	STD	2,6	11,2	12,8	29,8	1,3	65,0	20,3		0,9	0,8
	Mediaan	22,8	73,6	18,0	75,4	0,8	34,0	24,9		1,0	1,2
Pärnu N=31	Keskmine	24,6	133,7	15,8	141,8	14,1	185,5	12,0	-0,93	11,5	10,7
	Min	16,8	89,7	5,8	96,8	2,7	4,2	2,7		2,1	0,7
	Max	29,5	212,9	51,7	265,0	55,8	722,6	35,8		39,9	49,5
	STD	3,4	27,2	8,3	50,4	12,6	204,5	5,7		7,9	12,7
	Mediaan	25,9	132,9	15,4	127,2	9,4	93,7	11,3		8,9	6,1

Tabel 2. Selekteeritud keemiliste elementide keskmised väärtused (ppm) Eesti ja Läti arheoloogilistes luudes.

Seeria	Täaksi	n= 28	Pärnu	n= 31	Veselava*	n= 36	Jurkalne*	n= 12	St Peters*	n= 39
Sugu	mehed (14) naised (14)		mehed (18) naised (13)		mehed (22) naised (14)		mehed (8) naised (4)		mehed (19) naised (20)	
Element										
Zn	71,1	91,5	150,6	142,4	117,0	104,0	114,0	109,0	170,0	157,0
Sr	73,8	73,4	139,4	125,9	78,0	83,0	83,0	108,0	109,0	122,0
Cu	0,2	1,6	14,4	13,7	2,0	1,8	2,3	2,1	27,0	54,0
Mn	28,1	87,0	166,3	212,0	107,0	114,0	49,0	56,0	63,0	121,0
Ba	14,6	31,1	17,8	13,1	21,0	24,0	21,0	28,0	15,0	17,0
Ba/Sr	20,3	43,9	12,7	11,1	26,9	28,9	25,3	25,9	13,8	13,9
Log Ba/Sr	-0,70	-0,37	-0,89	-0,98	-0,57	-0,54	-0,60	-0,59	-0,86	-0,86

*Veselava (Cēsise piirkond, Põhja-Läti, 14.–17. saj.), Jurkalne (Liepāja piirkond, Lääne-Läti, 16.–17. saj.) ja St. Peters (mereäärne Riia linn, 13.–17. saj.) andmed pärinevad Rudovica jt. 2009.

petersell, till, redis, salat, kurk ja marjades nagu maasikad ning rasvases kalas ja kala maksas (Söremark 2011).

Tääksi luudes on vanaadiumi kontsentratsioon keskmiselt 1,36 ppm, Pärnu luudes ligi 10 korda rohkem – keskmiselt 11,5 ppm (tabel 1). Põhjuseks võib olla Pärnu kogukonna mitmekesisem menüü, mis sisaldas tõenäoliselt värsket köögivilja, marju ja rasvast kala.

Taimsete toitude osakaal meie esivanemate toidulaual

Taimsete toitude osakaalu toidulaual tähistavad kõrgemad elementide strontsium (Sr), baarium (Ba) ja mangaan (Mn) sisaldused (Geidel 1982; Gilbert 1985; Smrčka 2005); mõnigatel andmetel ka vanaadium (Geidel 1982). Mangaani sisaldus luudes on hea indikaator taimse toidu osakaalu hindamiseks (Smrčka 2005). Samas sõltub mangaanisisaldus taimedes pinnasest, millel nad on kasvanud. Mangaani ei leidu peaaegu üldse loomaja kanalihas, kalas, piimas ning piimatoodetes, rohkesti sisaldub seda aga teraviljas, eriti nisuidudes, täisteraleivas, pähklites ja kaeras.

Tääksi luudes oli keskmine Mn sisaldus 57,5 ppm (tabel 1); naistel kõrgem (87,0 ppm) kui meestel (28,1 ppm; tabel 2). Pärnu luudes oli sisaldus aga keskmiselt kolm korda kõrgem (185,5 ppm), sh. meeste keskmine näitaja (166,3 ppm) oli neljandiku võrra madalam kui naistel (212,0 ppm). Mangaani sisalduse suur varieeruvus nii Tääksi (6–257 ppm) kui Pärnu materjalis (4–723 ppm; tabel 1) viib mõttele, et ehk on luude kohati ekstreemselt kõrged väärtused seotud hilisemate, surmajärgselt toimunud keemiliste protsessidega. Arheoloogiliste luude surmajärgset reostust Sr, Mn ja Pb ioonidega on täheldatud varemgi (Zapata jt. 2006).

99% organismis leiduvast strontsiumist on luude anorgaanilises koostises (Avioli 1988). Oma struktuurilt on Sr sarnane kaltsiumile ja võib seda asendada luude anorgaanilises osas – hüdroksüapatiidis. Teadaolevalt ei ole Sr-l inimorganismis kindlat füsioloogilist rolli ja organism töötleb seda sarnaselt kaltsiumile. Sr/Ca suhe toiduahelas kahaneb: mida lähemal toiduahela tipule on organism, seda väiksem Sr/Ca suhe. Herbivooride organismis on Sr/Ca suhe väiksem kui taimedes, mida nad söövad, ja karnivooridel Sr/Ca madalam kui herbivooridel, keda nemad söövad (Ezzo 1994b). Sr kontsentratsioonid on suuremad merevees ja ka merelises toidus, kuid samas on strontsiumirikkad ka karbonaatsetel muldadel kasvanud taimed (Leach jt. 2003). Strontsiumi on suhteliselt palju vürtsides, teraviljades, rohelistes köögiviljades, mereandides, juurviljades, ubades, hernestes, läätsedes.

Sr sisaldus oli Tääksi luudes keskmiselt 73,6 ppm (tabel 1), meeste ja naiste luudes peaaegu võrdne – vastavalt 73,8 ja 73,4 ppm (tabel 2). Pärnu luude keskmine Sr sisaldus oli ligi kaks korda suurem (139,4 ppm). Pärnu

meeste ja naiste luude Sr sisaldused olid vastavalt 139,4 ja 125,9 ppm. Suhteliselt kõrgem strontsiumi sisaldus Pärnu luudes võrreldes Tääksiga võib olla tingitud sellest, et nende toidudalual oli suhteliselt rohkem mereande ja karbonaatsetel muldadel kasvanud teravilja. Mõlemad põhjustavad luudes kõrgemaid Sr väärtusi (tabel 3). Samuti ei saa välistada matmisjärgseid diagenetilisi põhjuseid (Zapata jt. 2006).

Tabel 3. Sr, Ba ja Zn suhtelised sisaldused (Pate 1994).

Element	Sr	Ba	Zn
Herbivoor (taimetoiduline)	Kõrge	Kõrge	Madal
Omnivoor (segatoiduline)	Keskmine	Keskmine	Keskmine
Karnivoor (lihatoiduline)	Madal	Madal	Kõrge
Mereline	Kõrge	Madal	
Maismaa	Madal	Kõrge	

Erinevalt strontsiumist leidub baariumi merevees väga vähe (Pate 1994). Baariumi leidub looduslikult teraviljades, kartulis, piimas, samuti vetikates ning kalades. Kõrgemaid baariumisisaldusi luudes seostatakse taimse toiduga (Smrčka 2005).

Ba sisalduselt on Tääksi meeste, Pärnu meeste ja naiste luud üsna sarnased (vastavalt 14,6; 17,8 ja 13,1 ppm; tabel 2). Kõrgem on Ba sisaldus Tääksi naiste luudes (31,1 pm), mis viitab taimetoidu suuremale osakaalule dieedis.

Log Ba/Sr – sisemaalt või rannikualalt pärit toiduained

Rannikualadel on organismide Sr sisaldused kõrged, samas kui Ba sisaldused on madalad. Seega, valdavalt merelise toitumisega indiviidide luudes on Ba/Sr suhe väga madal, vaatamata sellele, kas Ba pärineb taimsest või loomset allikast (Pearsall 1989). Kui toidulauale lisandub sisemaalt pärit toiduaineid, kasvab Ba/Sr suhe kiiresti, kuna Ba sisaldused on sisemaal kasvatatud toidus alati suuremad. Burton ja Price (1990) soovitasid merelise (rannikupiirkonna põllumajandus ja mereline proteiin) ja maismaalise (sisemaa põllumajandus ja maismaa proteiin) toitumise eristamiseks kasutada Ba ja Sr logaritmilist suhet (log Ba/Sr). Log Ba/Sr väärtused alla -1,40 viitavad sellele, et kogukonna dieet põhineb peamiselt merelisel toidul. Log Ba/Sr väärtused, mis on võrdsed või kõrgemad kui -1,40 näitavad, et kogukond tarbis peamiselt sisemaalt pärit toiduaineid.

Log Ba/Sr on Tääksi küla elanike luudes ligi kaks korda madalam (-0,51; tabel 1) kui Pärnu linna elanike omades (-0,93). See viitab sellele, et Pärnu linna elanike menüü oli küll segatud, sisaldades nii sisemaa kui merelise päritoluga toitu, kuid võrreldes Tääksi külaga tarbiti Pärnus siiski

suhteliselt rohkem merelise päritoluga toitu. Kõige madalm on log Ba/Sr (-0,37; tabel 2) Tääksi naiste luudes, mis näitab, et nad tarbisid valdavalt taimset ja sisemaalt pärit toitu.

Plii kui keskkonnamõju näitaja

Plii (Pb) ei oma toitumuslikult olulist rolli, pigem on inimorganismile kahjulik, kuid Pb sisaldus luudes võib viidata ümbritseva keskkonna mõjule. Keskaegsetes ja varauusaegsetes linnades elanud inimeste luudes on Pb tavaliselt rohkem. Plii on seotud konkreetselt väliskeskkonna mõjudega, pliid sisaldava glasuuriga kaetud nõude kasutamisega või siis pliid sisaldavatest veetorudest tuleva joogiveega. (Smrčka 2005; Celminš 1998). Ei saa välistada ka Pärnu linna luude surmajärgset reostust Pb ioonidega, kuna seda on arheoloogiliste materjalide puhul leitud ka varem (Zapata jt. 2006). Tääksi külast pärit luudes on Pb sisaldus 1,34, Pärnu linna luudes 10,7 ppm (tabel 1).

Tulemused Läti toitumisuuringute taustal

Läti 13.–17. sajandi maa ja linnapopulatsioonide võrdlev toitumisuuring näitas, et Pb, Sr, Zn ja Cu kõrgemad sisaldused luudes on iseloomulikud linnapopulatsioonile (Rudovica jt. 2009). Sama trendi näitab ka Eesti 14.–18. sajandi materjali analüüs, kus Pärnu linnast pärit luumaterjalid on Pb, Sr, Zn ja Cu tasemed kõrgemad kui Tääksi küla omad (tabel 1). Riia St. Petersi ja Pärnu Jaani kirikaia skeletid kuuluvad keskmisest kõrgema staatusega inimestele, kes said endale tõenäoliselt lubada mitmekesisemat ja paremat toidulauda, kus lihatoidul oli suurem osakaal. Mangaanisisaldus on reeglina suurem naiste luudes ning seda näitavad nii uuritud Läti kui ka Eesti materjalid (tabel 2). Kõrgem mangaanisisaldus viitab teraviljatoitude suuremale osakaalule naiste toidus. Log Ba/Sr on madalam mereäärsetes linnades (Pärnu ja Riia) elanud inimeste luudes, sest strontsiumi sisaldused on olnud toiduks kasutatavates taimedes ja loomades suuremad. Kõrgemad Sr ja Zn sisaldused luudes üheaegselt, nagu Riia ja Pärnu, kõnelevad sellest, et Sr on seotud merelise toidu ja Zn lihatoidu suurema osakaaluga nende populatsioonide toidulaual. Pliisisaldus luudes on pigem keskkonnamõju näitaja kui toidu koostise indikaator. Üheltpoolt võivad pliisisalduse kõrgemad väärtused Riia ja Pärnu luudes (tabel 2) olla põhjustatud kasutatavast joogiveest, mis jõudis inimesteni läbi pliid sisaldava torustiku või koos toiduga, kui kasutatavad nõud olid kaetud pliid sisaldava glasuuriga. ei saa välistada linnakalmistute luude hilisemat reostumist plii-oonidega.

Kokkuvõte

Käesolev töö on Eestis esimene katsetus ICP-MS meetodil määrata arheoloogilistest inimluudest keemilisi elemente eesmärgiga hinnata mineviku kogukondade menüü võimalikku koostist. Esialgsed tulemused näitavad vaid üldiseid trende keemiliste elementide sisalduses sisemaa ja ranniku, küla ja linna ning kõrgema ja madalama sotsiaalse staatusega kogukondade vahel. Materjal ja uuringu esialgsed tulemused väärivad kindlasti põhjalikumat käsitlust, sh asjakohaseid statistilisi analüüse ja luude võimaliku diageneesi täpsustamist.

Esialgsete tulemuste põhjal võib öelda, et Pärnu garnisoni kalmistule matnud kogukonna toidulaud sisaldas rohkem liha ja mereande. Pärnu garnisoni ja Riia St. Petersi kiriku kalmistutele matnud populatsioonide vahel on teatud sarnaseid toitumisindikaatoreid Näiteks on log Ba/Sr suhteliselt madal viidates merelise toidu suuremale osakaalule võrreldes Läti ja Eesti külakogukondadega. Samuti on Riia ja Pärnu linna arheoloogilistes luudes kõrgemad Zn ja Cu väärtused, mis on liha ja mereandide sisalduse osakaalu näitajad toidus.

Kasutatud kirjandus

- Allmäe R., Limbo J. 2008. 16.–18. sajandi Pärnu garnisoni kalmistule maetute antropoloogiast. *Pärnumaa 1. köide. Loodus. Aeg. Inimene*; 369–387. Eesti Entsüklopeediakirjastus.
- Allmäe R. 2009. Composition of urban population of Pärnu in the 16th-18th centuries. *Papers on Anthropology XVIII*, 38–48.
- Allmäe R. ja Limbo J. 2010. Skeletal stress-markers in the Early Modern town of Pärnu, Estonia. *Papers on Anthropology XIX*, 29–48.
- Avioli L.V. 1988. Calcium and Phosphorus. In: *Modern Nutrition in Health and Disease*, 7th ed., edited by M. E. Shils and V. R. Young, pp. 142–158. Lea and Febiger, Philadelphia.
- Beck L.A. 1985 Bivariate Analysis of Trace Elements in Bone. *Journal of Human Evolution* 14, 493–502.
- Benfer R. 1995 Age of Pregnancies and Age of Weaning from Prehistoric Bone: Are Sr and Zn Indicators? *American Journal of Physical Anthropology*, Supplement 20, 89–90.
- Bentley R.A. 2006. Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review. *Journal of Archaeological Method and Theory* 13, 135–187.
- Buikstra J.E., Frankenberg S., Lambert J.P., Xue L.A. 1989. Multiple elements: Multiple expectations. In (ed. Price T.D.): *The Chemistry of Prehistoric Human bone*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bumsted M.P. 1985. Past human behavior from bone chemical analysis. Respects and prospects. *Journal of Human Evolution* 14 (5), 539–551.

- Burton J.H., Price T.D. 1990 The ratio of barium to strontium as a paleodietary indicator of consumption of marine resources. Original Research Article. *Journal of Archaeological Science* 17 (5), 547–557.
- Burton J.H., Price T.D., Cahue L., Wright L.E. 2003. The use of barium and strontium abundances in human skeletal tissues to determine their geographic origins. *International Journal of Osteoarchaeology, Special Issue: Bone Chemistry* 13 (1–2), 88–95.
- Celminš A. 1998. *Zemē apslēptā pilsēta*. Rīga. Dizaina un drukas apgāds.
- Edward J., Benfer R. A. 1993 The Effects of Diagenesis on the Paloma Skeletal Material. In Sanford, Mary K. (ed.); *Investigations of Ancient Human Tissue: Chemical Analyses in Anthropology*. Philadelphia: Gordon and Breach, 183–268.
- Ezzo J.A. 1994a. Putting the “chemistry” back into archaeological bone chemistry analysis: modeling potential paleodietary indicators. *J. Anthropol. Archaeol.* 13, 1–34.
- Ezzo J.A. 1994b. Zinc as a Paleodietary Indicator: *An Issue of Theoretical Validity in Bone-Chemistry Analysis American Antiquity* 59 (4) (Oct., 1994), 606–621.
- Geidel A.A. 1982. Trace elements studies for Mississippian skeletal remains: Findings from neutron activation analysis. *MASCA Journal* 2, 13–16.
- Gilbert R.I. 1985. Stress, paleonutrition and trace elements. In: Gilbert, R.I. & Milke, J.H. (eds) *The analysis of prehistoric diets*. Academic Press, 339–357.
- Grupe G. 1988. Impact of the choice of bone samples on trace element data in excavated human skeletons. *Journal of Archaeological Science* 15 (2), 123–129
- Hedges R.E.M., Millard A.R., Pike A.W.G. 1995. Measurements and relationships of diagenetic alteration of bone from three archaeological sites. *Journal of Archaeological Science* 22, 201–9.
- Klepinger L.L. 1993. Culture, health and chemistry: a technological approach to discovery. In: Sanford MK, editor. *Investigations of ancient human tissue*. Gordon and Breach Science Publisher; 167–80.
- Leach F., Quinn C.J., Morrison J., Lyon G. 2003. The use of multiple isotope signatures in reconstructing prehistoric human diet from archaeological bone from the Pacific and New Zealand. *New Zealand Journal of Archaeology* 23, 31–98.
- Limbo J. 2009. Dental pathologies and linear enamel hypoplasia in Pärnu St. John's church cemetery (16th–18th) skeletons. *Papers on Anthropology* XVIII, 234–249.
- Magee B.J., Sheridan S.G., Van Gerven D.P., Greene D.L. 1994. Elemental analysis of Mesolithic bone from Wadi Halfa: A diagenetic and dietary investigation of permineralized human remains. Denver CO, March 30–April 2. *Amer. Journal of Physical Anthropology*, Supplement 18:134.
- Nielsen-Marsh C.M., Smith C.I., Jans M.M.E., Nord A., Kars H. , Collins M.J. 2007. Bone diagenesis in the European Holocene II: taphonomic and environmental considerations. *Journal of Archaeological Science* 34, 1523–1531.
- Pate D.F. 1994. Bone chemistry and paleodiet. *Journal of Archaeological Method and Theory* 1, 161–209.

- Pearsall D.M. 1989. *Paleoethnobotany: A Handbook of Procedures*. Academic Press.
- Pollard M., Batt C., Stern B., Young S.M.M. 2007. *Analytical chemistry in archaeology*. New York. Cambridge University Press.
- Price T.D, Blitz J., Burton J., Ezzo J.A. 1992. Diagenesis in prehistoric bone: Problems and solutions. *Journal of Archaeological Science* 19 (5), 513–529.
- Rudovica V., Viksna A., Katkevich J., Zarina G. 2009. Some aspects of diet of the 13th –17th century population of Latvia. *Papers on Anthropology* XVIII, 328–338.
- Smith C.I., Nielsen-Marsh C.M., Jans M.M.E, Collins M.J. 2007. Bone diagenesis in the European Holocene I: patterns and mechanisms. *Journal of Archaeological Science* 34, 1485–1493.
- Smrčka V. 2005. *Trace elements in bone tissue*. Prague. The Karolinum Press.
- Söremark R. 06.09.2011. *Vanadium in Some Biological Specimens.* Downloaded from jn.nutrition.org by guest on September 6, 2011. <http://jn.nutrition.org/content/92/2/183.full.pdf>
- Zapata J., Pérez-Sirvent C., Martínez-Sánchez M.J., Tovar P. 2006. Diagenesis, not biogenesis: Two late Roman skeletal examples. *Science of the Total Environment* 369, 357–368.
- Wilson L, Pollard M. 2002. Here today, gone tomorrow? Integrated experimentation and geochemical modeling in studies of archaeological diagenetic change. *Acc. Chem. Res.* 35, 644–51.

Raili Allmäe (raili11@mail.ee) – Tallinna Ülikool, Ajaloo Instituut, Rüütli 6, 10130 Tallinn.

Evelin Verš (Evelin.versh@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikool, Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Vulkaani makett kohvi kõrvale – maitsev ja hariv

Heidi Soosalu

Pärast suurt pingutust, kui olin oma doktoritöö kaitsnud, oli aeg seda eluetappi peoga tähistada. Kuna mu uuringu teemaks oli Islandi vulkaan Hekla ja selle seismiline aktiivsus seoses 1991. aasta purskega, arvasin, et võiks peolauale midagi asjakohast välja mõelda. Üheks kõige olulisemaks allikaks oli mul Gudmundsson jt. (1992) artikkel koos selge kaardiga 1991. aasta laavavooludest. Mul tekkis idee, et võiks selle kaardi järgi „maketi“ – Hekla kujulise koogi – valmistada ja magustoiduna serveerida.

Toon siin näitena sellesama Hekla (LISA joonis 1) koogi, sellisena nagu ta nägi välja 1991. aasta purske tagajärjel (joonis 2). Samasuguse koogi võib aga valmistada mistahes vulkaani eeskujul. Harimise mõttes püüdsin ise võimalikult täpselt tegelikkust ja geoloogiat siduda. Muidugi võib ideed ja retsepti ka vabamalt järgida – ning loomulikult enda kujutlusvõimet kasutada!

Põhimaterjaliks on ahjuplaadil küpsetatud biskviitpõhi, mida on lihtne ja kiire teha. Retsepti võib soovi korral muuta. Näiteks võib lisada taigasse kakaod, kui tahetakse rõhutada, et tegemist on tumedavärvilise basaltkivimiga. Heledat värvi biskviit imiteerib keemiliselt koostiselt happelisemat materjali.

Biskviit

Koostiosad: munad, suhkur, vaniljesuhkur, nisu- ja kartulijahu (pool ja pool kogusest, võib kasutada ka vaid emba-kumba), küpsetuspulber, (kakao, maitseaineks sidrunimahl).

Muna–suhkur–jahu ühe ahjuplaadi jaoks 1 klaas kõiki kolme, 1 tl. küpsetuspulbrit, 2 tl. vanillisuhkrut. Kloppida muna vahule, lisada suhkur + vaniljesuhkur ja vahustada edasi, kuni segu on värvuselt valge. Lisada ettevaatlikult jahu + küpsetuspulber, võib lisada ka 2 tl. sidrunimahla. Võib maitsestada 4-5 spl. kakaoga. Küpsetada laial ja madalal ahjuplaadil 180 kraadi juures ~10 min.

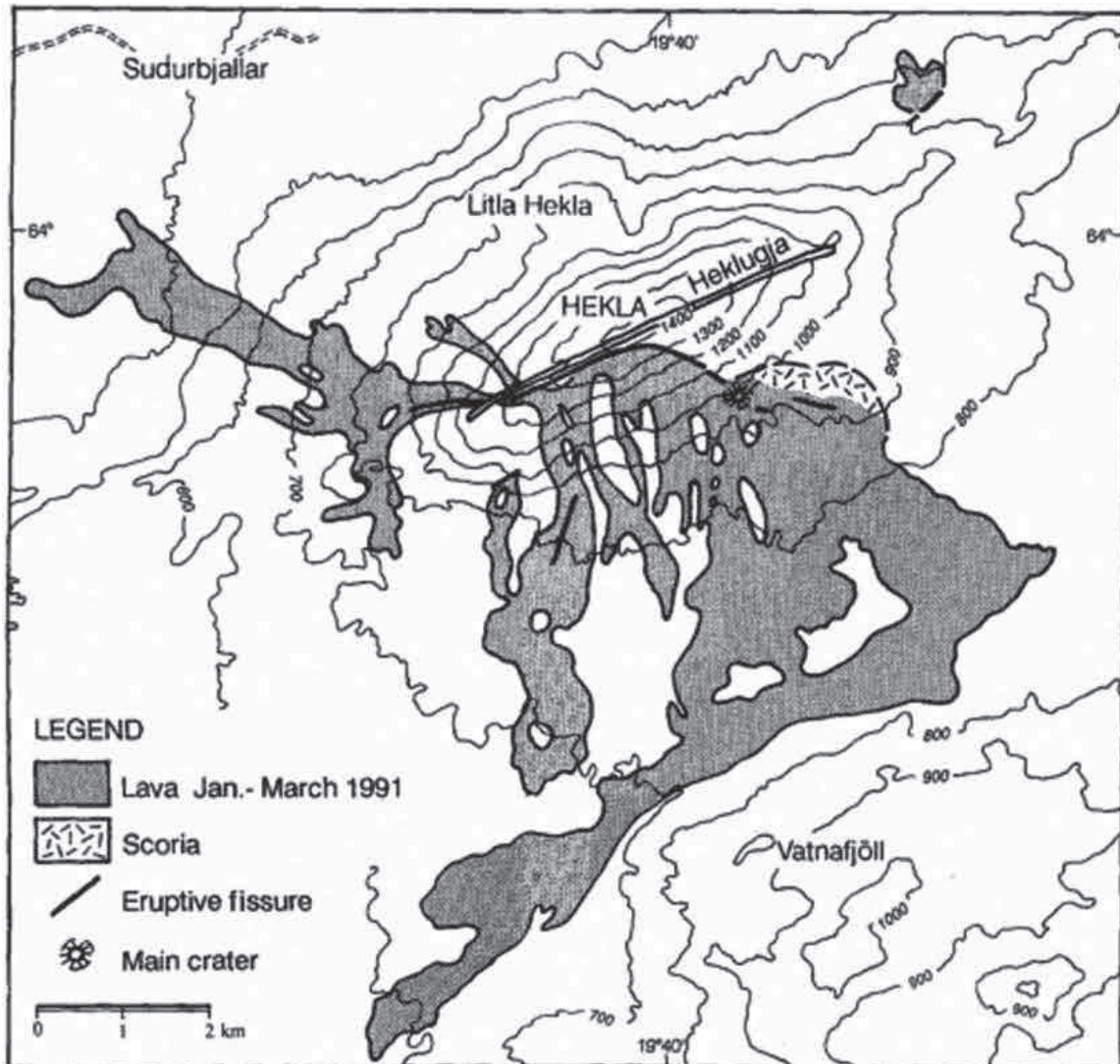
Selleks et hinnata, mitu biskviitpõhja vaja läheb, võib paberist lõigata vulkaani kõrguskontuuride kujulised tükid sellises mõõtkavas, nagu kavatsetakse makett teha.

Hekla makett

Koostisosad lisaks biskviidile: marjamoos, heledat värvi mahl (õuna-, sidruni- vms.), kakaopulber, valmis šokolaadikaste või tuhksuhkur/šoko-

laad/kakao vms. kastme jaoks, vahukoor/kohupiimakreem/hapukoorekreem vms.

Varuda piisavalt suur alus, mille peale makett ehitada. Lõigata jahtunud biskviit erisuurusteks tükkideks Hekla kõrguskontuuride järgi (juhiseks on siin joonis 2). Kuna Hekla on kihtvulkaan (vahelduvad laava ja tahkes olekus pursanud tefra kihid), on koogi kihiline ehitus tegelikkusega analoogiline. Vaheldumisi võib panna vanilli- ja kakaobiskviidi kihte ning vahele marjamoosi.



Joonis 2. Islandi vulkaani Hekla reljeef, 1991. a. purskel tekkinud laavavoolud ning purskelõhed (*eruptive fissure*) (Gudmundsson jt. 1992). Märkitud on ka vulkaani tippu läbiv lõhe, Heklugja, ning peakraater ja vulkaaniline räbu (*scoria*). Kõrguskontuurid on 100 m vahemaaga.

Vulkaani makett ehitada kihtide kaupa kaardi kontuure jälgides. Hea on biskviidi kihte natuke heledavärvilise mahlaga niisutada. Kuna Hekla 1991. aasta purse toimus talvel (jaanuarist märtsini), siis oli maastik kaetud

lumega. Sellepärast on asjakohane katta ka terve Hekla makett “lumega”, milleks võib olla näiteks vahukoor või kohupiimakreem. Panna tähele, et „lume“ konsistents oleks selline, mis vulkaani nõlvadel püsiks.

Purskelõhed (*eruptive fissure*) teha terava noaga umbes 1 cm sügavusteks. Neid võib teha ka nähtavamaks raputades lõhe sisse pisut kakaopulbrit. Laavavoolude tegemiseks kasutada kas valmis šokolaadikastet või teha segu kakaost, tuhksuhkrust, sulatatud šokolaadist vms. Pritsida laavavoolud nõlvadele nii, nagu kaardil on märgitud.

Hekla purskel oli üks aktiivne peakraater. Kui šokolaadikaste on juba tardunud, torgata kraatri tegemiseks sellele kohale puhta sõrmega auk. Kaardi peal on näha, et kraatri juures leidub tefrat ehk tahkes olekus pursanud materjali (*scoria*). Selle näitlikustamiseks võiks puistata kraatri lähedusse kakaopulbrit.

Seejärel on makett valmis geoloogiliste läbilõigete tegemiseks ja kihtide uuringuks ehk söömiseks. Kui võimalik, teha kook valmis paar tundi varem ja lasta jahedas seista. Harimise eesmärgil on hea tuua makett nähtavale piisavalt vara, et peolistel oleks võimalik tehtut vaadelda ja geoloogilise ehituse üle aru pidada enne, kui see ära süüakse – hävitatakse.

Kasutatud kirjandus

Gudmundsson A., Oskarsson N., Gronvold K., Saemundsson K., Sigurdsson O., Stefansson R., Gislason S.R., Einarsson P., Brandsdottir B., Larsen G., Johannesson H. ja Thordarson T. 1992. The 1991 eruption of Hekla, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 54, 238–246.

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

Välitöö väljakutsed Islandil

Heidi Soosalu

Noorel seismoloogil oli unistus. Ta oli aastaid uurinud Islandi vulkaane, vaadanud varasemaid seismogramme, joonistanud kaarte toetudes maavärinate andmete kataloogidele. Aga oleks tal ometi üks päris oma seismojaam! Jaam, mille ta ise on paigutanud just sinna, kus kõige põnevamad maavärinad aset leiavad, kus vulkaan kõige rohkem oma saladusi reedab. Oh, oli üks väike unistus...

Oma teadlase karjääri jooksul olen mõistnud, et üks väärtuslikumaid asju on *networking*, st. suhtlemine ja kolleegide võrgustik, mis avab võimalused ning teeb tõeks unistused. Mul on tudengitele tavaks öelda, et konverentsidel pole kõige olulisem ettekannete kuulamine, mitte isegi nende pidamine. Kõige tähtsam on *icebreaker* pidudel või *galadinneritel* osalemine – jah, suhtlemine.

Oli üks järjekordne rahvusvahelise konverentsi *dinner* Islandil. Söök söödud, vein limpsitud, teadlaste seltskond lõbusas tujus. Tuleb minu juurde mu islandlasest doktoritöö juhendaja ja ütleb: „*Heidi, tahan et sa Bobiga tutvuksid, ta on minu sõber, Cambridge'i professor.*“ Professor ulatab naeratades käe ja ütleb ilusas inglise haritlase keeles: „*Tere, mina olen Bob. Kas sa sooviksid minu käest kahtekümmend seismomeetrit laenata?*“ Kaksikümmend! Kui mina olin unistanud ühest! Räägitakse, millise esmamulje võib inimene kohtumisel jätta. Bobi jäetud esmamulje on mul siiani mees: „*On ta vast üks tore mees!*“.

Kuigi vulkaanid olid mulle juba päris tuttavad, siis 2002. aastal Põhjamaade vulkanoloogilise instituudi noorteadlasena Lõuna-Islandi Torfajökull-vulkaani juures seismomeetreid kasutama hakates, olin välitööde korraldamise suhtes kogenematu. Jälle mul vedas, kuna sain töökaaslasteks kaks vanemat vilunud Islandi tehnikut, kes tundsid uuringuala ja selle võimalikke ohtusid läbi ja lõhki. Samas ei andnud nad kunagi mõista, et see võõramaa võhik teeb rumalaid ettepanekuid, vaid juhtisid peenetundeliselt mu õigele arusaamale, kuidas püstitada üks seismovõrk nii, et too ka kasutamiskõlblikke andmeid koguks. Nendest said mulle aastate jooksul lähedased sõbrad, kellele olen siiani tänulik. Sõites sadu ja sadu kilomeetreid mägedes ja manööverdades aeglaselt laavaväljadel jätkub aega filosoferimiseks ja maailma asjade üle arutamiseks. Sõprust tugevdasid veel seiklused, millest elusalt ja tervetena läbi tulime. Nagu näiteks ükskord, kui pärast paduvihma hoovuseks muutunud jõe küüsisist uppumata pääsesime – kuna Islandi kõnnumaa jõgedel tavaliselt sildu ei ole ja tuleb läbi vee sõita. Või teine juhtum, kui

dziibi tagaots lumes paari meetri sügavusse auku kukkus – tookord osutus veaks sõita geotermilisel väljal üle lumehange, sest kuumus õõnestab ju lumekatet!

Islandi kõrgustiku suvehooaeg on lühike – vaid mõne kuu pikkune. Tuleb olla valmis igasugusteks tingimusteks. Seljakotti pakitakse tavaliselt koos vihmariietusega enesestmõistetavalt ka soe pesu ning fliisist müts olenemata sellest, millisel aastaajal välitööle suundutakse. Kord panime seismojaama tööle 27. juulil, mil sadas lumelörtsi.

Torfajökulli välitöid alustasime auahnelt vara ehk aprilli lõpus ja kõik toimus vaid sammhaaval (LISA joonis 1). Vulkaanile sai päris lähedale ühest suunast, kuid peagi tuli ära pöörata kuna tee oli ära uhitud ja nõgusas kohas oleks olnud oht lumelögasse kinni jääda. Enne mäeradade ametlikku avamist juunis ei tulnud kõne allagi välja minna ainult ühe autoga, vaid sõitsime alati kahe suure dziibiga, meelsamini 38-tolliste rehvidega ning alati oli kõis kaasas juhuks, kui üks autodest peaks lumme kinni jääma või liiga sügavasse kohta jõkke sattuma.

Islandi välitöö nõuab paindlikku suhtumist, sest mõiste *force majeure* on seal päris argipäevane nähtus. Välismaalastel on tihti kohanemiskraskusi, kui linnas hoolikalt koostatud plaan ei saagi täidetud, kas või ootamatult alanud tormi tõttu. Selles mõttes on Islandil väga õpetlik psühholoogiline mõju: „Rahune maha! Võtame eeskuju kohalikest ja käitume nii, nagu praegustes tingimustes võimalik“.

Õhtuseks rutiiniks kujunes meil head šoti viskit rüübates üheskoos kaardi vaatlemine. Võttes arvesse ilmateadet, kaalusime ja arutasime ning mõtlesime lisaks esialgsele plaanile A välja ka plaani B juhuks, kui ilm peaks olema erakordselt ilus, ning plaani C juhuks, kui madalrõhkkond saabub ennustatust varem kohale. Nagu kirjutamata reegli järgi ütles tavaliselt keegi meist hommikul, et unustame kõik, mis eile kokku lepitud ja võtame kiirkorras kasutusele plaani D. Teised olid kohe nõus.

Islandil harjusin ära range välitöömoraaliga. Baasist starditakse vara hommikul ja vajadusel jätkatakse tööd hilisõhtuni, seda eriti ilusa ilma korral. Islandi valged suveööd meelitavad edasi tegutsema, vahel isegi kuni poole ööni. Kirglik teadlane on valmis pingutama uuringu nimel ja on valmis loodusjõududega võitlema. Demoraliseerivalt mõjusid vaid aparatuuri valmistaja lohakusest tingitud tehnilised probleemid. Meie poolt kasutusel olnud instrumendid põdesid veel lastehaigusi, kuna nende tootjal on halb komme kasutada väljas töötavaid teadlasi katsejānēstena. Kõige skandaalsem oli juhtum, kui meid nõustati seismomeetrite kõvakettale installima seni katsetamata tarkvarauuendust. Kaks nädalat hiljem avastasin, et mul oli tarkvara vea tõttu tööl 15 jaama võrk, mis ei salvestanud mitte midagi!

Islandi vulkaanidele on iseäralik, et nad on suured indiviidid. Isegi kõrvuti seisvad vulkaanid võivad olla geoloogia ja käitumise poolest väga erinevad. See ahvatleb uuringuid laiendama. Ise alustasin Lõuna-Islandil asuva Hekla vaatlemisest ja uuringualaks oli minu juhendaja lihtsalt piiritlenud Hekla ümber kasti kaardil. Kasti sisse mahtus ka naabervulkaan Torfajökull, mis seismiliselt on Heklast palju aktiivsem. Aastatel 2002 ja 2005 toimusid nõ. välitöökampaniad Torfajökullile. Kuna Katla oli vahepeal rahutuks muutunud, püstitasime 2003. aasta suvel selle otsa väikese võrgu. Torfajökullil läbi viidud hilisema välitöö käigus tekkis idee panna üks väike lühiajaline katsevõrk Askja juurde Põhja-Islandi kõrgustikule. Askja aga osutus nii huvitavaks, et pidime oma mõõtmisi kordama ja laiendama. Miks mitte siis laiendada korraga jaamade võrk ka Askja põhjanaabrile Kraflale... Ja nii see läks.

Väljakutseid on tõepoolest jätkunud igal vulkaanil, aga ka õnnestumise ja rahulolu hetki. Mälestused mägedelt on kirjud ja igale uuringualale ainuomased. Torfajökull sai mulle erakordselt armsaks oma võimsa, geotermilisest aktiivsusest tingitud värvika maastiku tõttu. Seal on olnud ka suurimad probleemid ilmastikutingimustega, kuna tahtsime kevadel võimalikult vara alustada ja sügisel võimalikult hilja lõpetada. Kord oli erakordselt keeruline jaamade juurde teed leida, et neid ära korjata: taevas oli valge ja udune ning lumi juba maas, siit-sealt paistis välja mõni must laavarahn. Roopaid ei olnud üldse näha, oli isegi raske otsustada, kus lõpeb maa ja kust algab taevas. Polnud muud võimalust, kui et ma pidin dziibi ees kõndima ja piiluma, et näha mõningaid kepikesi, mis olid teemärkideks püsti pandud. Nii korjasime seismomeetrid edukalt ära.

Torfajökulli seismiliselt kõige aktiivsem ala osutus olema seal, kuhu on kõige raskem ligi pääseda. Autosõit ei tulnud kõne allagi ja kõndida mägedes paarkümmend kilomeetrit, autoakud ja seismomeetrid seljakotis, polnud eriti realistlik. Õnneks pakkus Islandi rannavalve lahkelt helikopteri abi. Üks mu põnevamaid mälestusi oli sõita helikopteriga Torfajökulli muinasjutulistes kanjonites, kus avanes vaade geotermilise tegevuse mõjul kivimisse tekitatud värvipaletist: valge, kollane, oranž, smaragdroheline, lilla,... Sügisel olid ilmad küllalt muutlikud ja seetõttu pidime ootama kaks nädalat, et helikopter saaks teele asuda seisvojaamu ära tooma. Piloodi seisukoht oli järjekindel: „Inimesi võime päästa tormi käes olles, seismomeetreid mitte!“

Katla on nii kurikuulus vulkaan, et praeguseks teavad tema nime isegi eestlased. Poolkogemata tekkis meilgi võimalus panna neli seisvojaama selle vulkaani põrutusi mõõtma. Katlat katva paksu liustiku seest paistavad välja mõned kaljukünkad, mis on head kohad kvaliteetse seismoandmestiku kogumiseks ja mille juurde pääseb mootorsaaniga.

Tunnistan – olen argpüks! Mul oli hirm mootorsaaniga sõitmise, samuti Katla enda ees. Olin kindel, et saan läheb ümber või kukub mõne liustikulõhe sisse. Lõhet paneb tavaliselt ju tähele alles siis, kui on liiga hilja. Mõtlesin edasi, et kui saakski hakkama mootorsaani ja liustikuga, siis kes teab, Katla võib ju iga hetk purskama hakata. Siis välksatas mul mõttes: „Mootor teeb tohutut lärmi ja mul on lisaks kõrvaklapid – tõenäoliselt ma isegi ei kuuleks, kui Katla mürisedes tegutsema hakkab!“ Esimese paari päeva jooksul siiski rahunesin maha ja harjusin ära. Liustikukupli peal sõitmine osutus lausa imeilusaks kogemuseks, millest mul oli au osa saada.

Askjale sattusin esimest korda 1993. aastal Põhjamaade geoloogide ekskursioonil. Mu mälestustes oli tee sinna päris konarlik ja kääneline. Tol ajal ei oleks ma ette kujutanud, et kümnekond aastat hiljem on see minu jaoks hoopis justkui kiirtee, võrreldes kallutatud laavaplaatide vahele märgitud radadega, mis nõuavad suurt kujutlusvõimet, et neid üldse radadeks nimetada.

Askjale korraldasin esimese ekspeditsiooni 2005. aastal ning meelitasin sõbranna omale augusti lõpuks appi. Plaanitud oli justkui tore piknik: korjame kiiresti viis aparaati laavaväljadelt ära ja ööbime mäeonnis, õhtusöögiks hörk islandi lambafilee. Minu käsikirjas ei olnud aga ette nähtud talve saabumist. Aga just sel ööl, kui me kohale jõudsime muutus suvine piknik keeruliseks talveekspeditsiooniks poole meetri paksuses lumes. Hea uudis on, et oleme sõbrannad siamaani. Islandi kolleeg teadis öelda, et ühel aastal sadas Askjal esimene lumi juulis ega sulanudki ära enne järgmist suve.

Karmidest tingimustest hoolimata – või kes teab, just nimelt nende tõttu – on Islandi kõnnumaal sõltuvust tekitav mõju. Arvan senini, et suvi polekski nagu õige suvi ilma Islandi välitöödeta.

Tänuõnad

Minu välitööseikluste toimumist ja lõpule viimist võimaldasid ja soodustasid mu juhendaja Páll ja Cambridge'i Bob, SEIS-UK seismomeetripank, finantseerijad Suurbritannia National Environmental Research Council, Islandi energiafirmad Ísor ja Landsvirkjun ning arvukad välitöö tegijad, sealhulgas hindamatud Halldór ja Haukur.

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

Inimressursi parim kasutamine geoloogia õpetamisel

Kärt Üpraus ja Triine Post

Igal sügisel alustavad ülikooliteed tuhanded värsked gümnaasiumilõpetanud, kes on alles gümnaasiumi rutiini ja korra ning hoolitsevate õpetajatega harjunud. Ülikoolis peavad nad kohanema uue keskkonna ja iseseisva eluga. Tuleb välja tõsiasi, et õppimine on iseenda, mitte õpetaja jaoks. Juba esimesel semestril on näha, kes suudavad ennast kokku võtta ja kes mitte. Loengusari „Keemia alused“ sõelub kohe nõrgemad välja. Need, kes selle üle elavad, tulid ülikooli selleks, et jääda.

Inimene on oma loomult laisk ning tudengid pole mingi erand. Ülikooli tulles saab üsna pea selgeks, et väga palju tuleb teha iseseisvat tööd. Sellega kohanemine on alguses raske, kuna üldiselt pole harjutud kontsentreeritult õppima ja puuduvad ka vanemad, kes kogu aeg tagant torgiks. Seega vastutab igaüks enda õppimise ja tulemuste eest ise. Paraku ei viitsi peaaegu ükski õpilane ennast lihtsalt niisama heade tulemuste suunas liigutada. Tihtipeale tundub Krooksu minek palju tähtsam, kui järgmiseks päevaks antud kodutööde tegemine. Järelikult on vaja leida motivatsiooni. Mõni õpib sellepärast, et eluks vajalikke tarkusi omandada, mõni sellepärast, et sõbrast parem olla. Üsna hea motivaator on ka toetusraha, mida tublidele õppuritele jagatakse. See paneb tahes-tahtmata koduseid ülesanded lahendama ning loengutes kohal käima ja kaasa mõtlema. Siiski peab tõdema, et kogu loengut pahatihti ei suudeta jälgida, mis tuleneb sellest, et üle 45 minuti keskenduda pole sugugi kerge. Selleks et loengus tudengite tähelepanu kõita, peaksid õppejõud ainet esitama elavalt, aegajalt teemakohaseid küsimusi esitades. Samuti ergutab hea nali või vallatud tantsuliigutused füüsika loengus.

Tihe külaline, eriti hommikustes loengutes, on Une-Mati. Ükskõik kui huvitav loeng ka poleks, leidub alati mõni tudeng, kes vaikselt silma looja laseb. Üldiselt tagab loengutes hea une monotoonne slaididelt maha lugemine ja mõne õppejõu uinutav hääletoon. Kaasa aitab ka see, kui tuled ära kustutatakse, et paremini „slaide näha oleks“. Eriti kindlustatud on Une-Mati osavõtt suurtes rahvast täis auditooriumites, kus õppejõudu pole kohati kuuldagi, kostub vaid ühtlane uinutav sumin. Väiksemates ruumides nii lihtsalt magama ei jääda, kuid tuleb sedagi ette. Vaimne töö on samuti töö, mis kurnab, ning võitluses unega jääb tudeng tihti alla. Kohati vajutakse ära just kõige huvitavamates loengutes. See ei sünni vabatahtlikult ega lugupidamatusest õppejõu vastu, vaid otse vastupidi – kuulatakse pingsalt, üritades kaasa mõelda, kuid uni lihtsalt tuleb ja murrab. Oma panuse annavad ilmselt ka varajane ärkamine ja sellele järgnev pikk sisutihe päev. Loomulikult käib ülikooli juurde korralik melu. Vahel (või

siis mitte nii vahel) minnakse kursusekaaslastega linna meeldivalt aega veetma ja „optilisi telgi puhastama“. Kuna nädalavahetustel läheb igaüks erinevasse Eesti nurka, siis kipuvad Zavoodi külastamised nädala keskele jääma. See aga tähendab tõsiasja, et järgmisel hommikul loengus jäädakse taas kord unele alla.

Ülikooli ajal võib märgata, et tudengid austavad mõnda õppejõudu tunduvalt rohkem kui teist, mis tuleneb tegelikult õppejõu enda suhtumisest. Kui suudetakse tekitada austust enda vastu, pingutavad tudengid tunduvalt rohkem, sest keegi ei taha end auväärse inimese ees lolliks teha ega rumalana näida. Õppejõu taset õpilaste silmis tõstavad nii loenguväline suhtlemine, kui ka ainete kaasakiskuv esitamine. Samamoodi tuleb ülikoolis välja, et aastast aastasse soositakse ja välditakse samu aineid. Loengu põnevus sõltub päris palju õppejõust. Kohati suudetakse vägagi huvitav materjal muuta meeletult igavaks ja lihtne aine keeruliseks. Kui õppejõul puudub huvi õpetamise vastu, ei teki õpihimu ka tudengitel. Selliseid loenguid „lastakse üle“ üsna tihti. Lugu on hoopis vastupidine õppejõuga, kes väga entusiastlikult oma ainet edasi annab. Näiteks kivimite praktikum võib kõlada igava ja kuiva pähetuupimisena, kuid kui õppejõud on ise sellest tohutult vaimustuses, rääkides palju huvitavat juurde, tekib tudengitelgi tahtmine kohal käia ja asi selgeks saada.

Paraku pole kõik tudengid oma võimetelt võrdsed. Mõnele tulevad teadmised tunduvalt kergemini kätte kui teisele. Pole olemas „juhmi“ õpilast, pigem läheb mõnel tudengil kauem aega teema mõistmiseks. Ühele tundub keemia lihtne ja huvitav, teisele füüsika, kolmandale hoopis bioloogia – eks kõigil ole oma tugevad küljed. Ained, mis otseselt ei huvita, õpitakse lihtsalt tuimalt ära. Loomulikult on kõik õppeained olulised, sest ka taustsüsteemi tuleb mõista. Siinkohal on eriti oluline, kes on õppejõud. Näiteks loeb ainet „Tõenäosusteooria ja statistika alused“ matemaatik, kes räägib geoloogia tudengi silmis tohutult keeruliselt ja igavalt, just nagu võõrkeeles. See on kindlasti üks neist loengutest, kus vähemalt iga teine õpilane manab näole arusaamatust väljendava kalapilgu. Tuleb välja, et siinkohal ei olegi süüdi igav matemaatika. Täpselt sama materjali annab „Keskkonnafüüsika“ loengutes edasi füüsik, kelle sõnakasutus on geoloogiatudengitele palju mõistetavam ning asi tundub palju selgem. Isegi saab aru, kust see 1δ ja 2δ tõenäosus tuleb või mida gaussi kõvera all mõeldakse, rääkimata mediaanidest ja standardhälbest.

Võib tekkida olukord, kus õppejõud loengu käigus küsib teemakohaseid küsimusi, kuid saab vastuseks ainult vaikuse. Vastuse teadjad ei julge tavaliselt midagi öelda, need kes vastust ei tea, vahivad jällegi tuima kalapilguga üksteisele otsa. Samas läheb uue materjali seedimiseks aega ning päeva viimastes loengutes pole enam väga kerge kiiresti mõelda ega miskit asjalikku vastata. Leidub selliseidki tudengeid,

kes õpivad palju meelsamini üksinda kodus, kus saavad rahuneda ning keskenduda.

Tihti räägitakse geoloogiast kui meeste alast. Füüsilisest aspektist vastab see ilmselt tõele, kuigi mitte alati. Välitöödel puurides või kaevates on loomulikult eelis meestel. Naisedki saavad selle kõigega hakkama, kuid ajakulu paratamatult suureneb. Füüsiline töö on aga ainult väike osa geoloogiast. Pigem mängib rolli tahtejõud ja õppimisvõime, mis ei olene kellegi soost, vaid iseloomust. Parim geoloog saab sellest, kes suudab õppida, ennast arendada, tunneb uudishimu oma valdkonna vastu ning ei kardab tööd. Ilmselt tuleneb arusaam, et geoloogia on meeste valdkond ka sellest, et palju on tegemist reaallainetega nagu keemia, füüsika ja matemaatika, mis olid pikka aega meeste pärusmaaks. Ülikooli ajalugu pole naiste maailmas eriti pikk – alles 1905. aastal võeti Tartu Ülikooli vastu esimesed naisvabakuulajad. Kuna varasemalt said haridust vaid mehed, siis naiste lubamisega ülikooli muutusid ühiskondlikud käitumisharjumused. Vanad kombed ja arusaamad on aga visad kaduma, eriti kui need on kestnud sajandeid. See pole piisav alus väitmaks, et mehed on geoloogias alati paremad kui naised. Praktikumides jagunevad ülesandedki võrdselt. Olenevalt tööjaotusest ja olenemata soost teevad kõik süüa, sumpavad vihmase ilmaga pokumaal, forsseerivad jõgesid, puurivad ja kaevavad, ajavad kaevatud auke kinni ja vormistavad protokolle. Geoloogia ei ole enam meeste pärusmaa.

Senise kogemuse põhjal võib julgelt väita, et Tartu Ülikoolis on geoloogia õppimine lausa rõõm. Sellega peab küll kõvasti vaeva nägema, kuid erinevalt paljudest teistest erialadest võivad tudengid tunda, et nad kuuluvad siia ja nende vastu tuntakse huvi. Juba ülikooli esimesel päeval toimub legendaarne luhapidu, kus noor geoloogiatudeng kohtub enamiku õppejõudude ja vanemate tudengitega. Räägitakse kogemustest ja jagatakse muljeid, tekitades kindlustunde õpingutega hakkama saamiseks. Õppimisel on vägagi oluline inimlik aspekt, samuti annab see julgust muredega õppejõudude poole pöörduda. Geoloogia õppimise teeb sujuvamaks seegi, et ained on mitmekesised. Seejuures õpime omavahel seostama erinevaid valdkondi ja teadusharusid ning näeme kuidas need põimuvad. Geoloogiat õppides ei hakka kunagi igav, iga päev ootab ees millegi uue avastamisrõõm. Ausalt öeldes pole tudengitel tihti aimugi, mis see geoloogia üldse on, kuid nagu kogemus näitab, ei ole isegi professorid selles osas veel selgusele jõudnud.

Kärt Üpraus (kartypraus@gmail.com) – Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Ravila 14A, Tartu 50411.

Triine Post – Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Ravila 14A, Tartu 50411.

Inimressursi parim kasutamine geoloogia õpetamisel

Liis-Erliken Vinne

"Kalapilgu" olemasolu oleneb (üli)õpilasest, õppejõust ja teemast. Kui õpilasele tundub asi vajalik ja huvitav ning õpetaja omaltpoolt ärgitab mõttetegevusele, siis ei tohiks mõttelaiskust tekkida. Õpetaja peab õpetatavat ainet spetsialisti tasemel valdama, muidu on äärmiselt raske õpilasi asjast huvituma panna ning neilt midagi üldse nõuda. Samas tuleb arvestada ka sellega, et õpilastel on pikad päevad ning päeva lõpuks langeb võime kaasa mõelda ja tähelepanu hajub (eriti kui õpilane on päeval tööl ning õhtul koolis). Õpetamise suhtes "kaotab" õppejõud tundengid siis kui ta ei suuda õpilasi teemaga kaasa haarata, nt. loeb kuivalt sama teksti, mis kirjas slaididel; ei suuda luua õpilase ning õpetatava materjali vahel seoseid jne. Õpetaja peaks looma seoseid näiteks õpilase huvide kaudu, et talle muutuks konkreetse aine õppimine huvitavaks või ta näeks ka reaalsel kasu õpitavast. Sellist asja nagu "juhmi" õpilast pole olemas, igal indiviidil on omad tugevamalt ja nõrgemalt arenenud isiksuslikud jooned. Õppimise eest vastutab igaüks ise – sest õpitakse endale, mitte õpetajale.

Loengus tagab hea une vaikne, halva diktsiooniga, terminitest pungil, kuivalt, emotsioonitult loetud tekst; täpselt sama tekst, mis on kirjas näidatavatel slaididel; üliõpilaste jaoks liiga keeruliselt üles ehitatud loeng, mille käigus kaob huvi õppejõu poolt edastatava info kohta; kui teema ei huvita üliõpilast. Lisaks muidugi ka see, kui on öösel tööl oldud ja lihtsalt on raske silmi lahti hoida!

Üliõpilaste peamised ootused kursustele/loengutele on, et need oleksid üles ehitatud huvitavalt ning võimaldaksid leida võimalikult palju seoseid endaga – st. kinnistuksid eelnevad ja uued teadmised. Selleks, et õpilane oleks ainest huvitatud, võiks õppejõud rohkem elulisi näiteid tuua.

Geoloogia on meesteteadus, aga ka naistel on seal oluline roll. On asju mida naised teha ei saa – puurimine ja proovide võtmine (sügavalt järvepõhjast läbi jää) jne. Üldiselt on geoloogiat hea õpetada ja õppida kuna näitlikustavat materjali on meie ümber palju. Nii õues, kui ka loengusaalis – näidates kivimeid ja kivistisi jne.

Liis-Erliken Vinne (erliken@gmail.com) – Tallinna Tehnikaülikool, Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

CO₂ geoloogiline ladustamisvõime – maapõue uus ressurss

Alla Šogenova, Rein Vaher, Jüri Ivask ja Kazbulat Šogenov

Tööstuslikud CO₂ emissioonid ja ladustamisvõime Eestis

Eesti on suurim CO₂ emiteerija Baltikumis. Üheksa suurt (emissioonid suuremad kui 0,1 miljonit tonni (Mt)) CO₂ tööstuslikku allikat, mis olid 2005. aastal registreeritud EL heitmekaubanduse süsteemis, tootsid 11,5 Mt CO₂ (Sliupa jt. 2008; Shogenova jt. 2009a). 2009. aastal oli Eestis 13 suurt allikat CO₂ kogutoodanguga 22,7 Mt, 2010. aastal aga oli Eestis juba 17 suurt allikat CO₂ kogutoodanguga 37,6 Mt. Eesti ja Balti Elektriyaam on suurimad CO₂ emiteerijad Eestis ja Baltikumis. 2005. aastal tootsid nad vastavalt 7,7 ja 2,25 Mt CO₂, kuid need kogused suurenesid kuni 24,6 ja 6,1 Mt CO₂ aastal 2010. Emissioonide suurust põhjendatakse põlevkivi tööstusliku lasumi, mis on vahekihtidena Eesti Ordoviitsiumi karbonaatsetes kivimites, koostisega. CO₂ emissioonid põlevkivi põletamisel on suuremad kui teiste fossiilkütuste puhul (Sliupa jt. 2008; Shogenova jt. 2009a; 2009b; 2011).

Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi (TTÜ GI) teadlaste uuringud näitasid, et geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused ei võimalda Eestis ladustada süsihappegaasi klassikalise CCS meetodiga (*Carbon Capture and Storage* e. süsiniku kinnipüüdmine ja ladustamine). Hoidlakivimite sügavus on liiga väike ja põhjavesi on mage, mistõttu viimast kasutatakse joogiveena (Sliupa jt. 2008; Shogenova jt. 2009a; 2009b; 2011).

Kus ja kui palju saab maapõues CO₂ ladustada?

Potentsiaalseid reservuaare CO₂ geoloogiliseks ladustamiseks leidub maailmas paljudes kohtades ja nende mahutavus on küllaldane, et anda oluline panus inimtekkeliste kliimamuutuste leevendamisse.

Reservuaarid

Kui CO₂ on juba sisestatud sobivasse kivimisse maapõues (LISA joonis 1; What does... 2011), siis ta akumuleerub teradevahelistes poorides ja lõheded, tõrjudes välja ja asendades seal selliseid fluidumeid nagu gaas, vesi ja nafta. Seega peavad CO₂ ladustamiseks sobivad lähtekivimid olema suure poorsuse ja läbilaskvusega. Sellised kivimid on geoloogilises minevikus setete kuhjumise tulemus ja nad esinevad tavaliselt nn. „settebasseinides“. Kohati vahelduvad need läbilaskvad kivimid mitteläbilaskvatega. Settebasseinides on sageli süsivesinike reservuaare ja loodusliku gaasi väljasid. Need on tõestanud oma võimet fluidumeid väga pika aja

jooksul kinni hoida, säilitades looduslikes püünistes naftat, gaasi ja isegi puhast CO₂ miljoneid aastaid.

Illustratsioonidel, mis näitavad CO₂ ladustamise võimalusi, on maapõue kujutatud ülelihtsustatult homogeenne, kihilise struktuurina. Tegelikult koosneb see ebaühtlaselt levinud ja kohati lõhestunud kivimkehadest, kus reservuaarid ja katendid moodustavad keerulisi heterogeenseid struktuure. Sügavutiminevad teadmised ladustamiskohast ja geoteaduslikud kogemused on vajalikud pikaajaliseks CO₂ ladustamiseks pakutavate maa-aluste struktuuride sobivuse hindamiseks.

Potentsiaalsed CO₂ ladustamise reservuaarid peavad vastama paljudele kriteeriumidele, milledest hädavajalikud on:

- küllaldane poorsus, läbilaskvus ja mahutavus;
- läbitungimatu lasum – nn. „katend“ (s.o. savi, savikivi, mergel, sool), mis takistavad CO₂ ülespoole migreerumist;
- „püünisstruktuurid“ – nagu kuplikujuline katend, mis suudab kontrollida CO₂ migratsiooni määra ladustamiskoha kivimites;
- asukoht sügavamal kui 800 m, kus rõhk ja temperatuur on küllalt suured võimaldamaks CO₂ ladustamist kokkusurutud fluidumi faasis ja nii maksimeerida ladustatud kogust;
- joogivee puudumine (CO₂ ei tohi sisestada vette, mis kõlbab inimestele tarbimiseks).

Ladustamisvõime

Ladustamisvõimet on vaja teada poliitikutel, reguleerivatel võimuorganitel ja operaatoritel. Ladustamispaiga mahutavuse hinnangud on tavaliselt väga ligikaudsed ja põhinevad sobivate formatsioonide ruumilise leviku ulatusel. Mahutavust saab hinnata erinevates skaalades, alates üldisemast riiklikust kuni täpsema basseini või reservuaari skaalani, mis võtab arvesse reaalse geoloogilise struktuuri heterogeensust ja keerukust.

Teoreetiline mahutavus (sisaldab ebamajanduslikke-ebarealistlikke mahtusid): regionaalsed hinnangud ladustamise efektiivsust arvestamata.

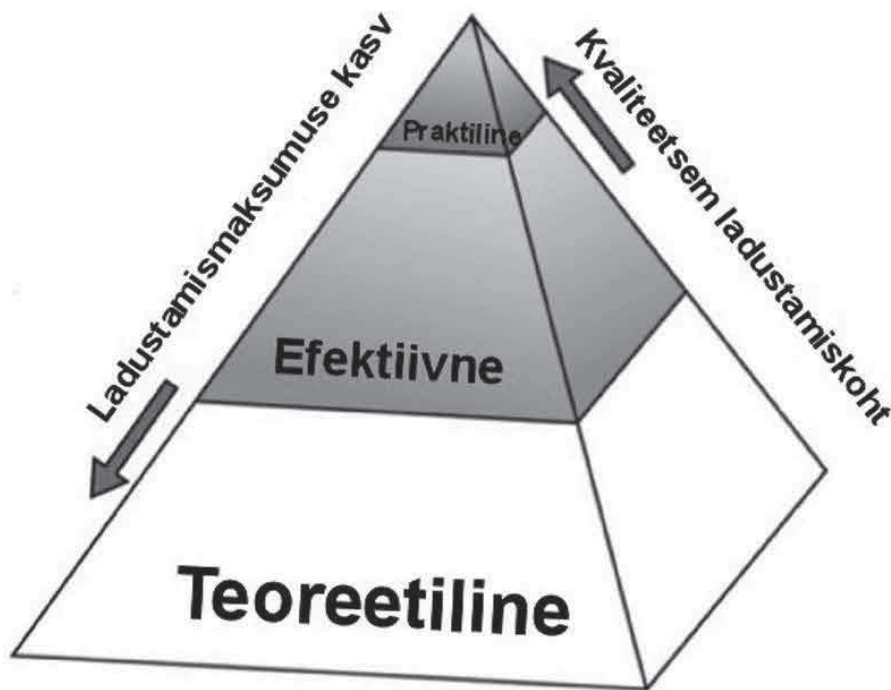
Efektiivne mahutavus (teoreetilisele mahutavusele rakendatud tehnilis-geoloogiliste piirangutega): ladustamiskoha spetsiifilis-regionaalsed hinnangud.

Praktiline mahutavus (majanduslike ja seadusandlike piirangutega efektiivsele mahutavusele) (joonis 2) (Vangkilde-Pedersen jt. 2009a).

Kokkuvõttes me teame, et CO₂ ladustamisvõime on Euroopas suur, isegi kui arvesse võtta ebamäärasusi reservuaaride keerukuse, heterogeensuse ja sotsiaal-ökonomiliste faktorite osas. Euroopa Liidu projekt GESTCO hindas süsivesinike väljades Põhjameres ja selle ümbruses CO₂ ladustamisvõimeks 37 Gt, mis võimaldab selles piirkonnas paigaldada suuri seadmestikke CO₂ sisestamiseks mitme dekaadi vältel.

Euroopa Liidu GEOCAPACITY projekt hindas Euroopa ladustamisvõimeks 127 Gt CO₂, sellest 97 Gt soolastes põhjaveekihtides, 20 Gt süsivesinike väljades ja 1 Gt söeväljades (Vangkilde-Pedersen jt. 2009b). Võimalikud on ka ülemaailmsed ladustamise mahu hinnangud: ligikaudu 8090–15500 Gt, sealhulgas 1520–3020 Gt Hiinas ja Indias (IEA, Technology Roadmaps).

Tehnoloogia areng CO₂ karboniseerimiseks kivimites (serpentiinidid, basaldid) ja jäätmetes (söe ja kivisöe tuhk, vesi, räbu jt.) võivad lisada veel sadu Gt, kuid nende tehnoloogiate võimalused on seni hindamata.



Joonis 2. Ressursi-varu püramiid Euroopa Liidu GeoCapacity projektist (Vangkilde-Pedersen jt. 2009a). Praktiline mahutavus (majanduslike ja seadusandlike piirangutega efektiivsele mahutavusele). Efektiivne mahutavus (teoreetilisele mahutavusele rakendatud tehnilis-geoloogiliste piirangutega) – ladustamiskoha spetsiifilis-regionaalsed hinnangud. Teoreetiline mahutavus (sisaldab ebamajanduslikke-ebarealistlikke mahtusid) – regionaalsed hinnangud ladustamise efektiivsust arvestamata.

Eeskirjad

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu 23. aprilli 2009. direktiiv 2009/31/EC süsihappegaasi geoloogilisest ladustamisest avaldati 5. juunil 2009. ja see jõustus 25. juunil 2009. Direktiiv kehtestas legaalse raamistiku keskkonnale ohutuks CO₂ geoloogiliseks ladustamiseks soodustamaks võitlust kliimamuutuste vastu. Artiklis 39 “Ülevõtmine ja üleminekumeetmed” sätestatakse, et liikmesriigid peavad jõustama käesoleva direktiivi

järgimiseks vajalikud õigus- ja haldusnormid hiljemalt 25. juuniks 2011. Liikmesriigid edastavad kõnealuste õigusnormide teksti viivitamata komisjonile. Kui liikmesriigid vajalikud sätted vastu võtavad, lisavad nad nendesse või nende ametliku avaldamise korral sätete juurde viite käesolevale direktiivile. Liikmesriigid edastavad komisjonile käesoleva direktiiviga reguleeritavas valdkonnas nende poolt vastu võetud põhiliste siseriiklike õigusnormide teksti ja tagavad, et käesoleva direktiivi reguleerimisalasse kuuluvaid säilitamiskohti käitatakse käesoleva direktiivi nõuete kohaselt hiljemalt 25. juunil 2012 (Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/31/EÜ).

Osa Euroopa riike on juba lisanud selle direktiivi sätted oma seadustesse (näiteks Hispaania detsembris 2010 ja Taani mais 2011). Teised maad on ette valmistanud vastavad seaduseelnõud ja arutavad neid poliitilisel ja avalikkuse tasandil. Enamus Euroopa Liidu liikmesmaid kavatses lõpetada selle protsessi 2011. aasta jooksul.

Eesti Keskkonnaministerium esitas 23.08.2011 välisõhu kaitse seaduse, keskkonnamõju hindamise ja keskkonnajuhtimissüsteemi seaduse, keskkonnavastutuse seaduse, maapõueseaduse, saastatuse komplekse vältimise ja kontrollimise seaduse ning veeseaduse muutmise eelnõu. Eelnõu osutab, et CO₂ geoloogiline ladustamine Eesti Vabariigi territooriumil ja šelfi alal ei ole lubatud. Seda keeldu ei kohaldata süsinikdioksiidi sellise maapõues säilitamise suhtes, mille kogumaht on väiksem kui 100 kilotoni ja mis toimub teadusuuringute ja arendustegevuse raames või uute toodete ja protsesside katsetamise eesmärgil. Eelnõu defineerib süsinikdioksiidi transporditorustiku, selle omaniku õigused ja kohustused, torustikuga liitumise tingimused, teabe kättesaadavuse ja aruandluse reeglid.

Suure põletusseadme käitaja, kelle põletusseadme elektriline nimisoojusvõimsus on 300 megavatti või enam ja kelle põletusseadme ehitusluba on antud pärast 2009. aasta 24. juunit, peab 31. märtsiks 2012 esitama Keskkonnaministeriumile hinnangu selle kohta, kas: (1) süsinikdioksiidi säilitamiseks sobivad kohad on kättesaadavad; (2) transpordivahendite kasutamine on tehniliselt ja majanduslikult võimalik; ning (3) süsinikdioksiidi kogumise süsteemi moderniseerimine on tehniliselt ja majanduslikult võimalik.

Keskkonnaministerium teeb otsuse põletusseadmest lähtuva süsinikdioksiidi kogumise ja transportimise võimalikkuse kohta, võttes aluseks nimetatud hinnangu ja muu kättesaadava teabe, sealhulgas teabe, mis käsitleb inimese tervist ja keskkonnakaitset. Positiivse otsuse korral peab põletusseadme käitaja tagama, et selle asukohas on piisavalt ruumi süsinikdioksiidi kogumiseks ja kompressiooniks vajalike seadmete jaoks. Keskkonnaministerium avalikustab süsinikdioksiidi maapõues säilitamise

eesmärgil kogumise ja transpordiga seotud keskkonnavalase teabe oma veebilehel. Eelnõu on koordineerimisfaasis Rahandusministeeriumi, Siseministeeriumi ja Majandusministeeriumiga.

Võttes arvesse, et Eesti Energia kavatses lähiajal ehitada Eesti Elektri jaama uue bloki, tuleks viivitamatult alustada läbirääkimisi ja kootööd CO₂ piiriüleseks transpordiks ja geoloogiliseks ladustamiseks.

On huvipakkuv, et CO₂ geoloogiline ladustamine sisaldub terve rea Euroopa riikide seadusandluses kui geoloogiline ressurss, millel on võrdsed õigused teiste geoloogiliste ressurssidega. Siiski eksisteerib mitmetes riikides huvide konflikt erinevate ressursside kasutada soovijate vahel. Samas joogivee ressursi prioriteet on kõikjal väljaspool kahtlust ja tavaliselt asuvad soolased põhjaveekihiid ja nendesse ladustatud CO₂ maapõues sügavamal kui joogi- ja mineraalvett sisaldavad põhjaveekihiid.

Kasutatud kirjandus

Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/31/EÜ, 23. aprill 2009. Euroopa Liidu Teataja L 140, 05/06/2009, lk 0114–0135

[http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0114:0135:ET:PDF)

[0114:0135:ET:PDF](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0114:0135:ET:PDF)

IEA, *Technology Roadmaps. Carbon capture and storage*, 200, 52 lk. http://www.iea.org/papers/2009/CCS_Roadmap.pdf

Shogenova A., Sliampa S., Shogenov K., Sliapiene R., Pomeranceva R., Uibu M. and Kuusik R. 2009a. Possibilities for geological storage and mineral trapping of industrial CO₂ emissions in the Baltic region. Elsevier, The Netherlands. *Energy Procedia* 1, 2753–2760.

Shogenova A., Sliampa S., Vaher R., Shogenov K., Pomeranceva R. 2009b. The Baltic Basin: structure, properties of reservoir rocks and capacity for geological storage of CO₂. Estonian Academy Publishers, Tallinn, *Estonian Journal of Earth Sciences* 58 (4), 259–267.

Shogenova A., Shogenov K., Vaher R., Ivask J., Sliampa S., Vangkilde-Pedersen T., Uibu M., Kuusik R. 2011. CO₂ geological storage capacity analysis in Estonia and neighbouring regions. Elsevier, The Netherlands. *Energy Procedia* 4, 2785–2792.

Sliampa S., Shogenova A., Shogenov K., Sliapiene R., Zabele A., Vaher R. 2008. Industrial carbon dioxide emissions and potential geological sinks in the Baltic States. *Oil Shale* 25 (4), 465–484.

Vangkilde-Pedersen T., Neele F., van der Meer B., Egberts P., Wojcicki a-. Bossie-Codreau D., Le Nindre Y-M., Bartelemy Y. 2009a. *FP6 EU GeoCapacity Project Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide, Storage Capacity Standards*, D24, 39 lk.

Vangkilde-Pedersen, T. jt. 2009b. *FP6 EU GeoCapacity Project, Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide, Storage Capacity, WP2, D16 report*, 166 lk, <http://www.geology.cz/geocapacity/publications>.

What does CO₂ geological storage really mean? CO₂GeoNet European Network of Excellence, 19 lk., <http://www.co2geonet.eu>.

Alla Šogenova (alla@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikool, Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Rein Vaher (vaher@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikool, Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Jüri Ivask (jivask@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikool, Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Kazbulat Šogenov (shogenov@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikool, Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Võrumaa põhjaveehaarete rauaärastusseadmete töö efektiivsuse võrdlus

Mariina Hiib ja Enn Karro

Joogivee looduslik keemiline koostis on erinev ja oleneb vee päritolust. Põhjavee kasutamiskõlblikkus joogiveena sõltub oluliselt piirkonna hüdrogeoloogilistest tingimustest. Eesti elanikkond on joogiveega hästi varustatud. Ühisveevärgi vett kasutab umbes 87% Eesti elanikest (Tervisekaitseinspeksioon 2010), ülejäänud osa saab vee madalatest puur- ja salvkaevudest.

Eestis jagatakse põhjavesi viide erinevasse kvaliteediklassi (I–V), millest I-III kvaliteediklassi vett võib kasutada joogiveena. Põhjavett, mille näitajate piirväärtused ületavad III kvaliteediklassi näitajate piirväärtusi (raua piirsisaldus 10,0 mg/l, mangaani piirsisaldus 0,2 mg/l), tohib kasutada joogiveeallikana, kui muud joogiveeallikad puuduvad ning kui vee töötlemine ja keskkonnaseisundit parandavad meetmed tagavad kvaliteetse joogivee (Joogivee 2003).

Kõigile kvaliteedinõuetele (efektiivdoose arvestamata) vastas riikliku järelevalve all olevast 1152 veevärgist 518 (49%) (Tervisekaitseinspeksioon 2010). Indikaatornäitajad (nt. raud, mangaan, ammoonium) ületavad lubatud piirsisalduse 33,2% ühisveevärgis.

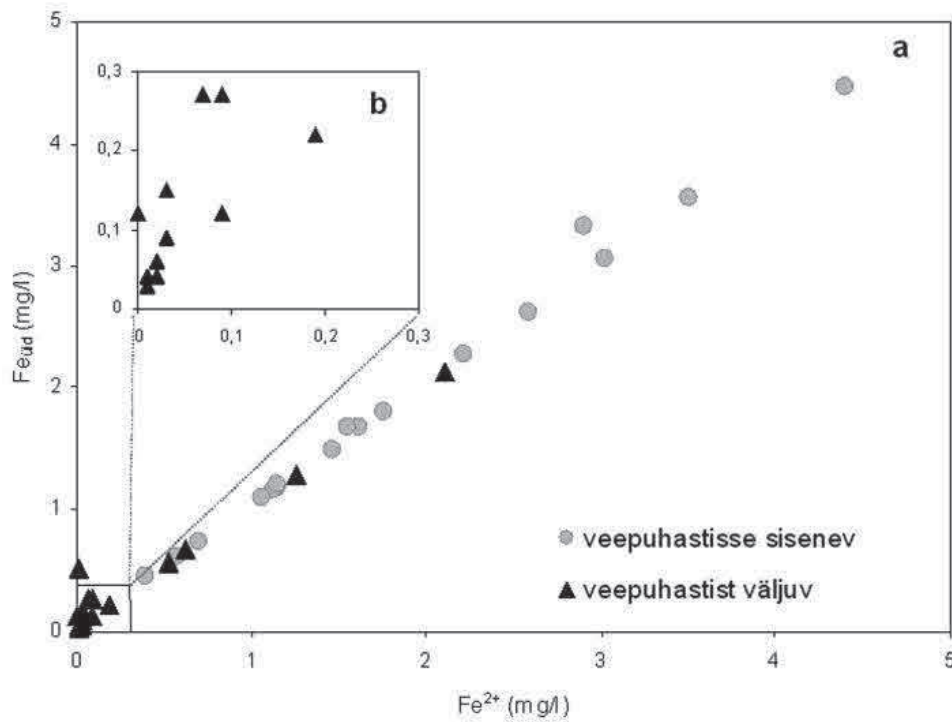
Võrumaal kasutatava põhjavee kvaliteet

Reeglina puuduvad Võrumaal probleemid põhjavee kvantiteedi osas, küll aga ei vasta piirkonniti põhjavesi oma keemiliselt koostiselt joogiveele kehtestatud kvaliteedinõuetele – kõrge raua (Fe) ja väävelvesiniku (H_2S) ning kohati ka kõrgem mangaani (Mn) sisaldus põhjavees. Võru maakonna veevarustuses kasutatakse peamiselt Kvaternaari, Ülem-Devoni ning Kesk-Devoni veekomplekside põhjavett.

Üldiselt savika ja valdavalt paksu pinnakatte tõttu vaesustub Lõuna-Eestis infiltreeruv vesi pinnasest ja sademetest pärit hapnikust ning keskkonnatingimused muutuvad oksüdeerivatest redutseerivateks. Kesk-Devoni veekompleksis valitsevatele redutseerivatele tingimustele viitavad kahevalentse raua ja ammooniumiooni kõrged sisaldused põhjavees (joonis 1a).

Teisalt võib Fe^{2+} , H_2S ja lämmastikühendite kõrge sisalduste põhjuseks olla ka veevarustussüsteemide halb sanitaartechniline seisund – tehniliselt mitte korras puurkaevud ning amortiseerunud veetorustikud. Järjest väheneva veekasutuse tõttu jääb vesi torustikku seisma, kahjustades veevarustussüsteemi. Puurkaevudes, kus viimastel aastatel on veevõtt

vähenenud, täheldatakse kõrge H₂S sisaldust. Veevõtu vähenemisega kaasnevad vee Fe²⁺-sisalduse suurenemine, SO₄²⁻-sisalduse vähenemine ning H₂S tekkimine anaeroobsete bakterite elutegevuse tulemusena (Schmied 1999).



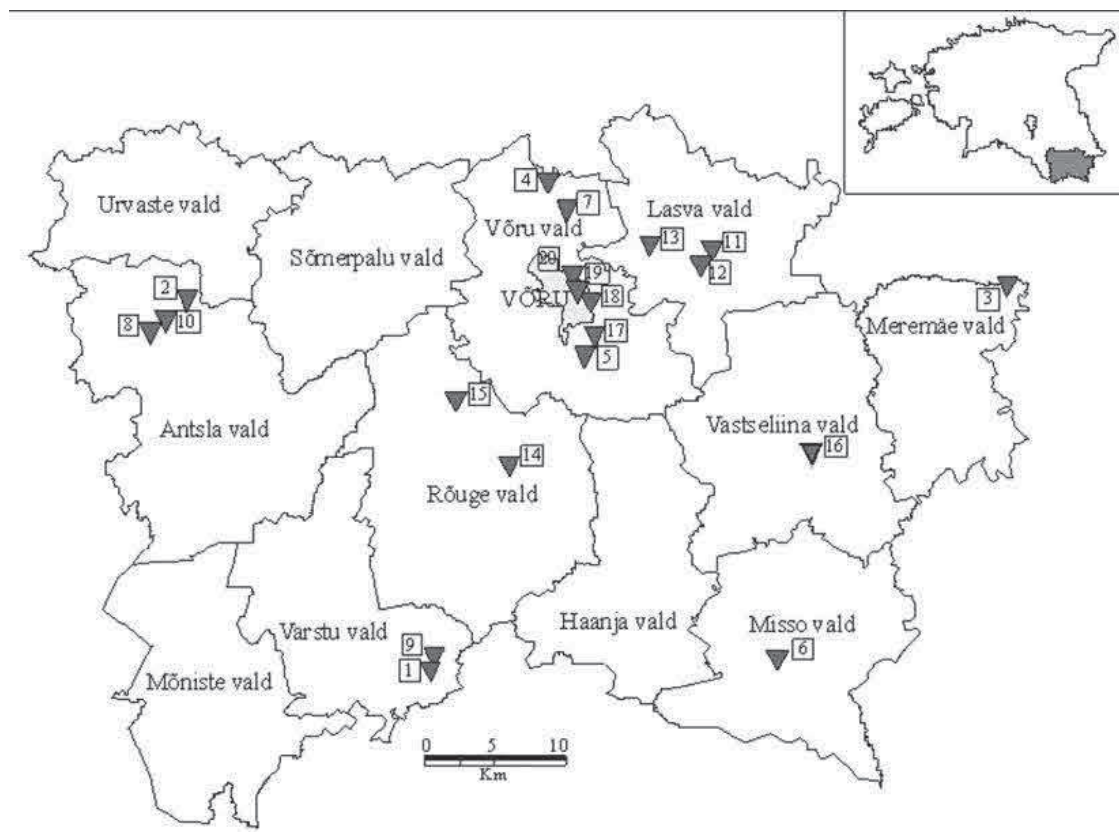
Joonis 1a–b. Veepuhastisse siseneva ja sealt väljuva vee Feüld ja Fe²⁺ vaheline korrelatsioon.

Veepuhastusseadmed

Rauaeemaldusseadmed eemaldavad veest nii juba settinud kui ka vees lahustunud kujul esineva raua. Lisaks aitavad rauaärastusfiltrid tõsta vee pH-d ja sellega parandada nii happe-leelisetasakaalu kui elimineerida või vähendada agressiivse süsihappegaasi sisaldust vees (Kornel 2002). Rauaeemaldussüsteemi abil on võimalik vabaneda ka tülikast mangaanist ja ebameeldivat mädamuna haisu tekitavast väävelvesinikust. Euroopa Liidu normide (98/83/EC) ja Eesti Vabariigi sotsiaalministri määruse (Joogivee 2002) järgi tohib tarbija kraanist voolava joogivee rauasisaldus olla kuni 0,2 mg/l.

Rauaeemaldusseadme põhiosa on filtermaterjaliga täidetud anum. Filtermaterjal valitakse vastavalt veeanalüüsile, soovitud lõpptulemusele, arvutuslikule veetarbimisele ja süvaveepumba jõudlusele. Veepuhastusprotsessi tõhusamaks muutmiseks kasutatakse doseerimist või aereerimist. Doseerimise puhul lisatakse puhastatavasse vette kemikaali, mis kiirendab vees lahustunud raua väljasettimist. Aereerimine seisneb puhastatava vee

hapnikuga rikastamises, mille käigus vee lahustunud raud reageerib õhuhapnikuga ning tulemuseks on samuti kolmevalentne väljasettinud raud. Rauasade eemaldatakse filtermaterjalist läbipesu tsükliks. Läbipesule võib järgneda filtermaterjali töövõime taastamine – regenereerimine. Läbipesu ja regenereerimine toimuvad etteantud päeval ja kellaajal, sagedusega 1–7 korda nädalas, sõltuvalt vee rauasisaldusest ja tarbitava vee kogusest.



Joonis 2. Töös käsitletud puhastusseadmete asukohad Võrumaal. Puhastusseadme juures olev number tähistab seadme jrk.

Kahekümnes uuringusse kaasatud veepuhastusseadmes kasutati kaheksat erinevat veetötluse meetodit (joonis 2).

Puhastusseadme tüüp nr. 1 (jrk. 1–6). Veepuhastussüsteemi põhiosaks on filter, mille täitematerjaliks on „roheline mangaaniliiv“ („manganeese greensand“). „Roheline mangaaniliiv“ on looduslik või tööstuslikult toodetud materjal, mida on töödeldud $MnCl_2$ ja regenereeritud kaaliumpermanganaadiga ($KMnO_4$) (Keller 2005).

Puhastusseadme tüüp nr. 2 (jrk. 7). Rauaeraldusseadme põhikomponendiks on kaks paralleelselt töötavat rauaeraldusfiltrit, mis on täidetud filtermaterjaliga „birm“ – mangaandioksiid (MnO_2), sideained ja kristalliline räni. „Birm“-materjal on katalüsaatoriks raua oksüdatsiooniprotsessis. Kuna materjal on piiratud koguses MnO_2 , ei jätku hapnikku

kogu reaktsiooni ajaks. Seetõttu peab O₂ kontsentratsioon moodustama vähemalt 15% üldraua sisaldusest.

Veepuhastusseadme tüüp nr. 3 (jrk. 8). Puhastusseade koosneb kahest survefiltrist, mille täitematerjaliks on „*Nevtraco*“, „*Hydrolit-Mn*“ ja „*Magno-Dol*“. Raua eemaldamiseks ja filtreerimiseks kasutatakse „*Nevtraco*“ materjali, mis koosneb peamiselt kaltsiumkarbonaadist (kaltsiit) ning töötab pH vahemikus 5,8–7. Mangaani eemaldamiseks kasutatakse spetsiaalset filtermaterjali „*Hydrolit-Mn*“: teraline kergelt happeline filtermaterjal, milles katalüsaatoriks on mangaani vahekiht. Vee happelisuse neutraliseerimiseks kasutatakse „*Magno-Dol*“ materjali – dolomiitne nõeljas filtermaterjal, mis vähendab vee agressiivsust (CO₂) ja tõstab pH väärtust. Reaktsioon kestab kuni saavutatakse kaltsiidi küllastusaste ehk toimub kaltsiumi-, magneesiumi ja vesinikkarbonaatioonide kontsentratsioonide tõus lahuses.

Veepuhastusseadme tüüp nr. 4 (jrk. 9–10). Veepuhastussüsteemi põhiosa moodustavad lahtine aeratsioon ja filter, mille täitematerjaliks on „*birm*“. Veepuhastusseadmes rakendatakse eeloksüdeerimisega mehaanilist filtreerimist.

Veepuhastusseadme tüüp nr. 5 (jrk. 11–13). Veepuhastussüsteemi põhiosa moodustavad lahtine aeratsioon, eelfilter ja filter, mille täitematerjaliks on „*birm*“.

Veepuhastusseadme tüüp nr. 6 (jrk. 14–15). Veepuhastussüsteemi põhiosa moodustavad kinnine aeratsioon ja filter, mille täitematerjaliks on „*birm*“. Tehnoloogilise lahendusena kasutatakse aereerimisega filtratsiooni.

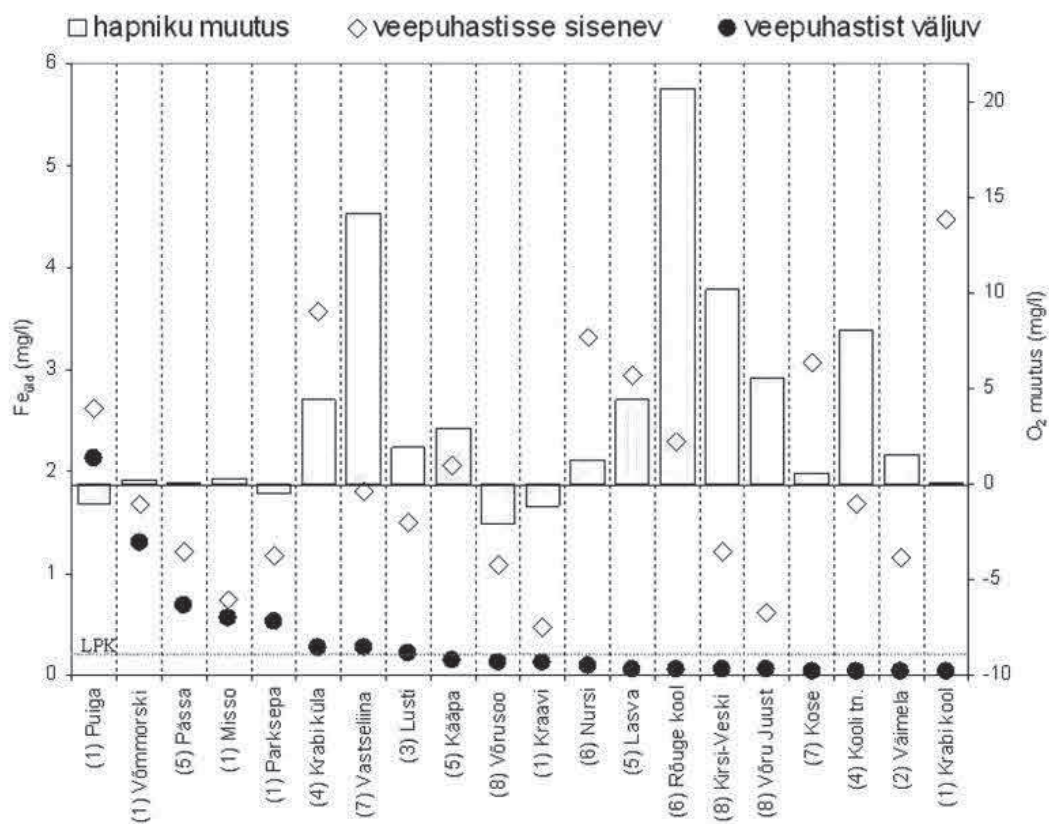
Veepuhastusseadme tüüp nr. 7 (jrk. 16–17). Veepuhastussüsteemi põhiosa moodustavad kinnine aeratsioon ja filter, mille täitematerjaliks on „*roheline mangaaniliiv*“. Puhastatav piisava survega vesi juhitakse läbi katalüütilise toimega granuleeritud filtermaterjali kihi. Filtermaterjal oksüdeerub vees leiduv lahustunud raud ja settib helveste kujul koos teiste vees leiduvate mittelahustuvate osakestega filtermaterjali graanulite vahele.

Veepuhastusseadme tüüp nr. 8 (jrk. 18–20). Veepuhastussüsteemi põhiosa moodustavad kinnine aeratsioon ja filter, mille täitematerjaliks on kvartsiiliiv. Rauaärastus on projekteeritud lihtaeratsiooni meetodil. Lihtaeratsiooni meetodi puhul vesi küllastatakse hapnikuga ja kahevalentne raud oksüdeeritakse kolmevalentseks rauaks.

Veepuhastussüsteemide töö efektiivsuse võrdlus

Uuringus käsitletud kaheksa puhastusmeetodit puhastavad põhjavett rauast ja mangaanist erinevalt. Kõigis puhastusseadmetes toimus raua oksüdeerumine, mille tulemusena raua sisaldus kõikjal langes. Samas

joogiveele kehtestatud kvaliteedinõuetele (0,2mg/l) vastas uuritud 20 veepuhastusseadmest saadav puhastatud põhjavesi 13 juhul ehk 60% seadmetest (joonis 3).



Joonis 3. Veepuhastisse siseneva ja sealt väljuva vee Fe_{üld} sisaldus (mg/l) ning hapniku sisalduse muutus (mg/l) puhastussüsteemi käigus. LPK – lubatud piirkontsentratsioon (0,2mg/l). Puhastusseadmete ees sulgudes olevad numbrid tähistavad puhastussüsteemi tüüpi.

Mida kõrgem on veepuhastisse siseneva põhjavee üldraua kontsentratsioon, seda efektiivsemalt toimub puhastussüsteem (joonis 3). Puhastussüsteemi käigus oksüdeeritakse kahevalentne raud õhuhapniku abil kolmevalentseks, raskesti lahustuvaks ühendiks, mis settib veest välja. Selleks, et keemiline reaktsioon kulgeks edukalt, peab põhjavee lahustunud hapniku sisaldus moodustama vähemalt 15% üldraua kontsentratsioonist, kui filtermaterjali aktiivpinnaks on MnO₂ kiht (Munter jt. 2000). Tihti on põhjavee O₂ sisaldus nullilähedane, mistõttu on oluline eeloksüdeerimine. Lähtudes analüüsitulemustest võib väita, et eelaereerimisega puhastussüsteemid puhastavad enamasti vee üldraua osas joogiveele kehtestatud nõuetele vastavaks (joonis 3).

Oletus, et puhastussüsteemi käigus toimub hapniku sisalduse tõus, ei kehti kõigi töös uuritud puhastussüsteemide puhul. Näiteks Puiga, Parksepa ja Kraavi puhastussüsteemides, mis kuuluvad esimesse tüüpi

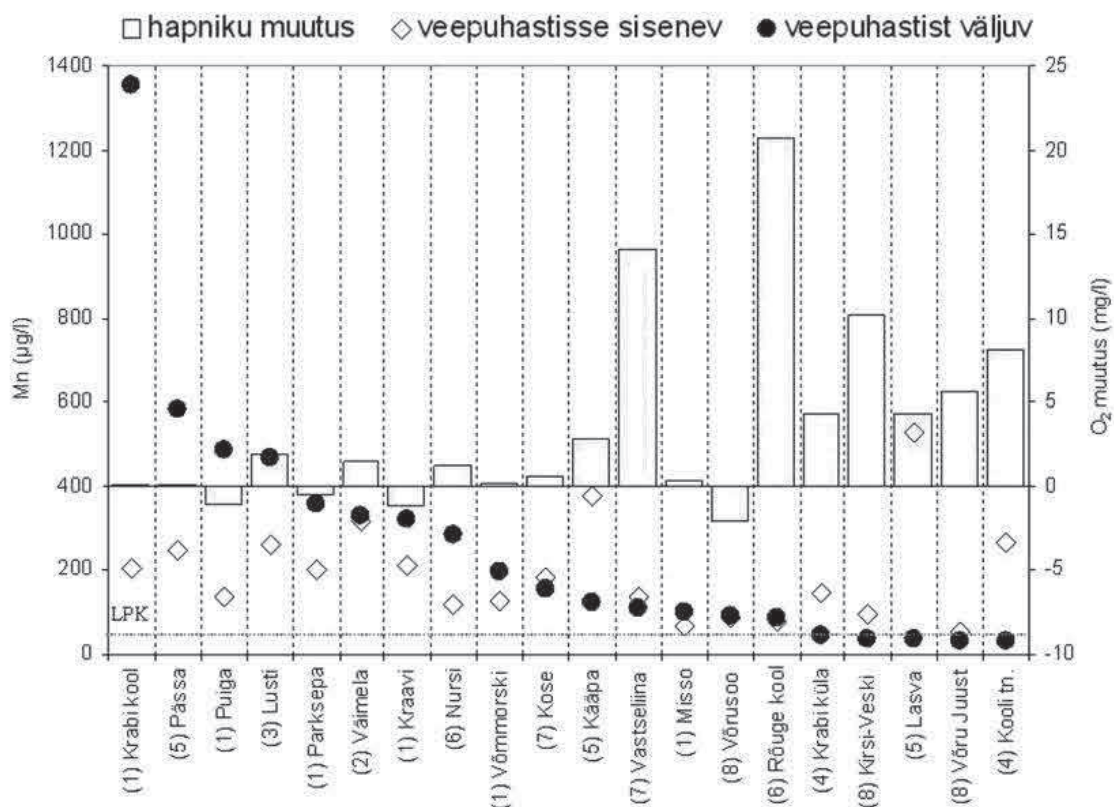
(filtermaterjaliks „roheline mangaaniliiv“), on hapniku hulk puhastatud vees vähenenud (joonis 3). Puiga puhastussüsteemi puhul on negatiivne hapniku diferents seletatav veepuhastussüsteemi rikkega. Isegi hapniku hulga vähenedes vastab Kraavi veepuhastussüsteemi läbinud põhjavesi üldraua osas joogiveele kehtestatud nõuetele. See on seletatav asjaoluga, et veepuhastussüsteemi juhitava põhjavee raua kontsentratsioon on madal (0,46mg/l) ning filtermaterjal on suuteline rauda ärastama. Samas on Parksepa veepuhastusse siseneva vee algne üldraua kontsentratsioon ligikaudu kolm korda kõrgem kui Kraavis (1,18mg/l) ning filtermaterjal ei ole suuteline seda nõutava kontsentratsioonini alandama.

Filtermaterjali „roheline mangaaniliiv“ kasutatakse kaheksas puhastusseadmes (Kraavi kool, Kraavi, Võmmorski, Parksepa, Puiga, Misso, Vastseliina, Kose), kuid joogivesi vastab peale puhastust nõuetele ainult kolmel juhul (Kraavi kool, Kraavi, Kose). Samuti ei puhasta filtermaterjal „roheline mangaaniliiv“ põhjavett mangaanist selliselt, et vesi vastaks joogiveele kehtestatud nõuetele (50µg/l) (joonis 4). Mangaani kontsentratsioon langes kehtestatud piirväärtusest madalamale juhul kui kasutati vee eelaeratsiooni ning filtermaterjalina „birmi“ või kvartsiiva. Puhastusseadmetes töödeldud põhjavees alanes Mn sisaldus nõuetele vastavaks vaid 25% juhtudel (joonis 4). Vee Mn sisaldus suurenes puhastusseadet läbides 12 juhul 20-st.

Mangaani ärastus toimub, kui hapniku muutus puhastusseadmesse sisenevas ja sealt väljuvas vees on suhteliselt suur – keskmiselt neljakordne (Kraavi küla, Kooli tn, Võru Juust, Kirsi-Veski, Lasva). Kui hapniku sisalduse muutus on väike või hoopis negatiivne, jääb mangaani sisaldus peaaegu muutumatuks või suureneb (joonis 4). Vastseliina veepuhastussüsteemi läbinud vee hapniku hulk tõuseb märgatavalt (1,2mg/l-lt 15,3mg/l-ni), mis tagab selle, et mangaani sisaldus väheneb küll 136-lt 110µg/l, kuid vesi ei puhastu siiski nõuetele vastavaks.

Jooniselt 4 on näha, et üheski puhastussüsteemis, mis kasutab filtermaterjalina „rohelist mangaaniliiva“ (tüüp 1) ei toimu mangaani ärastust (v.a. Kose ja Vastseliina veepuhastussüsteemid, kus toimub vee eelnev aereerimine), olgu hapniku sisalduse muutus väike või negatiivne. Mangaani sisaldus nendes puhastussüsteemides hoopis suureneb (Kraavi kool, Puiga, Parksepa, Kraavi, Võmmorski, Misso). Kuna kahevalentne mangaan on geokeemiliselt stabiilsem kui kahevalentne raud, siis esimesena settib lahusest välja Fe(OH)₃. Nii Kraavi kooli, Kraavi kui ka Kose veepuhastussüsteemid puhastavad põhjavee üldraua osas joogiveele kehtestatud nõuetele vastavaks. Kraavi kooli veepuhastussüsteemi siseneva vee üldraua sisaldus on kõrge – 4,46mg/l. Seega kulub süsteemis olemasolev hapnik raua oksüdeerimiseks ning filtermaterjal „roheline mangaaniliiv“ on võimeline kinni pidama vaid rauaühendid. Ülejäänud

neljas veepuhastussüsteemis (Puiga, Parksepa, Võmmorski, Misso) toimub küll üldraua ärastus, kuid väga väikeses mahus ehk üldraua sisaldus jääb praktiliselt muutumatuks. Seega, antud juhtudel vajab filtermaterjal kas kohest regenereerimist filtermaterjali töövõime taastamiseks või hoopis väljavahetamist.



Joonis 4. Veepuhastusse siseneva ja sealt väljuva Mn sisaldus (µg/l) ning hapniku sisalduse muutus (mg/l) puhastussprotsessi käigus. LPK – lubatud piirkontsentratsioon (50µg/l). Puhastusseadmete ees sulgudes olevad numbrid tähistavad puhastussüsteemi tüüpi.

Rõuge kooli veepuhastussüsteemi suur hapniku positiivne diferents on seletatav eelaeratsiooniga, mis on üks osa puhastussprotsessist. Kuigi hapniku lisatakse süsteemi küllaldaselt, ei toimu mangaani ärastust. Veepuhastussüsteemi siseneva vee mangaani sisaldus on 78µg/l ning väljuva 88µg/l. Kuid nimetatud veepuhastussüsteem puhastab põhjavee üldraua osas joogivee normidele vastavaks (raua kontsentratsioon veepuhastusse sisenevas ja väljuvas vees vastavalt 2,28mg/l ja 0,06mg/l). Seega suudab filtermaterjal („birm“) antud juhul välja seedita vaid rauaioonid, kuid mangaan jääb protsessi käigus oksüdeerimata. Filtermaterjali „birm“ kasutatakse veel Krabi küla, Kooli tn. ja Lasva veepuhastussüsteemides, kuid neis eelneb filtrile lahtine aeratsioon ning nii raua (v.a. Krabi küla – 0,27mg/l) kui mangaani sisaldus viiakse lubatud

piirkontsentratsioonini. Ülejäänud „*birmi*“ filtermaterjalina kasutavad veepuhastusseadmed on Väimelas, Pässas, Kääpa ja Nursi koolis. Väimela, Kääpa ja Nursi kooli puhastusseadmetes kulub süsteemis olev hapnik üldraua oksüdeerimiseks ning kuna Pässä veepuhastusseadmesse siseneva ja väljuva vee hapniku hulk jääb praktiliselt muutumatuks ei toimu raua ega ka mangaani ärastust nõutava väärtuseni. Seega vajab veepuhastussüsteem, mis kasutab filtermaterjalina „*birmi*“, Võrumaa tingimustes eelaeratsiooni. Samas ei tohi unustada filtermaterjali hooldust ehk läbipesu.

Veepuhastusseadmete tööefektiivsust hinnati käesolevas töös puhastusastmete (PA) abil. Puhastusaste on puhastusseadmesse siseneva ja väljuva vee üldraua või mangaani kontsentratsioonide suhe (vastavalt PA_{Fe} ja PA_{Mn}):

$$PA_{Fe} = \frac{Fe_{\text{üld}}^{\text{enne}}}{Fe_{\text{üld}}^{\text{pärast}}} \quad PA_{Mn} = \frac{Mn^{\text{enne}}}{Mn^{\text{pärast}}}$$

$Fe_{\text{üld}}^{\text{enne}}$ – puhastusseadmesse siseneva vee üldraua sisaldus mg/l

$Fe_{\text{üld}}^{\text{pärast}}$ – puhastusseadmest väljuva vee üldraua sisaldus mg/l

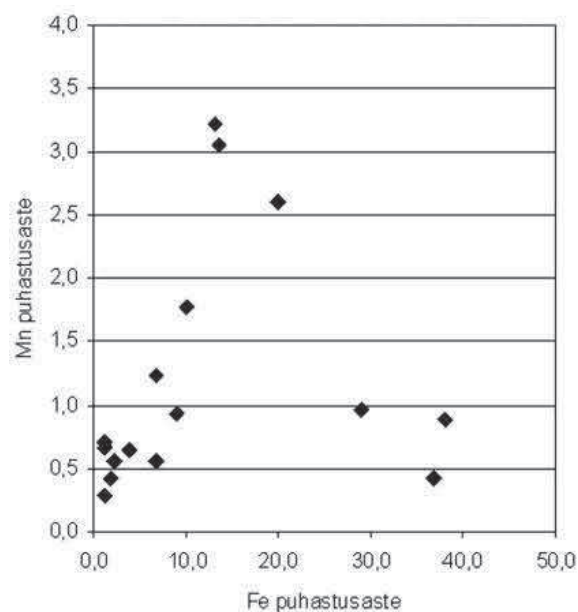
Mn^{enne} – puhastusseadmesse siseneva vee mangaani sisaldus µg/l

$Mn^{\text{pärast}}$ – puhastusseadmest väljuva vee mangaani sisaldus µg/l

Mangaani ja raua puhastussastmete kõrvutamisel selgub, et puhastusseadme kõrge rauaärastus ei pruugi tagada samaaegselt mangaani ärastust (joonis 5).

Kuna kahevalentne mangaan on lahuses geokeemiliselt stabiilsem kui Fe^{2+} ja enamuse puhastussüsteeme on üheastmelised, siis toimub küll raua oksüdeerumine ja väljasettimine, kuid mangaani oksüdatsiooniprotsess kulgeb poolikult või ei toimu üldse. Mangaan kuhjub puhastusseadmesse ja ka läbipesu ei suuda mangaani filtrist välja pesta. Kui veepuhastusseadme läbipesu jaoks ei ole valitud õigeid survetugevusi ega kiirusi siis võib juhtuda, et suure survega uhutakse mangaan filtermaterjalist välja. Seejuures olemasolev filtermaterjal rikutakse ning see kaotab oma töövõime.

Üheks puhastusseadmete efektiivsust limiteerivaks faktoriks võib olla ka pH. Raua ärastuse toimumiseks peab pH olema vähemalt 6,2 „*roheline mangaaniliiva*“ puhul ning 6,8 „*birm*“ puhul. Mangaani oksüdeerumiseks on vaja, et pH oleks „*roheline mangaaniliiva*“ korral 8 ning filtermaterjali „*birm*“ kasutades vahemikus 8,0–8,5. Uuringu käigus analüüsitud põhjaveeproovide pH varieerus 7,25–7,7. Puhastatava vee pH tõstmiseks võib lisada leeliselist (tavaliselt NaOH) vesilahust vastava doseerimissüsteemi abil (Sutt 2003). Oluline on aga seejuures teada, et pH väärtusel 8,2 võib toimuda Ca^{2+} ja Mg^{2+} ionide väljasettimine (Green 1997; Appelo ja Postma 1999), mille tulemusena võivad ummistuda veetorustikud.



Joonis 5. Rauda ja mangaani puhastusastmete korrelatsioon.

Vaatamata vee aereerimisele (puhastusprotsessi käigus O_2 kontsentratsioon vees suureneb) on ka puhastist väljuva vee $Fe_{\text{üld}}$ osas Fe^{2+} oluline (joonis 1a). Väikeste $Fe_{\text{üld}}$ väärtuste korral (joonis 1b, kontsentratsioon $<0,5$ mg/l) hakkab oksüdatsiooni protsessi tulemusena domineerima kolmevalentse rauda osakaal.

Kokkuvõte

Antud uuringu käigus kogutud andemete alusel võib järeldada, et eelaereerimisega puhastusseadmed puhastavad põhjavee enamasti üldraua osas joogiveele kehtestatud nõuetele vastavaks. Mangaani sisaldus puhastusseadet läbinud vees ei vastanud nõuetele 71% juhtudest. Filtermaterjalidest osutus kõige efektiivsemaks „birm“. 20-st uuritud seadmest puhastas põhjavee nõuetele vastavaks nii rauda kui mangaani osas vaid neli veepuhastusseadet – Kooli tn, Kirsi-Veski, Võru Juust, ja Lasva. Kõigi nende veepuhastussüsteemide põhiosaks on eelaeratsioon.

Kuivõrd mangaani ärastus toimub vaid 30% juhtudest, on vaja uurida tehnoloogilisi võimalusi mangaani efektiivsemaks ärastuseks põhjaveest. Lisaks on veepuhastussüsteemi tõrgeteta toimimiseks väga oluline seadme hooldus, mis peab olema regulaarne ning vastama seadme valmistaja ja tarnija nõuetele.

Kasutatud kirjandus

Appelo C.A.J. ja Postma D. 1999. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam, 536 lk.

- Council directive 98/83/EC – on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal* L 330, 05/12/1998, 0032–0054.
- Green A. 1997. The right mix for a greensand cocktail. *Water Technology online magazine* 20, 11, 1–7.
- Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid, 2002 [https://www.riigiteataja.ee/akt/13256473]
- Joogivee tootmiseks kasutatava või kasutada kavatsetava pinna- ja põhjavee kvaliteedi- ja kontrollinõuded, 2003 [https://www.riigiteataja.ee/akt/13256510]
- Keller C. M. 2005. *Iron removal*. [http://www.ionexchange.com/service/nafta_technical.html]. 20.03.2005
- Kornel K. 2002. Veepuhastusfilter puurkaevu juures – säästlik lahendus kvaliteetse joogivee saamiseks. *Keskkonnatehnika* 1.
- Munter R., Kallas J., Trapido M., Veressinina Y. ja Loorits H. 2000. Estonian ground water: quality problems and possible technology for improvement. *International Conference Eco-Balt*, Riga, 26-27 May, 1, 17-27.
- Schmied A. 1999. Keskdevoni veekompleks. Savitskaja, L. (toim.) *Põhjavee seisund 1997.–1998. aastal*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 6–12.
- Sutt J. 2003. *Hinnang OÜ Vee-Eksperdi poolt paigaldatud joogivee puhastuse seadmetele. Ekspertarvamus*. Käsikiri Keskkonnaamet.
- Tervisekaitseinspeksioon, 2010. *Joogivee kvaliteet 2010. aastal*. Terviseamet, Tallinn, 1–15 [http://www.terviseamet.ee/keskkonnatervis/vesi/jarelevalvetulemused.html]

Mariina Hiiob (hiiob.mariina@gmail.com) – Tartu Ülikool, Loodus- ja Tehnoloogiateaduskond, Ravila 14a, Tartu 50411.

Enn Karro (enn.karro@ut.ee) – Tartu Ülikool, Loodus- ja Tehnoloogiateaduskond, Ravila 14a, Tartu 50411.

Suletud põlevkivikaevanduste ressursid – kaevandusvesi

Veiko Karu

Sissejuhatus

Eestis on mitmeid maavarade ressursse, mida kasutatakse erinevates tööstusharudes, näiteks ehituses, tsemenditootmisel, keemiliste ühendite tootmisel, energeetikas. Nendest maavaradest on tuntuim põlevkivi – meie energeetika alus tänapäeval. Eesti ei oleks energeetiliselt sõltumatu, kui meil ei oleks põlevkivi, mida on Eestis kaevandatud enam kui 90 aastat. Selle aja jooksul on maa alt välja veetud enam kui miljard tonni põlevkivi. Kogu kaevandamise aja on kasutusele võetud järjest keskkonnasõbralikumaid kaevandamisviise ja pööratud rõhku keskkonnakaitsele. Nüüdseks on loodud põlevkivi kaevandamise arengukava ja rakendusplaan, mis tagavad põlevkivi optimaalse kasutamise.

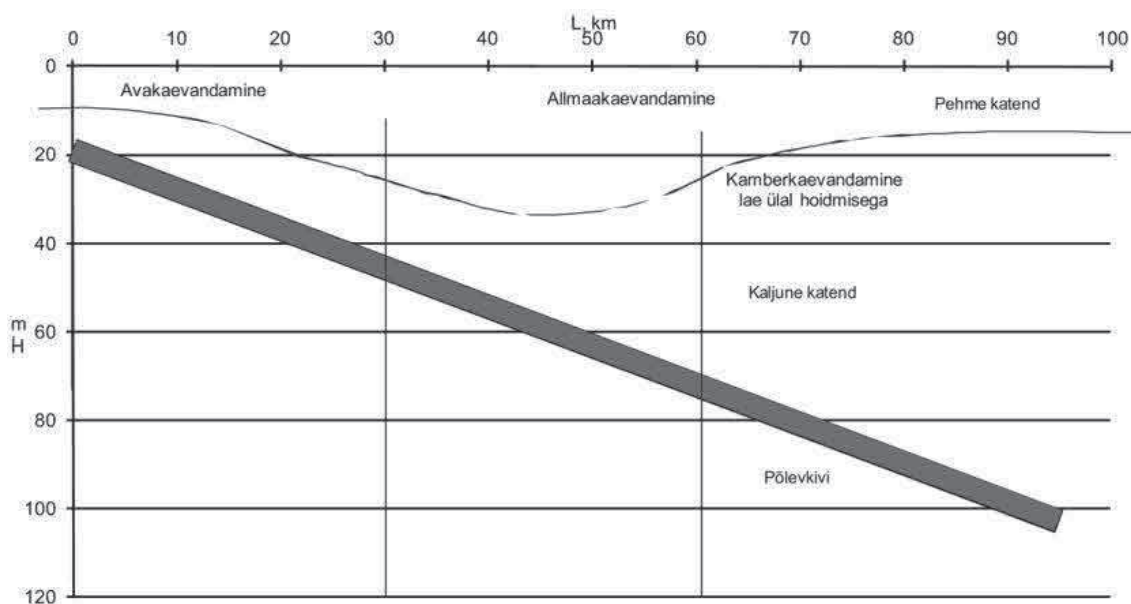
Põlevkivi kihind asub enamasti põhjaveetasemest allpool ning selle kaevandamiseks tuleb alandada põhjaveetaset. Nii on tekkinud Ida-Virumaal töötavate põlevkivikaevanduste ümber põhjavee alanduslehter. Kaevandamise lõppedes peatatakse vee pumpamine kaevandusest ja karjäärist ning põhjaveetaset hakkab taastuma kaevandamiseelsele tasemele. Nii täituvadki suletud kaevandused veega ja tekib tehnogeenne veekogum oma omadustega (Erg jt. 2007). Eesti põlevkivimaardlas on suletud kaevandustest veega täielikult täitunud Ahtme, Tammiku, Sompa ning osaliselt täitunud kaevandus nr. 4, kaevandus nr. 2, Käva, Käva 2, Kohtla, Kiviõli ning Kukruse. Kaevanduste vahele on jäetud tõkketervikud, mille tulemusel on tekkinud kaevanduste piires nn allmaabasseinid. Tõkketervik jäetakse kaeväljade (kaevanduste) vahele, tõkestamaks vee sissevoolu naaberkaevandusest, kui see peaks suletama.

Käesolev artikkel annab ülevaate, milliseid andmeid on tarvis koguda ja analüüsida, et võimalikult täpselt teada saada suletud kaevanduste piires oleva vee mahtu, mis jaguneb kolmeks: kvaternaari setetes, lubjakivi katendis ning väljatud põlevkivikihindis olevaks veeks. Arutletakse samuti, kuidas kaevandusvee ressursi saaks kasutada.

Metoodika

Topograafiliste ja geoloogiliste andmete alusel (stratigraafia, hüdrogeoloogia, LIDAR andmestik) on koostatud põlevkivi kihtide ning külgnevate kivimite lasumusmudel, mille lõiked on aluseks mäendustingimuste kirjeldamisele. Mäendustingimused, mis mõjutavad otseselt kaevandamist, jagunevad kolmeks: geoloogilisteks, tehnoloogilisteks ja

keskkonnatingimusteks. Levinuimad tingimused on maavara kihi paksus, sügavus, kaldenurk, kivimite püsivus, ekskaveeritavus jms. Mäendustingimuste alusel valitakse sobivaim kaevandamismoodus (joonis 1).



Joonis 1. Mäendustingimuste piirangud kaevandamistehnoloogiatele (Adamson jt. 2005).

Põlevkivi kaevandamise käigus kasutatud kaevandamisviisid ja teostatud mäetööd kantakse erinevatele kaevanduskaartidele, blanšettidele, joonistele. Nii on olemas hea ülevaade teostatud töödest. Võttes arvesse põlevkivi lasumust ning tehnoloogia arengut saab põlevkivimaardla keskosa kaevandatud ala jagada kaheks: põhjaosa ning lõunaosa. Põhjaosas on valdavaks kaevandamisviisiks olnud laavadega kaevandamine (käsi- ja kombainilaavad) (LISA joonis 2), lõunaosas seevastu kamberkaevandamine (joonis 3). Avatavas Ojamaa kaevanduses on kaevandamistehnoloogiaks samuti kamberkaevandamine nagu ka planeeritavas Uus-Kiviõli kaevanduses.

Käsilaavaga kaevandamine

Käsilaavaga kaevandamisel väljatakse umbes 2,8 meetrit tootsat kihindit, milleks on tavaliselt umbes 2,2–2,3 meetrine kiht alates tootsa kihindi põhjast (A kihist). Pärast kaevandamist toimub laekivimite sujuv langatamine aherainest täitevmaterjalile (täiteribadele). Laekivimite sujuvale vajumisele järgnev deformatsioon jõuab lõpule juba mõne kuu jooksul, vaid väiksemad järelvajumised toimuvad 1–2 aasta vältel. Vajumi sügavus sõltub lasumi paksusest ja on käsitletaval alal valdavalt 1 m piires. Pärast vajumise perioodi võib maapinda lugeda deformeerituks ja stabiilseks. Järelvajumised on üldjuhul võimalikud vaid siis, kui maapinnale lisandub mingi suurem lisakoormus (ehitusobjekt). Väga pika

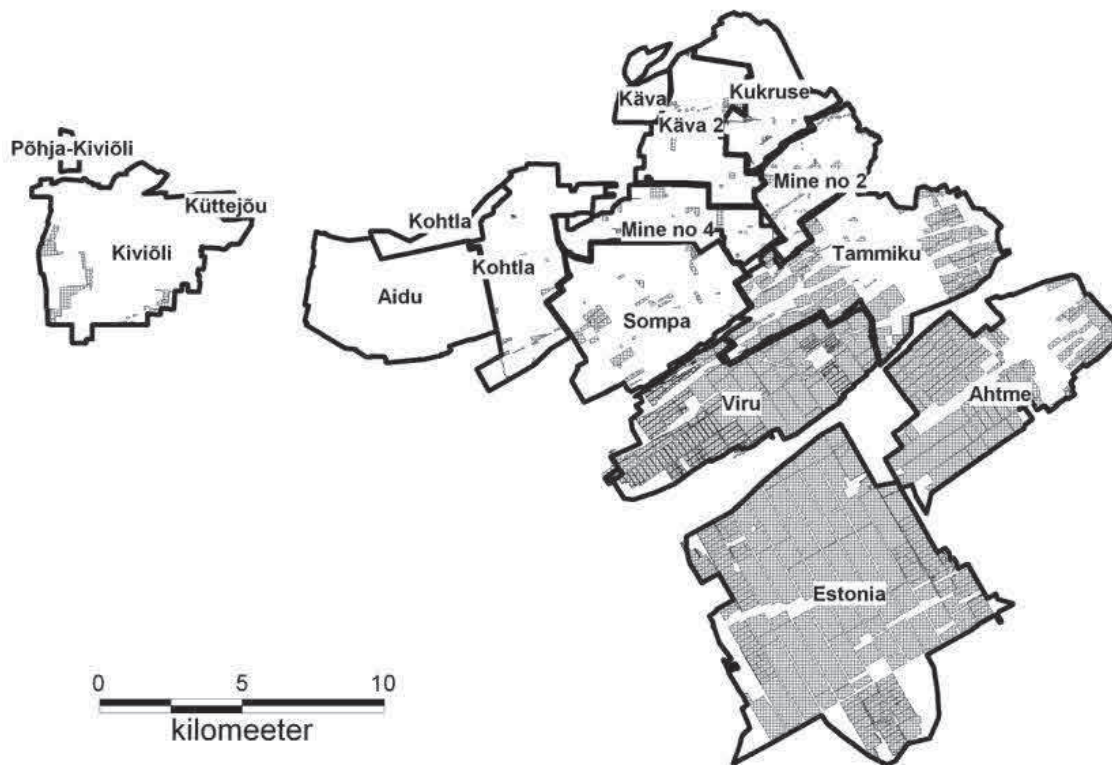
aja jooksul, eriti pärast kaevanduse uputamist, võib toimuda täiteribade lagunemise ja tihenemise protsess ning selle tagajärjel väga aeglane täiendav vajumine. Laavade lõppudes on võimalikud jääkkonsoolide hilised murdumised.

Kombainkaevandamine

Kombainidega kaevandamisel väljatakse põlevkivikihid paksusega 1,5–2,4 m ning kaevandamislaava pikkus on, sõltuvalt mäetehnilistest võimalustest (karstivööndite vahekaugusest), kuni 180 m. Põlevkivi maardlasse jääb alasid, kus väljatav paksus on 1,5–1,6 m ja laavade pikkus 600 m. Laekivimite käitlemine toimub nende täieliku langetamisena hüdraulilise murdtoestiku abil. Ka kombainilaavades võib lõppudes ja vahetervikute juures jääda osa laekivimeid konsoolina rippuma, mis teatud aja pärast võivad purunedes tekitada maapinna järelvajumisi. Kombainlaava kohal võivad tekkida kuni 1,5 m sügavused vajumid. Pika aja jooksul järelvajumised lõppevad ja pärast seda võib maapinda lugeda täiesti stabiilseks.

Kamberkaevandamine

Kamberkaevandamise puhul on väljatava kihi paksus umbes 2,8 m ehk kogu tootsa kihindi lasund. Täiustatud kamberkaevandamise puhul väljatakse ka 3,8 m paksust kihti, vastavalt sellele kuidas kaevandamistingimused võimaldavad. Põlevkivi väljamiseks kasutatakse puur- ja lõhketöid. Kamberkaevandamisel hoitakse lagi ja lasum tervikutel,

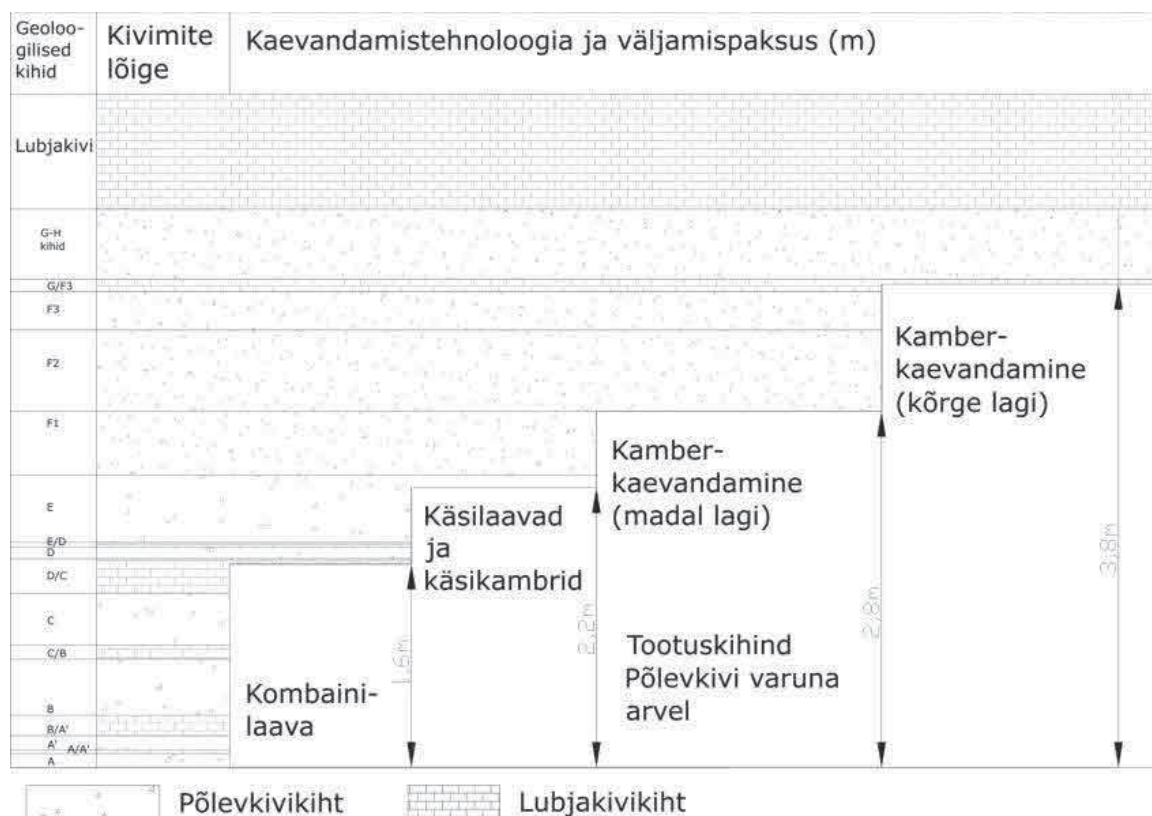


Joonis 3. Kamberkaevandamine.

mistõttu kadu hoidetervikutes on kuni 30%. Tehnoloogia nõrgaks küljeks on maapinna oleku määramatus pärast mäetööde lõpetamist. Suurimaks erinevuseks võrreldes teiste kaevandamistehnoloogiatega on asjaolu, et pärast mäetöid jäävad laekivimid paigale ja neid hoitakse ülal sambakujuliste tervikute abil, mis moodustatakse mäetööde käigus. Tervikute suurus kavandatakse sõltuvalt maapealsete objektide tähtsusest. Lage üleval hoidvad tugitervikud peaksid purunema üldjuhul 2–3 aasta jooksul, tavaliselt toimub varisemine pikema aja jooksul. Enamik väljatöötatud kambreid püsivad varinguta aastaid. Alal, kus lamami paksus ületab 30 m, pole võimalik üheselt ette öelda, kus ja millal varingut võiks oodata. Suuremal lasumissügavusel on võimalikud järelvaringud, mis tekitavad maapinna vajumeid. Erinevusi on lisaks ka kaevandamisviisi üksikelementides.

Kaevandatud maa-ala

Kaevandatud maa-ala olukord sõltub peamiselt sellest, millist kaevandamisviisi on kasutatud (Reinsalu jt. 2002). Kaevandamisviisist ning geoloogilistest tingimustest sõltub tervikute ja kambrite suurus, lae käitlemiskord, paeriitade ladumine ning lae langetamine kombainkaevandamisel. Seega jääb vastavalt eelnevale kirjeldusele kaevandatud alasse erineva suurusega tühja ruumi (joonis 4) ning olenevalt põhjavee tasemest täitub see ruum veega.



Joonis 4. Kaevandatud maa-alale jääva ruumi suurus.

Tulemus

Analüüsidest erinevaid mäetööde plaane, kaevanduste kaarte, geoloogilisi tingimusi, tootmisgraafikuid ning teisi aspekte saab välja tuua valdava tehnoloogia vastavas kaevanduses (LISA joonis 5). Kasutatud kaevandamise tehnoloogia paneb paika piirid, kui palju tühja ruumi pärast mäetööde lõppu kaevandatud alasse jääb. Kaevandusvee mahuarvutuse jaoks vajalikud andmed on toodud tabelis 1.

Arvestades ning analüüsidest kaevandatud maa-ala, kasutatud kaevandamistehnoloogia poolt maha jäetud tühja ruumi, veetaset kaevanduste piirkonnas ja geoloogilisi omadusi, on välja arvatud suletud kaevandustes olevad veemahud nii väljatud põlevkivikihindis kui ka kihindit katvates kihtides (sealt tuleb juurdevool) (LISA joonis 6). Lisaks oleneb kaevanduse piires oleva kaevandusvee maht kaevanduse suuruselt ning tema lasumusest põhjaveetaseme suhtes.

Kaevandusvee maht üksi ei ütle aga midagi, tähtis on teada millises kihis ta enamasti paikneb. Järgnevalt jooniselt (LISA joonis 7) saab teada, et suurim osa suletud põlevkivikaevanduste alal olevast põhjaveest asub väljatud põlevkivikihindis. Sügavamate kaevanduste puhul katendi kihid suurenevad ning nii suureneb ka neis oleva vee kogus.

Arutelu

Suletud põlevkivikaevanduste vee kasutamine soojusenergia allikana on üks võimalusi moodustunud tehnogeense veekogumi otstarbekaks kasutamiseks, kuna kaevandusvesi omab aastaringselt stabiilset veetemperatuuri. Teades toodetava soojusenergia vajadust saame valemi 1 alusel arvutada vajaliku kaevandusvee hulga, mida vajab soojuse tootmiseks soojuspumbajaam. Selleks et hinnata protsessi majanduslikku efektiivsust ja teades kui palju soojuspumbajaam kasutab elektrienergiat, tuleb kasutada soojustegurit (COP – Coefficient of Performance) (Eesti Soojuspumba Liit 2010). Soojusteguri väärtus määrab ära, kui palju elektrienergiat soojuspumbajaam vajab soojusenergia tootmiseks. Näiteks kui $COP = 1$, siis protsess vajab sama palju elektrienergiat kui ta suudab toota soojusenergiat (COP väärtuse arvutamine 2010).

Saadav soojusenergia kaevandusveest arvutatakse valemi (1) abil:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \text{ (kW)} \quad (1)$$

kus:

Q – saadav soojus (kW);

m – vaja minev kaevandusvee kogus (kg/s);

c – vee erisoojus (4,19 kJ/kgK);

t – muutus vee temperatuuris (K).

Kaevandatud maa-ala, km²									
Käsilaava	11.28	6.87		9.16	7.71	4.36	12.70	3.80	6.33
Käsikambrid	3.50	0.00	1.84	1.73	0	0	0.06	1.36	0.05
Kamberkaevandamine	0.29	1.70		0.79	1.08	11.81	1.86	0.55	19.22
Strekkid	0.06	0.00	0.00	0.04	0.69	0.36	0.00	0.02	0.30
Kombainilaava	0	0		0	0.95	2.74	3.52	6.41	0.46
Kaevandatud ala, km²	15.13	8.57	1.84	11.72	10.43	19.26	18.14	12.14	26.36
Kaevandusvee maht kihtides, mln m³									
Veemaht kvaternaris	3.96	3.69	1.04	4.22	3.81	12.00	10.08	5.49	12.99
Veemaht katendilubjakivis	3.94	3.40	1.37	3.56	3.48	17.33	14.46	5.30	27.62
Veemaht väljatud põlevkivikihtis	17.05	9.54	1.74	13.29	16.92	23.51	21.93	16.14	28.75
Kokku	24.96	16.62	4.15	21.06	24.21	52.84	46.47	26.93	69.36
Kaevandusvee jagunemine kihtide vahel, %									
Veemaht kvaternaris	15.9	22.2	25.1	20.0	15.7	22.7	21.7	20.4	18.7
Veemaht katendilubjakivis	15.8	20.4	32.9	16.9	14.4	32.8	31.1	19.7	39.8
Veemaht väljatud põlevkivikihtis	68.3	57.4	42.0	63.1	69.9	44.5	47.2	59.9	41.4

Analüüsimeks, kui palju tuleb elektrienergiat kasutada vajaliku soojusenergia saamiseks, on kasutatud järgnevat valemit (2):

$$COP = \frac{Q_{soojus}}{Q_{tarbitudel}} \quad (2)$$

kus:

COP – soojustegur;

Q soojus – saadav soojus (kW);

Q tarbitud el – kulutatav elektrienergia soojuse saamiseks (kW).

Arvestades kaevandusvee kõrget potentsiaali soojusallikaks soojuspumbal, on Mäetaguse vald arendamas soojuspumpa Kiikla külas, mis kasutab soojusallikana Sompka kaevanduse kaevandusvett (Karu 2010; 2011). Kaevandus piirneb põhjast endise kaevanduse nr 4 kaevandatud alaga, idas Tammiku, lõunas Viru ja läänes Ojamaa kaevandustega. Rajatud soojuspumbajaama võimsus on 500 kW, mis kasutab maksimaalselt 74 m³/h kaevandusvett. Rakendatud tehnoloogia näeb ette, et kaevandusvesi pumbatakse maa peale ja juhitakse seejärel mööda torustikku soojuspumbani (umbes 1000 m), milles alandatakse vee temperatuuri nelja kraadi võrra ning seejärel suunatakse mööda torustikku jahenenud vesi uuesti Sompka kaevanduse veebasseini tagasi, umbes 300 m kaugemale väljapumpamiskohast – nii jõuab tagasi lastud vesi kaevanduses uuesti üles soojeneda.

Kokkuvõte

Põlevkivi on Eestis kaevandatud enam kui 90 aastat. Selle aja jooksul on maa alt välja veetud enam kui üks miljard tonni põlevkivi. Lisaks põlevkivile on välja veetud põlevkivikihi lubjakivikihi ja neist on moodustunud aheraine mäed, mis nüüd ilmestavad Ida-Virumaa loodust. Kui kaevanduses ei ole enam võimalik põlevkivi kaevandada (kas tehnoloogiliselt, varu ammendumisel või majanduslikult), siis see suletakse vastavalt kehtestatud korrale. Eesti põlevkivimaardlas on suletud tänaseks maardla keskosas kümme kaevandust, viimased neist suleti 1999–2002 (Sompka, Tammiku, Ahtme ja Kohtla kaevandused). Kuna põlevkivi kihid asub enamasti põhjaveetasemest allpool, siis põlevkivi kaevandamiseks tuleb alandada põhjaveetaset. Nii on tekkinud Ida-Virumaale põhjavee alanduslehter. Kaevandamise lõppedes kaevandusest ja karjäärist vett enam välja ei pumbata ja põhjaveetaset hakkab taastuma sellele tasemele, mis oli tal enne kaevandamist. Nii täituvadki suletud kaevandused veega.

Suletud põlevkivikaevanduste vee kasutamine soojusenergia või kineetilise energia allikana on üks võimalusi moodustunud tehnogeense veekogumi otstarbekaks kasutamiseks. Veekogumi kasutamise hindamiseks tuleb arvutada võimalik vee maht, vee vooluhulk ja analüüsida võimalikke kohti veevõtuks, vee pumpamiseks või soojuspumba paigutamiseks. Analüüsiks on otstarbekas koostada mäenduslik geoinfosüsteemi mudel, milles sisaldub kivimikihtide ja maapinna geomeetiline mudel, kaevanduse tehnoloogiline ruumiline mudel ja veevoolu hüdrogeoloogiline dünaamiline mudel.

Mäetaguse vallas rajatud soojuspumbajaam kasutab soojusallikana Sompa kaevanduses olevat kaevandusvett. Sompa kaevandus, mis jääb Kiikla asula kirdeossa, suleti 12.02.2000. Kaevandus piirneb põhjas endise kaevanduse nr 4 kaevandatud alaga, idas Tammiku, lõunas Viru ja läänes Ojamaa kaevandusega. Soojuspumbajaama võimsus on 500 kW, mis kasutab maksimaalselt 74 m³/h kaevandusvett. Rakendatud tehnoloogia näeb ette kaevandusvee ringlust ja vastav torustik on rajatud külmumispiirist allapoole, et minimaliseerida talvise ilma mõju välja pumbatavale ning tagasi suunatavale kaevandusveele. Vastav projekt ei ole veel jõudnud majandusliku optimumini, kuid kui see peaks lähiaegadel saavutatama, siis on reaalne, et taolisi soojuspumbajaamu võib veel teisigi tekkida Ida-Virumaal suletud kaevanduste piirkonda.

Tänuõnad

Autori poolt teostatud uurimustöö ning käesolev artikkel on seotud TTÜ mäeinstituudi teadusuuringuga ETF grandiprojekt 7499 “Säästliku kaevandamise tingimused”, ETF grandiprojekt 8123 “Täitmine ja jääkide (jäätmete) haldamine Eesti põlevkivitööstuses”, Euroopa Liidu Läänemere piirkonna projektiga “MIN-NOVATION Mining and Mineral Processing Waste Management Innovation Network”.

Kasutatud kirjandus

- Adamson A., Reinsalu E., Valgma I., Sõstra Ü., Lind H., Tammeoja T., Tohver T., Västrik A., Karu V. 2005. *Eesti põlevkiviresursi kasutamissuundade riikliku strateegia aastani 2020 alusuuringud. Põlevkivi kaevandamise tehnoloogilise struktuuri optimeerimine.* – <http://www.ene.ttu.ee/maeinstituut/rk/>
- COP väärtuse arvutamine – http://www.answerbag.com/q_view/2038366 (30.11.2010)
- Eesti Soojuspumba Liit – <http://espel.ee/> (11.11.2010)
- Erg K., Karu V., Lind H., Torn H. 2007. Mine pool water and energy production. Rmt: *Doctoral school of energy- and geo-technology* January 15–20, 2007, Kuressaare, Estonia.

- Karu V. 2010. Amount of water in abandoned oil shale mines depending on mining technology in Estonia. Rmt: Lahtmets, R (Toim.). *9th International Symposium Pärnu 2010 "Topical Problems In The Field Of Electrical And Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II"*, Pärnu, Estonia, June 14–19, 2010 (83–85). Tallinn: Estonian Society of Moritz Hermann Jacob.
- Karu V. 2011. Underground water pools as heat source for heat pumps in abandoned oil shale mines. Rmt: *10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering", Doctoral Scholl of Energy and Geotechnology*, Pärnu, Estonia, 10-15.01.2011 (130–134). Estonian Society of Moritz Hermann Jacobi.
- Reinsalu E., Toomik A., Valgma I. 2002. *Kaevandatud maa*. TTÜ mäeinstituut, 97 lk.

Veiko Karu (veiko.karu@ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Põlvamaa maavarade varu, jätkusuutlikkus ja kaevandamistehnoloogia võimalused

Raili Kukk ja Veiko Karu

Sissejuhatus

Põlvamaa pindalaga 2164,77 km², keskmise asustustihedusega 13,6 in/km² kohta ja elaniku arvuga 30889 (seisuga 01.01.2010.) asub Kagu-Eestis (Statistikaamet 2011). Põlvamaaga külgnevad maakonnad on Tartumaa, Valgamaa ja Võrumaa.

Maastik on oma iseloomult rikkalik ja mitmekesine. Lääneosas asub Otepää kõrgustik, keskosas Kagu-Eesti lavamaa ning idas Peipsi-äärne madalik. Maakonnas on 128 järve ja palju rabasid ning soid (ligi kümnendik maakonna territooriumist). Esinevad männi- ja segametsad. Maakonnas on kaitse alla võetud Ahja, Võhandu ja Piusa jõe äärsed liivakivipaljandid ja neid ümbritsev ürgorumaastik. 8,5% maakonna kogu pindalast moodustavad kaitse alla võetud loodusobjektid (Põlvamaa arengukava 2011).

Toimub nelja erineva maavara kaevandamine: liiv, kruus, turvas ja muda. Liiva peamised kasutusala on üldehitus, vormiliiv, täiteliiv, täitepinna, teedeehitus, remont ja hooldus. Kruusa kasutatakse samuti teedeehituses ning üldehituses. Turvast kasutatakse aiandus-, allapanu- ja kütteturbana. Muda kasutatakse raviotstarbel Värska sanatooriumis.

Käesolev artikkel kajastab Euroopa Liidu Läänemere piirkonna projekti „MIN-NOVATION Mining and Mineral processing Waste Management Innovation Network“ Eestiseseid tulemusi, keskendudes Põlvamaa olukorrale.

Meetodid

Põlvamaa maavarade varu aasta lõikes on saadud statistikaameti andmebaasi kasutades. Töös on kasutatud samuti keskkonnainfo andmebaase ja Põlvamaa 2011–2017 aasta arengukava. Andmete põhjal on moodustatud Põlvamaad iseloomustavad tabelid, graafikud, millede põhjal on saadud teada mida, kus, kuidas ja kui palju Põlvamaal kaevandatakse. Keskkonnainfo kaudu oli võimalik vaadata, mis ettevõtted Põlvamaal kaevandavad, lubade kehtivuse kuupäevi, varude suurusi, milline on kaevandatav maavara, korrastamise plaanid jne. Arengukava kirjeldab maakonna hetke seisut, lahendamist vajavaid probleeme ning tuleviku plaane.

Tulemused

Põlvamaal on kokku 15 maavara maardlat, millest üheksa on liivamaardlad, kaks kruusamaardlad, neli turbamaardlad ja üks ravimudamaardla. Üleriigilise tähtsusega maardlaid on kaks: Piusa liivamaardla ja Värskas järvemudamaardla. Põlvamaal kaevandavaid ettevõtteid on 16: AS Ropka Liiv, AS Avraal, AS Kagu-Eesti Turvas, AS O-I Production Estonia, AS Põlva Maaparandus, AS Põlva teed, AS Värskas Sanatoorium, Kagu Teedevalitsus, Maanteeamet, OÜ AAV Teenused, OÜ Eesti Kivivabrik, OÜ Kangru Karjäär, OÜ Krüüdneri Karjäär, OÜ Piusa Kaevandused, OÜ Sõreste Karjäär, Riigimetsa Majandamise Keskus (Keskkonnainfo 2011).

Põlvamaa ehitusmaavarade toodang aastatel 1992–2009 on olnud muutlik. 2002. aastast on ehituskruusa ja -liiva kaevandamine järk-järgult kasvanud, jõudes haripunkti 2007. aastal. Turba kaevandamine võrreldes kruusa ja liivaga on tagasihoidlik. Näiteks 2009. aastal oli liiva toodang 12,6 ning kruusa toodang 9,4 korda suurem kui turba toodang. Põlvamaa maavarade toodangut iseloomustab järgnev joonis (LISA joonis 1).

Olemasolev maavara varu ei tähenda veel, et sellest maavarast toimub tootmine. Põlvamaal ei kaevandata 2009. aastal varudena esinevaid tehnoloogilist- ja keraamikaliiva ning tsemendi- ja keraamikasavi. Tartumaal ja Võrumaal on olemas samuti sellised maavara varud, mida 2009. aastal ei kaevandatud.

Diskussioon

Võrreldes lähimaakondadega on maavarade esinemine sarnane: liiv, kruus ja turvas. Erinevalt teistest maakondadest kaevandatakse naabervallas Võrumaal ka tehnoloogilist- ja keraamikaliiva ja ehitusdolomiiti (tabel 2).

Maavarade jätkumine sõltub varust, kuid kui nõudlust ei ole, siis pole toodanguga midagi peale hakata. Eelpool toodud jooniselt (LISA joonis 1) on näha, et ei piisa varu teadmisesest ja olemasolust selleks, et prognoosida maavarade jätkumist, kuna aastate lõikes on see erinev ja nõudluse puudumisel mõnda maavara ei toodetagi (tabel 1).

Olulist rolli mängib tooraine kaugus kasutatavast objektist: ettevõtete kaugus turgudest, toorainest, tehnoloogiast, ettevõtlusalaste koolituste kaugus ja erialaspetsialistide nappus. Suurem osa Põlvamaa toodangust kasutatakse maakonnasiseselt. Näiteks on Põlvamaa teedevõrgustik küll tihe, kuid suur hulk teedest on kruusateed (Maanteeamet 2011). Põhjuseks on see, et maakonnas lubjakivi maavara varuna ei esine, kuid selle eest on kruusa varud piisavad.

Tabel 1. Maavarad, mida ei toodeta 2009. aasta toodangu põhjal.

Maavarad mida ei toodeta 2009. a. toodangu põhjal					
Piirkond	Maavara	Ühik	Toodang 2009. aastal	Varu	Jätkumine, [a]
Pölvamaa	Tehnoloogiline- keraamikaliiv ja	tuhat m ³	0	4747,5	Ei toodeta
	Tsemendi- ja keraamikasavi	tuhat m ³	0	2849	
	Järvemuda	tuhat tonni	0	1067,9	
Tartumaa	Tsemendi- ja keraamikasavi	tuhat m ³	0	1477	
	Järvelubi	tuhat m ³	0	455	
Võrumaa	Hästilagunenud turvas	tuhat tonni	0	52657,7	
	Tsemendi- ja keraamikasavi	tuhat m ³	0	4823,4	
	Raskeltsulav ja keramsiidisavi	tuhat m ³	0	341	
	Ehituslubjakivi	tuhat m ³	0	769	

Tabel 1. Maavarade jätkumine 2009. aasta toodangu põhjal.

Maavarade jätkumine 2009. a. toodangu põhjal					
Piirkond	Maavara	Ühik	Toodang 2009. aastal	Varu	Jätkumine, [a]
Põlvamaa	Vähelagunenud turvas	tuhat tonni	3,8	6424	1691
	Hästilagunenud turvas	tuhat tonni	5,3	18369	3466
	Ehitusliiv	tuhat m ³	114,6	39574,6	345
	Ehituskruus	tuhat m ³	85,2	8627,2	101
Tartumaa	Vähelagunenud turvas	tuhat tonni	24,2	9642,6	398
	Hästilagunenud turvas	tuhat tonni	82,3	103038,3	1252
	Ehitusliiv	tuhat m ³	187,9	53272,9	284
	Ehituskruus	tuhat m ³	104,2	8784,8	84
Valgamaa	Vähelagunenud turvas	tuhat tonni	6,3	5353,1	850
	Hästilagunenud turvas	tuhat tonni	1,2	25643,8	21370
	Ehitusliiv	tuhat m ³	172,3	60341,2	350
	Ehituskruus	tuhat m ³	85,9	6354,8	74
Võrumaa	Vähelagunenud turvas	tuhat tonni	14,2	3141	221
	Ehitusliiv	tuhat m ³	63,5	80161,8	1262
	Ehituskruus	tuhat m ³	217,9	9458	43
	Tehnoloogiline- ja keraamikaliiv	tuhat m ³	16,7	4506,1	270
	Ehitusdolomiit	tuhat m ³	50,6	7134,2	141

Tehnoloogia mõistes on ehitusliiva ja kruusa kaevandamine üsna lihtne, sest tehnoloogia ja tehnika (iseegi konstruktiivsed parameetrid nagu nõlvanagerad, karjääride veeärastus jm.) on sarnased nõuetele, mis kehtivad ehituseski. Liiva ja kruusa vee alt ammutamine on võrreldav vesiehituse tavaprotsessi – süvendamisega (Reinsalu 2011). Siiski on kruusa ja liiva kaevandamistehnoloogia erinevaid võimalusi kokku 13 (tabel 3). Enamasti kasutatakse selleks erinevaid ekskavaatoreid või buldoosereid. Selleks, et teada saada kindla ettevõtte kõige optimaalsem kaevandamistehnoloogia, tuleb teha katseid ja arvutusi, mille juures arvestatakse konkreetseid mäendustingimusi ja -masinate näitajaid (nt. suurus, mark, vanus jm).

Tabel 3. Kruusa ja liiva kaevandamistehnoloogia võimalused (Valgma 2005).

Kruusa ja liiva kaevandamistehnoloogiad	Tehnoloogiad, mida ei kasutata
Hüdrauliline pöördekskavaator	Frontaalesikombain
Mehaaniline pöördekskavaator	Mehaanilised kiilud
Hüdrauliline pärikoppekskavaator	Pindesikombain
Mehaaniline pärikoppekskavaator	Pneomakiilud
Paljukopiline ekskavaator	Hüdrokiilud
Vee alt ammutamine	Hüdrovasar
Kobesti ekskavaator	Ketassaag
Rootorekskavaator	Trosssaag
Kobesti buldooser	Ketssaag
Frontaallaadur	
Pinnasepump	
Buldooser	
PLT	
13 erinevat võimalust	

See kuidas kaevandada, sõltub kõige rohkem ettevõtte finantsilistest võimalustest ning tasuvuse aspektist. Jätkusuutlikkus on Põlvamaal raskendatud, kuna suur osa ettevõtetest on mikro- ja väikeettevõtted. Põlvamaa SKP oli statistikaameti 2007. aasta andmete põhjal vaid 49,7% Eesti keskmisest (Statistikaamet 2007). Seega on vaja arendada väike- või keskmise suurusega ettevõtteid ja tõsta nende tootlikkust. Tuleb otsida uusi lahendusi, jagada kogemusi ning parimad lahendused juurutada. Oluline on ettevõtete koostöö informatsiooni vahetamises, mille tulemusena saavad ettevõtted oma kaevandamise tegevust kaudselt juhtida.

Kokkuvõte

Käesoleva artikli eesmärk oli anda lühiülevaade maavarade kaevandamisega tegelevatest ettevõtetest Põlvamaal, näidata maavarade varude suurust, toodangut ja prognoositud jätkumist. Põlvamaal on kokku

15 maardlat, millest üheksa liivamaardlad, kaks kruusamaardlad, neli turbamaardlad ja üks ravimudamaardla. Üleriigilise tähtsusega maardlaid on kaks: Piusa liivamaardla ja Värskä järvemudamaardla. Maakonnas toimub nelja erineva maavara kaevandamine: liiv, kruus, turvas ja muda. Põlvamaa ehitusmaavarade toodang 1992-2009. aastatel on olnud muutlik. Turba kaevandamine võrreldes kruusa ja liiva omaga on tagasihoidlik. Maavarade jätkumine sõltub varust, kuid nõudluse puudumisel pole toodanguga midagi peale hakata ning olulist rolli mängib siin tooraine kaugus kasutatavast objektist. Jätksuutlikkus on Põlvemaal raskendatud, kuna suur osa ettevõtetest on mikro- ja väikeettevõtted. Seega on vaja arendada väike- või keskmise suurusega ettevõtteid ning tõsta nende tootlikkust. Tuleb otsida uusi lahendusi, jagada kogemusi ning parimad lahendused juurutada. Oluline on ettevõtete koostöö informatsiooni vahetamises, mille tulemusena saavad ettevõtted oma kaevandamise tegevust kaudselt juhtida.

Tänuõnad

Uurimustöö on seotud TTÜ Mäeinstituudi teadusuuringuga “Säästliku kaevandamise tingimused” (ETF grant nr. 7499) ja Euroopa Liidu Läänemere piirkonna projektiga “MIN-NOVATION Mining and Mineral Processing Innovation Network“.

Kasutatud kirjandus

Statistikaamet: <http://stat.ee/> (17.07.11.)

Põlvamaa arengukava:

http://www.polvamaa.ee/public/files/POLVAMAA_ARENGUKAVA_24.05.11_heakskiidetud.pdf (29.08.11.)

Keskkonnainfo: <http://www.keskkonnainfo.ee/> (21.07.11.)

Maanteeamet: <http://www.mnt.ee/> (29.08.11.)

Reinsalu E. 2011. *Eesti mäendus*. Tallinna Raamatutrükikoda, lk 133

Valgma I. 2005. Ehitusmaterjalide kaevandamine ja varud. *Eesti Mäeseltsi Mäekonverentsi 2005 kogumik*. Infotrükk, lk. 37–38.

Raili Kukk (railikukk@gmail.com) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Veiko Karu (veiko.karu@ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn.

Veebilansi müüt – laialt levinud eksiarvamus

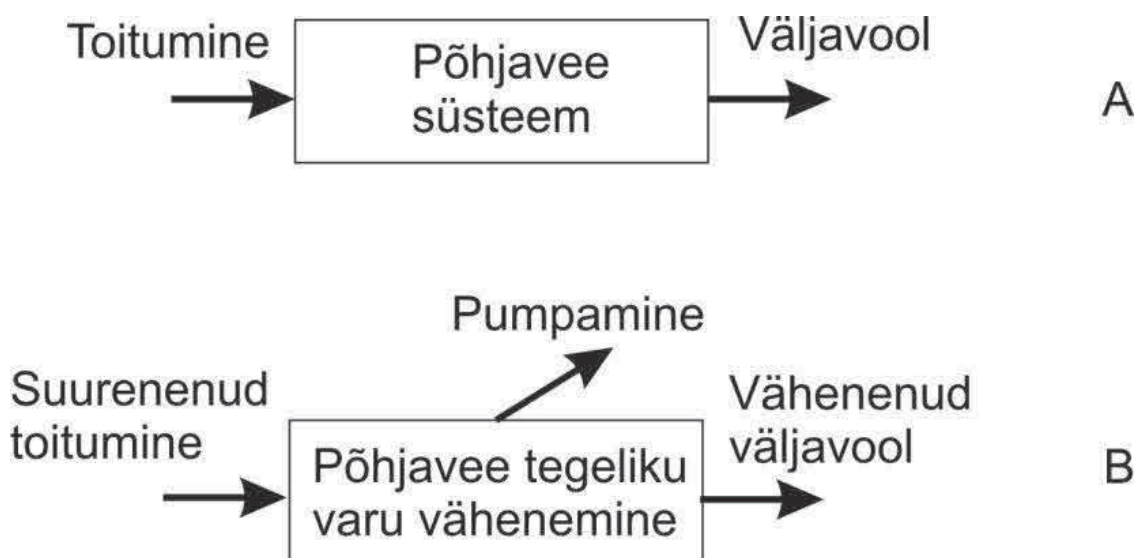
Andres Marandi ja Maile Polikarpus

Paljud meist on kuulnud väidet, et Eestis on piisavalt sademeid ning seetõttu ei ohusta vee tarbimine ülemiste põhjaveekihtide kvantiteeti. Näiteks kui planeeritakse karjääri või muud suuremat põhjavee eralduse projekti, siis eeldatakse, et sademed kompenseerivad viimaste mõju. Põhjusi toodud näitele tuleb otsida põhjavee bilansi müüdist, mille tõttu eksivad tihti oma arusaamistes isegi põhjavee spetsialistid.

Põhjavee bilansi müüt seisneb väites, et kui põhjavee tarbimine jääb väiksemaks kui on põhjaveekihi looduslik toitumine, siis põhjaveevarude vähenemine meid ei ohusta (Sophocleous 2000; Seward jt. 2006). Tegelikuses ei ole põhjaveekihi looduslikul bilansil mingit otsest mõju ohutule või jätkusuutlikule põhjavee tarbimisele.

Põhjavee tarbimise mõju veebilansile

Enne põhjavee kasutamise algust on looduslikus seisukorras oleva põhjaveekihi seisund ligilähedane dünaamilisele tasakaaluseisundile. See tähendab, et teatud geoloogilise aja jooksul on sissevoolud põhjaveekihti võrdsed väljavooludega. Kliimast tulenevad kõikumised võivad küll tasakaalu lühiajaliselt rikkuda, kuid järgnevad tsüklid kompenseerivad selle uuesti (joonis 1a).



Joonis 1. Pumpamise mõju põhjaveekihi veebilansile (Alley ja Leake 2004 järgi).

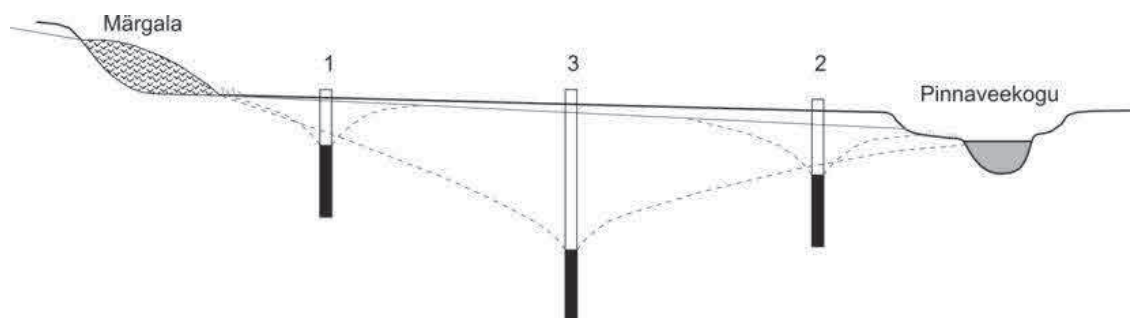
Vee väljapumpamisega rikutakse põhjaveekihi looduslik tasakaal ning pumpamise algperioodil voolab vesi puurkaevudesse kivimites oleva põhjaveevaru (i.k. *storage*) arvelt. Uus tasakaaluline seisund saabub alles siis, kui kivimite põhjaveevaru enam ei muutu. Sellisel juhul on põhjaveekihist välja võetud veehulk balansseeritud suurenenud toitumisega ning vähenenud väljavooluga (joonis 1b).

Veehulka, mida on võimalik põhjaveekihist kätte saada lisajuurdevoolu või vähenenud väljavoolu arvelt, nimetatakse inglise keelses kirjanduses põhjavee saagiseks (*capture*). Enamasti väheneb pumpamise tagajärjel põhjaveekihist välja voolava vee hulk, aga teatud juhtudel võib suurenda toitumine. Täpsemalt on põhjaveekihtide bilansiarvutuste põhimõtteid käsitletud Keskkonnatehnika 2011. aasta 2. väljaandes (Marandi 2011).

Bilansiarvutustes tuleb täiesti erinevalt käsitleda vabapinnalisi ja survelisi põhjaveekihte, kuna põhjavee voolamise põhimõtted on neis erinevad. Kõige suurem erinevuste vahe seisneb selles, et veetaseme muutumisel, näiteks pumpamise tagajärjel, väheneb oluliselt vabapinnalise põhjaveekihi veega küllastunud kihi paksus ja sellest tulenevalt ka kihi veejuhtivus. Seega alandatakse vabapinnalise põhjaveekihi korral konkreetse põhjaveekihi taset ja selle varu.

Survelise põhjaveekihi puhul langeb pumpamise tagajärjel küll põhjavee survetase, kuid ei muutu kihi veejuhtivus. Sisuliselt liigub vesi survelikes põhjaveekihis puurkaevu rõhkude erinevuse ning veekihi skeleti ja vee kokkusurutatavuse arvelt. Pumpamine alandab vee poolt põhjaveekihi skeletile põhjustatud rõhku, mistõttu veekiht kompakteerub ning vesi hakkab liikuma madalama rõhu suunas. Samamoodi toimub vastupidine protsess – kui kihis põhjavee survetase tõuseb, siis vesi paisutab põhjaveekihti.

Surveta põhjaveekihist vee väljapumpamise näide on toodud joonisel 2. Ohutu põhjaveetarbimise hulk surveta põhjaveekihi puhul sõltub seega peamiselt: (1) veevõtu kaugusest põhjaveega ühenduses olevatest pinnaveekogudest; ja (2) põhjaveekihi hüdrodünaamilistest omadustest.



Joonis 2. Veevõtu mõju põhjaveekihi piirialadele sõltuvalt veevõtu asukoha paiknemisest.

Joonis 2 näitab põhjaveevõtu olulist mõju nii veekihi toitumisele kui väljavoolule, sõltuvalt sellest kummale on tarbimine lähemal. Kui tarbimine on 1. asukohas, siis balansseeritakse veevõtt suurenenud sissevooluga ehk toitumise arvelt ning 2. asukoha puhul väheneb väljavool põhjaveekihi. Kolmanda kaevu asukohas on võimalik aga tarbida looduslikust toitumisest oluliselt suuremat veekogust, kuna väljavool pinnaveekogusse on muudetud toitumiseks.

Ohutu põhjaveevõtt ja jätkusuutlik põhjaveevõtt

Algselt tehti bilansiarvutusi vaid põhjaveekihi ohutusest lähtuvalt, kuid alates 1987. aastast hinnatakse veevõtu mõju nii põhjaveekihile kui ka sellega seotud pinnaveekogudele ning ökosüsteemidele (märgala, taimekooslused jne). Sellest tulenevalt on termini „ohutu põhjaveevõtt“ (i.k. *safe yield*) asemel kasutusel „jätkusuutlik põhjaveevõtt“ (*sustainable yield*) (Marandi 2011).

Seega annab vabapinnaliste põhjaveekihtide loodusliku bilansi, s.h. ka loodusliku toitumise teadmine, lihtsa ettekujutuse toimivast põhjaveesüsteemist. Ohutu põhjaveevõtu suuruse määrab ära maksimaalne võimalik muutus põhjaveekihi toitumises ja väljavoolus ning jätkusuutliku põhjaveevõtu puhul tuleb lisaks arvestada mõjuga põhjaveekihtidest sõltuvatele pinnaveekogudele ning ökosüsteemidele.

Kohalik põhjaveevaru

Surveliste põhjaveekihtide puhul on veevõtt sageli põhjaveekihi servadest kaugel. See tähendab, et neis säilib mittetasakaaluline seisund pikemat aega ning veevõtt toimub kivimites oleva veevaru arvelt. Seetõttu jõuab veevõtu mõju maapealsete süsteemideni oluliselt hiljem ning võib avalduda alles mitme inimpõlve järel (Sophocleous 2000). Mandel ja Shiftan (1981) toovad põhjaveevarude arvutamisel lisaks kogu veekihi bilansile veel uue mõiste, s.o. kohalikud põhjaveevarud. See tähendab, et vaatamata suurele, põhimõtteliselt kasutatavale põhjaveevarule kogu kihis, on võimalik ühe koha peal kasutada vaid väikest osa, mis on piiratud kohalike hüdrogeoloogiliste tingimustega. Lihtsamalt öeldes, ei ole võimalik ühe suurkaevuga välja pumbata kogu põhjaveekihi veevaru.

Eestis näiteks võivad olla suured põhjaveevarud kogu Cm-V põhjaveekompleksis, kuid rannikul piirab veekasutust võimalik merevee sissetung põhjaveekihti juhul, kui põhjavee survetase viiakse meretasemest madalamale. Lõuna-Eesti surveelistes põhjaveekihtides kasutatakse vett peamiselt üksteisest kaugel asuvates asulates. Kõigis neis veevõtupunktides

on põhjaveekihi piir suhteliselt kaugel võrreldes selles asukohas vajaliku veehulga ning veevõtust põhjustatud maksimaalse põhjavee alandusega.

Surveliste põhjaveekihtide puhul ei tohi survetaset alandada alla poole põhjaveekihi ülemist pinda, kuna siis hakatakse kuivendama juba põhjaveekihti ning sellega rikutakse konkreetse koha põhjaveekihi veejuhtivusomadused ning puurkaevude erideebitid võivad järsult langeda. Siit tulenebki survealiste põhjaveekihtide kohalik põhjaveevaru piir, mis määrab ära maksimaalse veehulga, mida saab välja võtta ühes punktis ilma, et survetase langeks alla poole põhjaveekihi ülemist pinda.

Põhjaveehaarete vastastikuse mõju hindamine

Lisaks hüdrogeoloogilistele piirangutele on põhjaveetarbimises olemas ka seaduslikud piirangud, ehk teiste õigus kasutada põhjavett. Põhjaveevarude tarbimine on muude maavarade ammutamisest erinev seetõttu, et põhjaveevõtt ühes piirkonnas mõjutab ka teise piirkonna varude hulka. Viimasest tulenevalt on ka Eesti seadustes nõue, et alates tarbimisest 500 m³/d tuleb hinnata põhjaveevarude olemasolu ning sealhulgas hinnata mõju teistele, läheduses olevatele veehaaretele (Veeseadus 1994). 500 m³/d on võetud piiriks, kuna alates sellest eeldatakse, et põhjaveevõtul on juba oluline piirkondlik mõju.

Kui veevarude aruanne annab ühelt poolt infot põhjaveevõtu mõju suuruse kohta, siis teisalt garanteeritakse selle põhjal tarbijale fikseeritud koguses veekasutuse õigus 27 aastaks. Juhul, kui piirkonda tulevad uued üle 500 m³/d tarbijad, peavad nad hindama oma veehaarde mõju olemasolevatele veehaaretele ja väiketarbijatele. Näiteks on toodud Viljandi veehaarde asukoht ning mõjuraadiused (joonis 3). Sellest kaugemale võiks lubada ühe veehaarde rajamise, mille veevõtu mõju Viljandi veehaarde puurkaevude põhjavee survetasemele jääb alla 1,5 m ehk ei ohusta Viljandile antud põhjaveevaru.

Arvutuste aluseks on Viljandi veehaarde kasutustingimused, mille järgi on veehaardest lubatud võtta maksimaalselt 7000 m³/d põhjavett ning sellise tarbimise juures jääb arvutuste kohaselt põhjavee survetase 1,5 m kõrgemale põhjaveekihi ülemisest pinnast (Salu 2009). Viljandi linna Tomuski veehaare tarbib Siluri veekihi vett. Siluri veekihi hüdrodünaamilised parameetrid on määratud hüdrogeoloogiliste uuringute käigus ning Siluri veekihi keskmiseks kihi veejuhtivuseks (T) on saadud 190 m²/d ning piesojuhtivuseks (a) 500 000 m²/d (Välkmann jt. 1983). Puurkaevu lubatud minimaalne kaugus Viljandi veehaardest sõltuvalt puurkaevu tarbimise hulgast on arvutatud lekketa, piiramatu levikuga, survealise põhjaveekihi kohta mittetasakaaluslistes tingimustes, järgneva valemiga (Bear 1979):

$$r = \sqrt{\frac{2,25Tt}{S}} \exp\left(-\frac{4\pi Ts}{Q_w}\right)$$

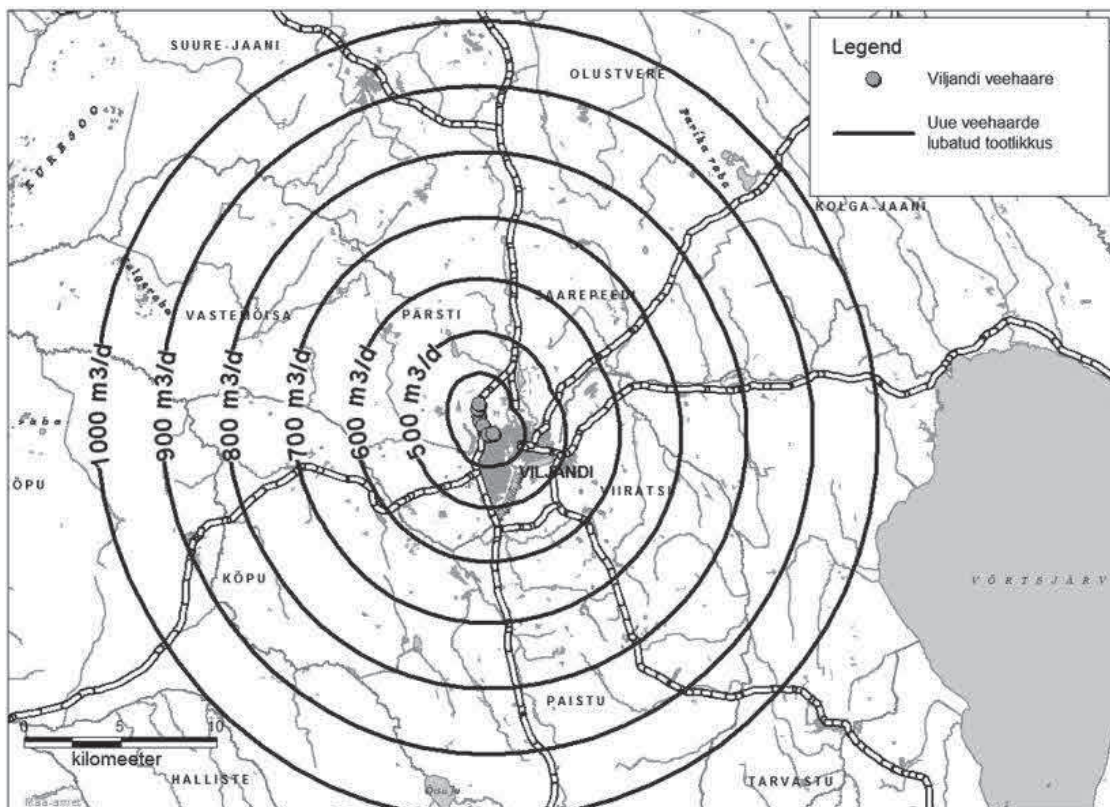
Kus r – on vahemaa Viljandi ja uue veehaarde vahel

T – kihi veejuhtivus $190 \text{ m}^2/\text{d}$

s – lubatud alandus, antud arvutustes on kasutatud – $1,4 \text{ m}$

S – veeand, mis saadakse, kui kihi veejuhtivus jagada piesojuhtivusega – $S=T/a=190/500000 \text{ m}^2/\text{d}$

Q_w – rajatava veehaarde tootlikkus (m^3/d), arvutustes kasutati iga joone jaoks $500\dots1000 \text{ m}^3/\text{d}$.



Joonis 3. Lubatud maksimaalse suurusega veetarbijate kaugus Viljandi veehaardest.

Lähtuvalt arvutustest, mille tulemused on toodud joonisel 3, ei saa näiteks ühte $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ veehaaret või kahte $500 \text{ m}^3/\text{d}$ veehaaret rajada lähemale kui 20 km või siis ühte veehaaret tootlikkusega $500 \text{ m}^3/\text{d}$ ei saaks rajada lähemale kui $3,8 \text{ km}$.

Kokkuvõte

Kokkuvõtteks võib öelda, et ohutu või jätkusuutliku põhjaveevaru määramisel ei oma tarbimiselne looduslik põhjaveekihi toitumine mingit

mõju. Surveta põhjaveekihtide puhul on vajalik hinnata eelkõige muutuste mõju põhjaveekihi piiridel ning varude suuruse piirajaks on mõju põhjaveest sõltuvatele pinnaveekogudele ning ökosüsteemidele. Surveliste põhjaveekihtide puhul ei pruugi põhjavee looduslik varu omada suurt tähtsust seetõttu, et kasutuse hulga piiravad ära kohalikud hüdro-geoloogilised tingimused või siis juriidilised piirangud.

Kasutatud kirjandus

- Alley W. M. ja Leake S. A. 2004. The journey from safe yield to sustainability. *Ground Water* 42 (1), 12–16.
- Bear J. 1979. *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill Inc, 569 lk.
- Mandel S. ja Shiftan Z.L. 1981. *Groundwater Resources Investigation and Development*. Academic Press Inc., New York, 269 lk.
- Marandi A. 2011. Mille arvelt tuleb vesi puurkaevudesse ja kaevandustesse. *Keskkonnatehnika* 2/2011, 9–11.
- Salu M. 2009. *AS Viljandi Veevärk poolt Viljandi linnas kasutatavate põhjaveevarude ümberhindamine*. AS MAVES.
- Sophocleous M. A. 2000. From safe yield to sustainable development of water resources, and the Kansas experience. *Journal of Hydrology* 235(1–2), 27–43.
- Seward P., Xu Y. ja Brendock L. 2006. Sustainable groundwater use, the capture principle, and adaptive management. *Water SA* 32 (4), 473–482.
- Veeseadus. 11.05.1994. *RT I* 1994, 40, 655.
- Välkmann S. Savitski L. ja Jaštšuk S. 1983. *Põhjavee varude arvutus tegutseval Viljandi veehaardel (seisuga 1.01.1983.a.)*. Geoloogia Valitsus.

Andres Marandi (andres.marandi@gi.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086.

Maile Polikarpus (maile.polikarpus@gmail.com) – Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, Ravila 14A, Tartu 50411.

Ökosotsiaalne elulaad ja maa ressursid – ka inimvara on loodusvara

Rein Einasto

Ökosotsiaalse all mõistan rahvakeeli süsteemset loodus- ja inimsõbralikkust (Radermacher 2005), kus eluviisi põhitingimuseks on looduse ja inimtegevuse tasakaal. Seega, ökosotsiaalne ei ole ei ultraroheliselt looduskeskne ega liberaalselt (läänelikult) inimkeskne; ökosotsiaalne on idamaisele, orientalsele lähedane, saamise ja loobumise tasakaalus ellusuhtumine ning tegutsemisviis. Miks vajame ökosotsiaalsust eluvaatena?

Planetaarset loodust teadusmehe silmaga vaadeldes on selgeks saanud: Lääne moodi enesekeskset ahnitsevat elu jätkates on inimese võimalused ammendumas. Tajume üha pealesunnitumalt, et elame väärtushinnangute ja elulaadi üha kiirenevate muutuste maailmas, kus vabaturumajanduslik kapitalism on „õhtal“ (s.t. juhtiva majandussüsteemina end ammendanud), sest ta pole ei säästlik ega jätkusuutlik. Selle majandussüsteemi olemuslikuks aluseks on piiramatu kasv. Seda eeldusel, et ressursid on ammendamatud, aga kasvul on piirid (Meadows jt. 1972).

Inimene kui vaimne liik, mõistusega olend, on samas vaieldamatult suurim parasiit kogu planeedi Maa miljardeid aastaid kestnud elus. Ta on aastatuhandeid omaenese elukeskkonda lühinägeliku isikliku kasu nimel kahjustanud, elades mõistusevastaselt järjest ulatuslikumalt muu looduse ja liigikaaslaste arvel nagu vähk-kasvaja. Siin on peidus III aastatuhande alguse inimühiskonna ning looduse ähvardavad paradoksid (Einasto 2010a).

Majanduskäsitlustes jaotatakse Maa ressursid küll loodusvaraks ja inimvaraks, aga olemuslikult on inimene kui liik ka alamliigi (*Homo sapiens sapiens*) tasandil osa loodusest koos oma evolutsioonis kujunenud põhitunnuse – vaimusega. Seega, Maa ressursside üle arutledes peame sellesse lülitama ka inimvara. Kas sellest midagi põhimõtteliselt ka muutub? Kui liikide tekkimine loodusliku protsessina on reaalsus, millesse me teaduslikke põhjendusi arvestades usume, võib inimsoo kui liigi elu jätkuda vaid alamliik *Homo sapiens ethicuse* ilmumise kaudu veel meie eluajal. Kes seda võimalikuks peab, peab kohe täna teele asuma, loobumisi ja materiaalseid enesepiiranguid enesestmõistetavaks lugema ning kogukonna vajadusi isiklikest üliluslikeks pidama. Vaimset rikkust primaarseks hinnates, kultuuri kui sihti ja majandust kui vahendit omaks tunnistades.

Maa on Loodu kõiksuses vaid kübe, meile aga terve maailm. Biosfäär – elukeskkond – hõlmab ülemise osa litosfäärist, kogu hüdrofääri ja

alumise osa atmosfäärist, kus põimuvad nii loodus-, kultuuri-, tehis- kui ka vaimne keskkond. Odav, kergesti kättesaadav loodusressurss on ammen- dumas, toimetulev ühiskond eeldab järjest kõrgemalt ja sügavamalt haritud meistreid kõigile elualadele, aga nende koostis järjest kallineb. Siit tuleneb ka inimvara kiire kallinemine massilisele tööpuudusele vaatamata.

Majandusvabaduse ökoloogilised ja sotsiaalsed piirangud on möödapääsmatud. Eetilised põhiväärtused: roheline ellusuhtumine, üldinimlik **hoolivus** ja **õiglus** ühiskonnas tervikuna määravad inimkonna ellujäämise. Kuipalju on meie teha, kas õhtule järgneb pikk pime öö või suudame muutused tuua Põhjala valgete ööde suveaega, mil hämarik ulatab koidule käe?

Monokultuurne põllumaa, suurlinnad, kiirteed, tohutu arv kaevandusi, maaõli jt. taastumatute kütuste pillav põletamine on mastaapselt muutnud Emakese Maa palgejooni. Kasutades möödunud sajandi mõttehiiglase Vladimir Vernadski (1863–1945) väljendust, siis on inimtegevus muutunud kaasaja suurimaks geoloogiliseks jõuks. Siit ka tema kaugeleulatuvad mõtted **vaimse keskkonna** ehk noosfääri tähendusest planetaarsele loodusele ja ühiskonnale (Вернадский 1967, 1977; Соколов 1988). Vernadski põhilooming peaks küll olema eesti lugejale kättesaadav emakeeles, koguteos tema vaimsest pärandist oleks Entsüklopeedia- kirjastuse vääriline kingitus rahva keskkonnatunnetuse süvendamise ja avardamise vajalikul teel.

Teine möödunud sajandi suurvaim, Albert Schweitzer (1875–1965), kuulutas inimsoo eetilise alusena ülimusliku hoiaku „**Aukartus elu ees!**“. Kultuurne inimene vajab selle suurmehe vaimse loomingu tähtsusesse „Kultuur ja eetika“ talletatud tarkusi nagu värsket metsaõhku autodest lämbuvas linnas. Üheks juhtmõtteks tänasel Tuhala Nõiakaevu ümbruse looduse kaitsmisel kõlab ettekuulutavalt tema ütetus: „Kaev jäi kuivaks sellepärast, et meie mõtlemine ei küündinud püsiva põhjaveeni“ (Schweitzer 1984).

Õhtumaine lääs püüab õnnelikuks saada kasvavate vajaduste maksimaalse rahuldamise teel läbi ainelise rikkuse, elukestvalt teisi valitseda soovides, võimupiire laiendades, mis lõpuks viib pillavale, raiskavale ületarbimisele, teiste kulul nautlevasse hedonismi. Vabatahtlikult ennast laenuorjusse müümisega toetub ta mitte olemasolevale, vaid ebakindlale tulevikule.

Hommikumaise ida aastatuhandete elutarkus on õnne taotlemisel toetumine minevikule, seniloodule, olemasolevale ja kõigest mittevajalikest **loobumine**. Enesesse pöördumise, sisemaailma vaimse rikastumise teel saavutatakse enesevalitsemine ruumis ja ajas. Loodus on seda kestmiseks vajalikku voorust inimliigis enim andnud „emale“, mida eriti peaks arvestama poliitikas. See emalik elukäsitus on eluterve konservatiivsus –

tagada jätkusuutlikkus ainelise ja vaimse säästmise kaudu. Võim peaks enam toetuma emalikult hoolivale vaimule ning väikerahvastel on siin võimalus olla eeskujuks (Einasto 2010a).

Maavarad ja kaevandamiskultuur, maastikukujundus ja -hooldus

Arenenenud majandusega maades on maavarade uuringud ja kaevandamise planeerimine riigiasutuste ülesanne; meie õhukeses riigis on see kaevandavate erafirmade kohustuseks jäetud ning sellega seoses suuromanike erahuvidel allutatud, kus esikohal on enamasti (aga mitte alati!) kasum, mitte loodushoid, säästlikkus, maastikukujundus ja -hooldus. Kaasaegsest keskkonnatunnetusest ja säästva arengu seadusest lähtuvalt peab üldriikliku maavarade strateegia eelistuseks olema alternatiivita nõue, et enne puutumatusse loodusesse ja vee alla kaevandama minekut tuleb väljata: (1) jääkvarud senistes karjäärides, ka kruusakarjääridega avatud paelasundist; (2) ehituste alla planeeritud alade varud; ning (3) paekõvikutel paiknevad põhjaveepealsed varud.

Esmaelistuseks peab saama maastikukujundus, kus kasuliku maavara kaevandamine oleks vahendi rollis. Aastakümneid keskkonda raskelt reostavaile hiigelkarjääridele tuleb eelistada väikekarjääre, mille rekultiveerimise tähtaeg oleks alla 10 aasta, rajades neid ainult kohaliku rahva poolt soovitud piirkonda. See on demokraatliku elukorralduse alustõde, millest praeguses Eestis enamasti ei hoolita. Kaevandamisel tekkivast kasumist peab senisest oluliselt suurem osa tagasi tulema kohalikule elanikkonnale nn. maavara eripensioni kujul, sest kohalik elanik on seatud sundseisu, kes peab taluma kaevandamisega kaasnevaid keskkonnamuutusi ja reostuskoormusi. Kohalike elanike huvisid lugupidavalt arvestamata ei ole võimalik ka nende usaldust võita. Karjääride vägivaldne rajamine kohalike valdade elanike tahte vastaselt on arendajate siseriiklik okupatsioon ja aegumatu riiklik kuritegu oma maa rahva vastu (Einasto 2010b, 2010c, 2011; Einasto ja Kalmu 2011).

Hoolimatu mõtlemisviis on vabaturumajandusliku ahnitseva elulaadi vaimne reostus. Probleemide üks põhjusi on võimukandjate sügavalt ebaõiglane suhtumine üldrahvalikku maaomandisse. Kui eraomand loetakse pühaks ja puutumatuks, siis väärtustatakse üldrahvalikku (riiklikku) omandit uskumatult madalalt, mida müüakse oluliselt odavamalt ning kuhu lubatakse keskkonna vaenulikke karjääre rajada põlisrahva tahte vastaselt. Küsime, kus on veenvad näited kaevandamisjärgsest kaunilt kujundatud väike-veekogudest, mis ilmestaksid külamaastikku ja veenaksid kohalikke omagi külale väikese selgeveelise järve rajamist tellima? Kus riikliku paeressursi väljamine ei oleks omaette eesmärk, mis põliselanikes vastuseisu tekitab, vaid vahend maastikukujunduses? Selliseid näiteid seni

veel ei ole. Ainus reaalne tee riikliku vägivalla vastu on vabal tahtel kodanikualgatuse korras sobivasse paika tellida väikese ajaga valmiv veekogu. Just selliste positiivsete näidete alusel saaks kohalikke elanikke veenda, esitades kaevandamiskavadega üheaegselt väga piiratud tähtajaga (5–8 aastat!) rajatava väikekarjääri rekultiveerimisplaani. Tulevase veekogu nõlvade kujundamise saaks teha üheaegselt põhjavee-pealse kaevandamisega ja kogu veepinnast sügavamale jääv maht väljatakse ühekordse kiirkaevandamise korras ühel kuival suvel (veetasel aastaid alandamata). Hoolikalt puhtaks tehtud põhjaga ja korrastatud külgedega karjääri täitumine toimub seejärel isereguleeruvalt sademeterikkal aastaajal ning sel viisil taastub loomulik põhjavee tase jälgi jätmata. Sellised kaevandused saavad olla küll suhteliselt väikesemahulised, et kogu veealune kaevandamine mahuks ühe kuivaperioodi sisse, aga neid võib samas luua arvukamalt. Kogu kaevandamine toimuks pehmete meetoditega inimsõbralikult, kus oluliselt suurem osa maavarast kaevandatakse põhjavee pealispinnast kõrgemal. Kõvikutele kujundatud veesilmad ilmestaksid paepaloo tasast väheliigestatud reljeefi olulisel määral, mitmekesisdades nii kultuurikeskkonda sobivas, teadlikult valitud suunas ja puhkemajanduslikke sihte silmas pidades. Igas sellises kõviku-süvendis saab veepealse läbilõikeosas kujundada terrassilise näidisseina, mis kujuneb paeriigile omaseks oluliseks vaatamisväärsuseks ning erakordselt hinnaliseks vaatlusobjektiks loodusteadlastele ja kivihuvilistele. Sel viisil sünniks igale paikkonnale omanäoline sümbol – paesein. Maastikukujunduses avanevad uued mitmekesisust suurendavad võimalused. Sihipäraselt kujundatud veekogu naabruses oleva maa hind tõuseks oluliselt ja oleks ka turumajanduslikult kasumlik.

Kõik ülaltoodud maastikukujundust ja kaevanduskultuuri käsitlevad mõttearendused seonduvad kõige otsesemalt maa ressurside – loodus- ja inimvara – aina keerukamaks paisuvate probleemidega. Nende käsitlemise ja lahendamise eelduseks on täiesti uus mõtlemis- ja eluviis. Kas me oleme valmis nendeks tõsisteks muutusteks oma maailmavaates? Sellest sõltub, kas suudame püsima jääda indiviidina, perena, rahvana ja inimkonnana Homo sapiens ethicuse mõistes.

Kasutatud kirjandus

- Einasto R. 2010a. Keskkonnakultuurist kultuurikeskkonnas. Inimene maailmas. *Keskkonnatehnika* 5, 42–45.
- Einasto R. 2010b. Röövkaevandamise vaimsest reostusest loodushariduskeskuseni. Rmt: *EGK Aprillikonverentsi „Eesti maapõu ja selle kasutamine“ teesid*, Tallinn, 34–37.
- Einasto R. 2010c. Paepoliitikast Jõelähtme mail. *Jõelähtme vallaleht N 161*, nov.
- Einasto R. 2011. Maastikukujundus ja kaevandamiskultuur. *Eesti Loodus* 2, 16–17.

- Einasto R. ja Kalmu M. 2011. Keskkonnakultuurist kultuurikeskkonnas. Ökosotsiaalse (loodus- ja inimsõbraliku) kaevandamise võimalustest Jõelähtme piirkonnas. *Keskkonnatehnika* 3/201, 44–45.
- Radermacher F.J. 2005. *Tasakaal või häving. Ökosotsiaalne turumajandus kui üleilmse jätkusuutliku arengu võti*. Eesti Entsüklopeediakirjastus, 216 lk.
- Meadows D.H., Meadows, D.L., Randers J. ja Behrens III W.W. 1972. *The Limits to growth: a report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Books.
- Schweitzer A. 1984. *Kultuur ja eetika*. Tallinn, Eesti Raamat, 296 lk.
- Вернадский В. И. 1967. *Несколько слов о ноосфере*. Биосфера, Москва, Мысль с 356.
- Вернадский В.И. 1977. *Размышления натуралиста: Научная мысль как планетарное явление*. Москва, Наука, с. 29.
- Соколов Б. С. 1988. *Вернадский и XX век*. Природа с. 6-15.

Rein Einasto (rein.einasto@hot.ee) – Tallinna Tehnikakõrgkool, Pärnu mnt. 62, 10135 Tallinn.

Sõjad ressursside pärast Varadünastilises Sumeris ja Akkadis (2800–2154 e.Kr.)

Vladimir Sazonov

Ressursid on alati mänginud inimkonna jaoks olulist rolli ning on lausa hädavajalikud. Nii nagu maavarad (nafta, gaas, metallid) mängivad tänapäeva maailmas suurt rolli, nii oli see ka muistsetel aegadel Rooma impeeriumis, Vanas Kreekas, muistses Egiptuses, Vanas Hiinas ja Mesopotaamias. Inimestel on alati olnud suur vajadus ressursside järele – vaja on olnud absoluutselt kõike: vett, kive, puitu, vääriskive, metalle. Ilma kõige selleta ei oleks võimalik ühiskonna ja tsivilisatsiooni eksisteerimine. Nende pärast on tihti peetud sõdu ja enamasti oli teatud hetkel olukorra peremees just see, kes kontrollis ressursse. Esimesed mainitud ja dokumenteeritud sõjad maavarade ning muude ressursside pärast peeti juba muistses Sumeris, III eelkristlikul aastatuhandel. Lõuna-Mesopotaamia (Sumeri alad, tänapäeval Lõuna-Iraak) oli viljakas maa ja IV eelkristlikuks aastatuhandeks kujunes seal välja maailma üks vanimaid tsivilisatsioone – Sumeri tsivilisatsioon – kellel polnud puitu, kive, ega metalle, olid vaid stepid, kõrb ja oasid. Selleks, et teha ehitustöid, valmistada relvi, tööriistu, luua kunstiesemeid jne. oli vaja tuua kaugelt kive, puitu, vääriskive, metalli. Alati ei olnud võimalik läbi kaubanduse saada piisavalt ressursse, sageli oli vaja teha vallutus- ja röövretki naabermaadesse, et hankida vajalikke materjale. Käesolevas artiklis vaatleme põgusalt kahte perioodi Mesopotaamia ajaloo – Varadünastilist Sumerit (2800–2334 e.Kr.)¹ ja sellele järgnenud Akkadi ajastut (2334–2154 e.Kr.).

Liibanoni mets ja Gilgameši eepos

Mesopotaamiasse toodi Liibanonist puitu, põhjast tuli vask ning Iraani aladelt ja Zagrose mägedest toodi kive, aga ka puitu ja vääriskive. Liibanoni puidu tähtsust mesopotaamlaste – sumerlaste, akkadlaste, assüürlaste ja babüloomlaste jaoks kinnitavad mitmed ajaloolised kroonikad, raidkirjad ja ilukirjanduslikud tekstid. Isegi maailma vanimas eeposes „Gilgameši eeposes“, mis käsitleb muistse kangelase Gilgameši elulugu (kes oli Sumeris Uruki kuningas ja keda pärast surma jumalikustati), on juttu sellest, et Gilgameš ja ta sõber Enkidu tegid Sumerist retke Liibanoni, et võita demonlik koletis Humbaba (ehk Huwawa), kes elas

¹ Dateeringud on väga ligikaudsed ja tinglikud. Mil täpsemalt algas Varadünastiline ajastu Sumeris pole teada, aga kusagil ca 2800–2700, sama on Akkadi ajastuga, mille algust võib dateerida 2340 a. 2334, 2330, 2316 jne.

seedrimetsades Liibanonis ja kaitses neid metsi. Selle retke põhjuseks polnud ainult Humbaba üle võidu saavutamine, vaid kindlasti ka seedrite toomine Uruki linna. Pärast seda, kui Gilgameš ja Enkidu tapsid Humbaba, hakkasid nad raiuma puid (Gilgameši eepos, V tahvel, lk. 120–121; Humbaba kohta vt. Civil 2003, lk. 77–86). See pole ajalooline sündmus, kuid kajastab reaalselt olukorda – just Liibanonis kasvas seedrimets, mida ihaldasid sumerlased, akkadlased, hiljem assüürlased ja babüloomlased.

*Gilgameš puid maha lõikas,
Enkidu valis välja sobivat puitu.*
(Amar Annuse tõlge, Gilgameši eepos V tahvel, lk. 121)

Seejärel ehtasid nad parve ja hakkasid transportima puitu Eufrati jõe kaudu Urukisse (Gilgameši eepos, V tahvel, lk. 121). See on küll legend, aga ka tegelikkuses pöörasid juba muistsed sumerlased tihtipeale oma ahned pilgud nii Liibanoni (Vahemere rannik), kui ka rikka Elami (asus Loode-Iraani aladel Pärsia lahe kandis) poole selleks, et tuua sealt omale erinevaid ressursse. Mõnes mõttes võib öelda, et sõda ressursside pärast inimkonna ajaloos saigi alguse Elami ja Sumeri konfliktidest, kus Sumer ja teised Mesopotaamia tsivilisatsioonid olid sõjakamad ja ressursside poolest vaesemad.

Muidugi leidsid aset ka tihedad kultuurilised ja majanduslikud sidemed. Sumerlased, akkadlased, ning hiljem assüürlased ja babüloomlased tegid sadu ja sadu retki Elamisse, et tuua sealt kive, puitu ja metalli, hiljem ka hobuseid. Elamlased tegid vasturetki, et maksta kätte ja tõrjuda kõik mesopotaamlased Elamist nii kaugelt kui võimalik.

Sumeri kuningate sõjad ressursside pärast Varadünastilisel ajal (2800–2334 e.Kr.)

Esimesed kuninglikud raidkirjad Sumerist on pärit ajast ca 2800–2700 aastat e.Kr., mil Põhja-Sumeri linnriigis Kišis valitses kuningas En-Mebaragesi. En-Mebaragesit on mainitud samuti hilisemas sumerikeelses lugulaulus „Gilgameš ja Akka“ Kiši kuninga Akka isana ning samuti ka teistes ilukirjanduslikes tekstides. Loo „Gilgameš ja Akka“ kohaselt oli Kiši kuningas Akka Uruki kuninga Gilgameši rivaal, kellega Gilgameš pidi võitlema hegemoonia pärast Sumeris (vt. Sazonov ja Veede 2005, 49-53; vt. Gilgameši kohta ka IDV I, 169).

En-Mebaragesi on esimene kindlaks tehtud ajalooline isik Mesopotaamia ajaloos (elas 28–27 saj. e.Kr.), kellest on säilinud mõned väga lakoonilised raidkirjad. Näiteks sumerikeelne raidkiri EN.ME-baragesi E1.7.22.1 kõlab nii „1.) Me-bára-[si]“ ja ülejäänud tekst on hävinenud,

kohe järgneb lakuun (RIME 1, EN.ME-barage-si E1.7.22.1, rida 1, lk. 57). Siin on näha, et säilis vaid valitseja nimi – En-Mebaregesi. Veel üks tekst on ülilakooniline, aga siiski rohkem loetav. Sellel tekstil on D. Frayni järgi antud järgmine numeratsioon – EN.ME-barage-si 1.7.22.2 ning siinkohal ma toon sumerikeelse transliteratsiooni: 1) Me-bára-si 2) lugal 3) [K]IŠ (RIME 1, EN.ME-barage-si 1.7.22.2, lk. 57). Tõlkes see kõlaks nii: „(En)-Meberagesi, Kiši linna valitseja (e. kuningas)“.

Nagu võib näha olid esimesed Sumeri kuningate raidkirjad väga lühikesed, kuid aegamööda muutusid need üha pikemaks, keerulisemaks ja detailsemaks. Mainimisväärt on ka asjaolu, et kõige varasem informatsioon Sumeri-Elami suhetest ning Elami poliitilise ajaloo kohta, on samuti pärit valitseja En-Meberagesi raidkirjadest (RIME 1, lk 37; ХИИЦ 1977, 67). Douglas Frayne kirjutab: „*Relatively little is known of the political struggle between Mesopotamia and Elam in ED times. The SKL mentions King EN.Me-barage-si of Kiš as one „who carried off (ass spoil) the weapons of Elam...“*“ (RIME 1, lk. 37). Seega esimene raidkiri ja „ajalooline ürik“ räägib meile Sumeri sõjast Elamiga generatsioon enne Gilgameši valitsemist. Kui Gilgameši kohta pole tõestatud, kas ta oli ajalooline isik, kuid nii arvatakse, siis En-Meberagesi – Gilgameši peamise vastase Akka isa – oli ajalooline isik, kellest on säilinud raidkirjad (vt. En-Meberagesi kohta näiteks Michalowski 2003, lk. 195–208). Teda ja samuti Gilgameši mainiti hilisemas sumerikeelses kroonikalaadses kuningate nimistus „Sumeri kuningate nimekiri“. See on sumerikeelne kuningate nimistu, mis mainib valitsejaid, kes valitsesid Sumeris aegade algusest kuni ca 2000 e.Kr. Nimekirja sattusid nii mütoloogilisi ja legendaarseid isikuid kui ka realselt valitsenud isikuid (IDV I, lk. 163-167). Lisaks kirjutatakse valitsejatest ka „Tummali ajaloo“ (lühike sumerikeelne tekst, mis mainib valitsejaid, kes tegid III eelkristliku aastatuhande jooksul ehitustöid Tummali templis Nippuri linnas. Tummali tempel kuulus jumalanna Ninlile, kes oli sumerlaste peajumala Enlili² abikaasa („Tummali ajaloo“ kohta vt. Sazonov 2006, lk. 93–95; vt. ka Oelsner 2003, lk. 209–224). En-Meberagesi tegi vähemalt ühe vallutus- või röövretke Elamisse, aga võibolla ka rohkem. En-Meberagesi hoopleb, et „viis sõjasaagina relvad Elami maalt ära“ (IDV I, lk. 168; ХИИЦ 1977, lk. 67).

Sumeri kuningate seas on teada ka palju teisi valitsejaid, kes võitlesid Elamiga. Ressursid (puit, kivid jms.) olid sumerlaste jaoks üks peamiseid probleeme. Oli vaja puitu, et ehitada laevu, kive ja teisi ressursse, mida Sumeris seda ei olnud. Seetõttu tegid Sumeri kuningad retki Edela-Iraani aladele Elamisse, tõid puitu Liibanonist või hankisid vajalikud ressursid

² Enlil – sumerlaste peajumal. Kuningavõimu patroon. Peamine residents asus Nippuris. Jumalanna Ninlil oli Enlili abikaasa ja Tummali tempel oligi pühendatud talle.

hoopis lõunast (Omani kandist) või siis said neid kaubanduslikul teel. Näiteks 26. või 25. saj. e.Kr. Sumeri linnriigis Lagašis valitsenud Ur-Nanše tegi oma riigis palju ehitustöid ja oli üsna võimas valitseja teiste Sumeri valitsejate seas (IDV I, lk. 195). Temalgi tuli puitu ja kive hankida väljaspool Sumerit. Näiteks Ur-Nanše raidkirjas Ur-Nanše E 1.9.1.2 on olemas selline koht (RIME 1 Ur-Nanše E 1.9.1.2, lk. 84), mille kohaselt tuleb välja, et Lagaš vajab puitu ning sai seda tribuudina Dilmuni saarelt, mis asus Pärsia lahes. Seda, et Ur-Nanše sai tribuuti Dilmunilt puiduna, mainib ta korduvalt oma mitmetes raidkirjades (RIME 1 Ur-Nanše E 1.9.1.22, lk. 109; RIME 1 Ur-Nanše E 1.9.1.23, lk. 110 jne.). Nii Elam, kui ka Dilmud ja teised maad olid tihti sumerlaste – Lagaši, Kiši, Uri, Uruki, Adabi, Umma ja teiste Sumeri linnriikide valitsejate – agressiooni sihtmärgiks ja ohvriteks, kuna nad tahtsid kontrollida tähtsaid kaubanduslikke teid ning saada maavarasid (metalli, s.h. vaske, tina, hõbedat, aga ka puitu ja kive, näiteks dioriiti, vääriskive nagu lasuriit jne). Üks tähtsamaid Lagaši valitsejaid sumerlane Eanatum pidas 24. saj. e.Kr. naabritega palju sõdu ja oli edukas vallutaja (IDV I, lk. 195–198). Mitte vähetähtis oli ka tema soov kontrollida alasid, kus oli palju metsa ning mäed, mis olid rikkad metalli ja kivide poolest. Näiteks kirjutas Eanatum oma raidkirjas E-anatum E1.9.3.1, et ta „[võiti]s Elami ja Subartu, metsa ja aarete (poolest) rikkad mägised maad“ (transliteratsioon RIME 1 E-anatum E1.9.3.1, rev. vi 10-12, lk. 139).

Akkadi kuningate (Sargoniidid, 2334–2154 e.Kr.) katsed saavutada kontroll tähtsamate muistse Lähis-Ida ressursside üle

Aastal 2334 e.Kr. tuli Põhja-Sumeri linnas Kišis võimule akkadlane³ Sargon I (2334–2279 e.Kr.), kes oli edukas vallutaja ning allutas endale terve Sumeri, seejärel Põhja-Mesopotaamia ja Elami ning lõi esimese võimsa tsentraliseeritud suurriigi maailma ajaloos, vallutades praktiliselt terve Mesopotaamia. Ta rajas võimsa Akkadi kuningriigi ning tema järglased – Sargoniidide dünastia ehk Akkadi kuningate dünastia – valitsesid muistises Mesopotaamias ca 180 aastat (Akkadi ajastu kohta vt. lähemalt IDV I, lk. 233–255; Sazonov 2007, lk. 325–341; Sazonov 2008, lk. 195–214). On teada, et alates Sargon I keskenduvad Akkadi kuningad eriti Lääne-Iraani ja Põhja-Süüria aladele. Sargoniidid ehk Akkadi kuningad tahtsid need alad oma ülemvõimule allutada just nende loodusliku rikkuse pärast. Liibanonis, mis asub Vahemere rannikul, kasvas väga võimas seedrimets ja see mets meelitas nii varadünastilisi Sumeri

³ Akkadlased – ida-semiidi hõimud, kes elasid Mesopotaamias ja olid sumerlaste naabrid. Akkadlane Sargon I vallutas Sumeri ja lõi võimsa Akkadi suurriigi Mesopotaamia aladel.

kuningaid, kui ka Akkadi kuningaid, hiljem ka Uus-Sumeri, Babüloonia ja Assüüria valitsejaid. Põhja-Süürias olid aga metallide leiukohad ja Iraanis oli kivi. Seetõttu üritasid Mesopotaamia valitsejad, kelle territooriumil seda kõike polnud, aktiivselt need alad oma kontrolli alla saada, vahel isegi meelegeitlikult. Terve hulk linnu, linnriike ja väikseid kuningriike langesid Akkadi kuningate agressiooni ohvriteks. Ebla, Simurru, Mari jt. territooriumid olidki need maad, mida Akkadi kuningad vahetevahel rüüstaas ja vallutas käisid (van de Mierop 2004, lk. 63).

Näiteks Sargon I poeg kuningas Maništušu (2269–2255 e.Kr.) tegi mitmeid vallutusretki ning nendelgi oli „majanduslik“ ajend. Maništušu tungis nii Elamisse kui ka Maganisse (tänapäeva Omaan) (OBO 160/3, lk. 44). On säilinud üks Maništušu raidkirja koopia, mis kirjeldab Akkadi kuninga sõjalist ekspeditsiooni Omaani – Maništušu 1 (FAOS 7, 75-77.), Maništušu C1 (FAOS 7, 76, lk. 220–222.): „*Maništušu, maailma kuningas, pärast seda kui ta Anšni ja Šerihumi (Širihumi) vallutas, (läbi) Alumise mere laevadel ujuda lasi. Linnad mere teisel poolel (arvuga) 32 lahingus ühinesid, aga tema (Maništušu) (need) alistas ja nende linnad vallutas, nende valitsejaid surmas. Ning jõgedest ... kuni väärismetallide kaevandusteni (maa) ta vallutas. Mäed Alumise Mere teisel poolel: nende mustad kivid ta tõi, ja laevadele laadis peale ja Akkadi kai juurde randuda lasi. Oma kuju valmistas ja (jumalale) Enlilile selle pühendas. Šamašit ja Aba't ma manan: pole vale, ...Kes selle raidkirja hävitab, tolle Šamaš (variant: Enlil) ja Ištar (variant: Šamaš) tema juured võivad välja tõmmata ja tema seemned välja nokkima“.* (vt. originaali FAOS7, lk. 75–77; vt. ka D.R. Frayne tõlget RIME 2 Man-istūšu E2.1.3.1, lk 75–76)

Lisaks sellistele röövretkedele, said Akkadi kuningad (Sargon, Rimuš, Maništušu, Naram-Su'en) vasallriikidest tribuuti hõbedas, vases, tinas, kivis, vääriskivis, puidus jne. Samuti toimus aktiivne kaubandus ja kaubalaevad käisid Akkadi kuningate ajal kauba järel mitte ainult Maganis (Omaan) ja Dilmuni saarel (Bahrein), aga ka Meluhhas (Induse org). On teada, et hiljem tegi Maništušu poeg kuningas Naram-Su'en (23. saj. e.Kr.) retke üle Pärsia lahe ja vallutas Magani. Seega Naram-Su'en tegi katse saada oma kontrolli alla eluliselt tähtsad ressursid (van de Mierop 2004, lk. 63).

Taolised sõjad ja retked jätkusid muistses Lähis-Idas sajandeid ja aastatuhandeid hiljem ja need olid just sõjad ressursside pärast.

Kokkuvõte

Nagu on näha, leidsid esimesed ajalooliselt fikseeritud sõjad ressursside pärast inimkonna ajaloos aset juba III eelkristlikul aastatuhandel

muistses Lähis-Idas. Hiljem pidasid ressursside pärast sõdu assüürlased, babüloomlased, pärslased, roomlased jt.

Võib oletada, et taolised konfliktid tekkisid veelgi varem kui seda on teada sumeri ja akkadi tekstidest. Samas, esimesed kindlad andmed selle kohta, et sumerlased, seejärel ka akkadlased ja teised muistse Lähis-Ida rahvad pidasid sõdu ressursside pärast, on olemas juba Varadünastilisest ajastust (2800–2334 e.Kr.) ehk 4400–4800 aastat tagasi. Seega kindlalt saab väita sõdu ressursside pärast kunagises Mesopotaamias ja selle lähialadel alles sellest ajast alates.

Lühendid

SKL – Sumerian King List – Sumeri Kuningate Nimekiri

Kasutatud kirjandus

- Civil 2003: Civil M., Reading Gilgameš II: Gilgameš and Huwawa, *Literatur, – Politik und Recht in Mesopotamien, Festschrift für Claus Wilcke*, Herausgegeben von W.Sallaberger, K.Volk, A.Zgoll, *Orientalia Biblica et Christiana* 14, Harrassowitz Verlag, Wiesbaden, 2003, lk 77–86.
- FAOS 7: Gelb I.J., Kienast B., *Die altakkadischen Königsinschriften des Dritten Jahrtausends v.Chr.*, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 1990.
- Gilgameši eepos*, Akkadi keelest tõlkinud ja seletused kirjutanud Amar Annus, Bibliotheca Antiqua, TLU Press, Tallinn 210.
- IDV I: Дьяконов И.М.(ред.), *История древнего Востока, часть первая, Месопотамия*, Главная редакция восточной литературы, Наука, Москва, 1983.
- Michalowski 2003: Michalowski P., A Man Called Enmeberagesi, – *Literatur, Politik und Recht in Mesopotamien, Festschrift für Claus Wilcke*, Herausgegeben von W.Sallaberger, K.Volk, A.Zgoll, *Orientalia Biblica et Christiana* 14, Harrassowitz Verlag, Wiesbaden, 2003 lk 195–208.
- OBO 160/3: Westenholz A., Sallaberger W., *Mesopotamien: Akkade-Zeit und Ur III-Zeit*, in: *Orbis Biblicus et Orientalis* 160/3, Annäherungen 3, P.Attinger-M.Wäfer (hrsg.), Universitätsverlag, Freiburg, Schweiz, Vandenhoeck&Ruprecht, Göttingen, 1999.
- Oelsner 2003: Oelsner J., Aus den sumerischen literarischen Texten der Hilprecht-Sammlung Jena: Der Text der Tummal-Chronik, *Literatur, Politik und Recht in Mesopotamien, Festschrift für Claus Wilcke*, Herausgegeben von W.Sallaberger, K.Volk, A.Zgoll, *Orientalia Biblica et Christiana* 14, Harrassowitz Verlag, Wiesbaden, 2003, lk 209–224.
- RIME 1: D. R. Frayne, *Presargonic Period, The Royal Inscriptions of Mesopotamia, Early Periods* Volume 1, University of Toronto Press, Toronto – Buffalo – London, 2008, lk. 57.
- RIME 2: D.R., Frayne, *Sargonic and Gutian Periods (2334-2113 BC), The Royal Inscriptions of Mesopotamia, Early Periods*, Volume 2, University of Toronto Press, Toronto-Buffalo-London 1993.

- Sazonov, Veede 2005: *Muinasaja kirjanduse antoloogia*, Annus A. (koost.); (tõlkijad) Annus A., Heltzer M., Kasemaa K., Masing U., Puhvel J., Sazonov V., Soosaar S.-E., Stadnikov S., Veede R., 2005, Varrak, Tallinn, lk 49–53.
- Sazonov 2006: Сазонов В., История Туммаля, – *Альманах Воздушный Змей*, (koostja ja toim) Kotjuh I., Tartu, lk 93–95.
- Sazonov 2007: Sazonov V., Vergöttlichung der Könige von Akkade, – *Studien zu Ritual und Sozialgeschichte im Alten Orient/Studies on Ritual and Society in the Ancient Near East*, Beihefte zur Zeitschrift für alttestamentliche Wissenschaft, Band 374, (editor) Thomas Richard Kämmerer, Walter de Gruyter & Co, Berlin, lk 325–341.
- Sazonov 2008: Sazonov V., Akkadi kuningavõim kui arhetüüp, – *Ajalooline Ajakiri* 2008/3, lk 195–214.
- Van de Mieroop 2004: Van de Mieroop M., *A History of the Ancient Near East ca. 3000-323. BC*, Oxford, 2004.
- Хинц 1977: Хинц В., *Государство Элам*, Издательство «Наука», Главная редакция восточной литературы, Москва 1977.

Vladimir Sazonov (sazonov@ut.ee) – Tartu Ülikool, Filosoofiateaduskond, Kultuuriteaduste ja kunstide instituut, Orientalistika keskus, Jakobi 1, 50090 Tartu; Tartu Ülikool, Usuteaduskond, Lähis-Ida vanade keelte ja kultuuride õppetool, Ülikooli 18, 50090 Tartu.

Eestimaa ressursid – *Schola Geologica VII* meened esinejatele

Maris Leiaru, Raili Kukk ja Veiko Karu

VII geoloogia sügiskooli meenete taustast

Eesti Vabariigis on arvele võetud 12 erinevat maavara (tabel 1). Bilansiliselt peetakse ülevaadet 18 maavara kasutamisest (tabel 1). Neid maavarasid kaevandatakse nii ava- kui ka allmaakaevandamis eetoditel. Konkreetne kaevandamisviis oleneb maavara lasumisest maapõues. Iga maavara kaevandamisega püütakse kasutada ja rakendada parimat võimalikku tehnikat (PVT). Kas see õnnestub?, kas on teada parim võimalik tehnikat? või miks ei kasutata parimat tehnikat? – need on küsimused, mis vaevavad inimesi, kelle naabruskonnas maavarasid kaevandatakse. Nende samade küsimustega tegelevadki igapäevaselt mäeinsenerid, keskkonnamõju hindajad jt. vastava haridusega spetsialistid.

Tabel 1. Eestis kaevandatavad maavarad.

Põhimaavara	Bilansis
Põlevkivi	Põlevkivi, tuhat tonni
Turvas	Vähelagunenud turvas, tuhat tonni
Turvas	Hästilagunenud turvas, tuhat tonni
Liiv	Ehitusliiv, tuhat m ³
Liiv	Tehnoloogiline- ja keraamikaliiv, tuhat m ³
Savi	Tsemendi- ja keraamikasavi, tuhat m ³
Savi	Raskeltsulav ja keramsiidisavi, tuhat m ³
Lubjakivi	Ehituslubjakivi, tuhat m ³
Lubjakivi	Tsemendi- ja tehnoloogiline lubjakivi, tuhat m ³
Fosforiit	Fosforiit, tuhat tonni (passiivne varu)
Dolokivi	Ehitusdolomiit, tuhat m ³
Dolokivi	Tehnoloogiline ja viimistlusdolomiit, tuhat m ³
Järvelubi	Järvelubi, tuhat m ³
Kruus	Ehituskruusliiv, tuhat m ³
Kruus	Ehituskruus, tuhat m ³
Meremuda	Meremuda, tuhat tonni
Järvemuda	Järvemuda, tuhat tonni
Kristalne ehituskivi (graniit)	Kristalliinne ehituskivi, tuhat m ³

Maavarasid on Eestis juba ammu kaevandatud. Alati on kaevandamise käigus kasutusele võetud maavarast parim osa ja alles jäetud see, mida kusagil ei ole suudetud kasutusele võtta. Nii on tekkinud põlevkivi aheraine mäed, põlenud diktüoneemaargilliidi mäed (LISA joonis 1), flotoliiva mäed

(LISA joonis 2), lubjakivi sõelmemäed (LISA joonis 3), poolkoksimäed jpt. kaevandamise jääkide ja jäätmete mäed. Mida nende mägedega peale hakata?, kuidas neid kasutada?, kas neid üldse on võimalik kasutada? – need on küsimused, mida analüüsivad innovaatilised insenerid, kes soovivad neid mägesid kasutada majandustegevuses. Nii on tehtud Kohtla-Nõmmele kaevanduspark-muuseum, kus saab kenasti talvel aherainemäest alla lasta. Paekivitoodete Tehase OÜ on hakanud lubjakivisõelmetest paeliiva välja pesema (LISA joonis 4).

VII geoloogia sügiskooli meened ja nende kvaliteeditingimused

Põlevkivi ehk kukersiiti on Eestis tööstuslikult kaevandatud ja kasutatud üle 90 aasta (Varb jt. 2008; Eesti Energia Kaevandused AS 2011). Põlevkivi on settekivim, mis koosneb umbes 50% ulatuses karbonaatsest ja savikast mineraalosast ja 50 % orgaanilisest ainest – kerogeenist. Eestis on kahte liiki põlevkivi: kukersiiti ja diktüoneema-argilliiti. Argilliit on väga madala kütteväärtusega ega sobi põletamiseks. Kaevandatakse kukersiiti, mis on tuntud eesti põlevkivi nime all ning mida leidub peamiselt Ida- ja Kirde-Eestis.

Vähelagunenud turvas lasub raba pealmistes kihtides. Vähelagunenud turba hulka kuulub raba- ja siirdesooturvas, lagunemisastmega alla 25% ning madalsooturvas lagunemisastmega alla 15%. Vähelagunenud turvast kasutatakse aiandusturbana, allapanuks lautades ning söödaliseandite, kasvustimulaatorite ja absorbeerivate materjalide tootmiseks. Sademeteveest toitunud vähekõdunenud kõrgsoo- ehk rabaturvast kasutatakse põllumajanduses alusturbana, vähem aiandusturbana, näiteks iluaedade rajamisel ning aedade mullastruktuuri parandamisel.

Hästilagunenud turvas lasub raba alumistes kihtides. Seda kasutatakse peamiselt kütteks, väetiste ja kompostide valmistamiseks, aktiivsöe ja vaha tootmiseks ning mudaravis. Põhjaveest toitunud hästikõdunenud madalsooturvast kasutatakse peamiselt küttureurbana, vähem väetisturbana. Moodustab 85% varude üldhulgast.

Ehitusliiva kasutatakse ehitusmaterjalitööstuses ja ehitustel betooni ja segude valmistamiseks, teedeehituses teetammide ja aluspindade täitematerjalina ning asfaltsegude koostises. Ehitusliiva koostis sõltub selle tekkest kas mandriliustiku serva pikemaegsete seisakute ees või taga. Enamus maardlaid on jääjõelise tekkega, kus materjal on vooluveega välja kantud. Ehitusliiva koostis, sealhulgas kruusa- ja saviosakeste sisaldus, sõltub sellest, kui intensiivne oli jää sulamine. Mida kiiremini jää sulas, seda puhtamad ja lisanditevaesemad on ehitusliivad.

Tehnoloogiline- ja keraamikaliiv. Tehnoloogilisele liivale on esitatud kõrged nõuded terasuuruse ja lisaainete sisalduse kohta. Tehnoloogilise

liiva SiO_2 sisaldus ei tohi olla alla 95%, Al_2O_3 sisaldus ei tohi olla üle 4% ja Fe_2O_3 sisaldus üle 0,6 %. Tehnoloogilist liiva kasutatakse klaasi- või vormiliivana. Klaasi- ja vormiliiva maardlaid leidub Lõuna-Eestis. Nende kasuliku kihi moodustavad merelise tekkega nõrgalt tsementeerunud Kesk-Devoni liivakivid. Klaasiliiva kvaliteeti on võimalik mõnevõrra parandada selle läbipesemise teel, eemaldades niiviisi sellest saviosakesed ja kahjulikke lisandeid sisaldavad rasked mineraalid. Klaasiliiva kasutatakse näiteks klaasi, värvilise klaastaara ja liivapritside tootmisel. Vormiliiva kasutatakse metallurgias näiteks ühekordsete valuvormide valmistamisel.

Tsemendi- ja keraamikasavi. Tsemendisavi kuulub kergeltsulavate savide hulka ning see sobib hästi telliste, tsemendi ja katusekivide tootmiseks. Sinisavi leidub Põhja-Eestis. Kambriumi ladestu Lontova kihistu savilasundi paksus on kuni 90 meetrit.

Raskeltsulav ja keramsiidisavi. Keramsiidisavi kuulub kergsaside klassi ning on kiirel põletamisel erakordsete punsumisomadustega. Seetõttu valmistatakse sellest kerget, graanulitest koosnevat toodet – kergkruusa ehk keramsiiti, mis segus betooni ja tsemendiga võimaldab valmistada mitmesuguseid ehituses vajaminevaid tooteid.

Raskeltsulavate savide ehk tulekindlamate savide sulamistemperatuur on 1380–1500 °C. Raskeltsulava savi kihid põimuvad kohati liivakate vahekihtidega, mis teeb nende leiukohtade mäetehnilise evitamise suhteliselt keeruliseks. Keramsiidisavi on Eestis kaevandatud Arumetsa savikarjääris Pärnumaal.

Ehituslubjakivi kasutatakse killustiku tootmiseks, müürikividena, kõnniteeplaatide ja trepiastmete valmistamiseks jne. Killustikuna kasutatakse seda betooni täitematerjalina, teedehituses, pinnasele toetuvate põrandate alusena jne. Peamised killustiku omaduste näitajad on lähtekivimi survetugevus, külmakindlus, kulumiskindlus, savi- ja tolmuosakeste sisaldus. Teekillustikul kontrollitakse veel terade purunevust survesilindris. Ehituslubjakivi kaevandatakse enim Harjumaal, kuna Tallinna linna nõudlus on suur ning lubjakivileiukohad paiknevadki enamasti Põhja-Eestis.

Tsemendi- ja tehnoloogiline lubjakivi on tooraineks mitmesugustele tööstusharudele ja selle paeliigi põhiliseks kvaliteedinõudeks on tema kõrge puhtusaste – st. lisandite vähene hulk. Peamine tarbija on lubjatööstus, mis ei luba tooraines MgO sisaldust üle 2% ja SiO_2 , Al_2O_3 ning Fe_2O_3 sisaldust üle 3%. Eestis on suurimaks tehnoloogilise lubjakivi tarbijaks tsemenditööstus.

Fosforiit on kollaka või hallika värvusega liivakas settekivim, mis koosneb umbes 500 miljoni aasta eest Kambriumi meres elanud käsijalgsete kojapoolmetest. Fosforiidikihindis on kojapoolmete materjal erineval määral purustatud ning segunenud kvartsliiduga. Fosforiidi leiukohad

paiknevad Põhja-Eestis. Eesti fosforiiti on kasutatud fosforväetiste tooraine komponendina. Keskkonnanõudeid rahuldava kaevandamistehnoloogia puudumisel on Eesti fosforiidi varud arvatud passiivsete varude hulka.

Ehitusdolomiit on heade ehitusomadustega peenkristalliline ja peenpoorne dolomiit, mille poorsus ei ületa 10%. Tänu poorsusele on dolomiidi veeimavus natuke suurem kui lubjakivil. Samuti on mõningate dolomiitide survetugevus pea kahekordne võrreldes lubjakiviga. Ehitusdolomiiti kasutatakse ehituses ja teedehituses. Eesti parimad, massiivsemad dolomiidid on Kaarma, Orgita, Selgase ja Mündi dolomiidid.

Tehnoloogiline ja viimistlusdolomiit. Tehnoloogilise dolomiidi MgO sisaldus ei tohi olla alla 18%, lisandite ($\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$) sisaldus ei tohi ületada 5%. Tehnoloogilist dolomiiti kaevandatakse Kurevere karjääris. Purustatud kivim eksporditakse edasiseks töötlemiseks ning seda kasutatakse peamiselt metallurgias ja kivivilla tootmiseks.

Järvelubi on magevee karbonaatne setend, mis sisaldab CaO vähemalt 40% kuivaine massist. Järvelubi on tekkinud Kvaternaari ajastul ning on värvilt valkjaskollane, kollakasvalge või helebeež ja sisaldab lisandina turvast, liiva jms. Järvelupja kasutatakse põhiliselt mineraalsete söödalisandite tootmiseks ja happeliste muldade lupjamiseks, samuti lubivärvide valmistamisel. Järvelubja paksus jääb enamasti 0,5–1,0 meetri piiresse, kuid Pandivere kõrgustiku alal on moodustunud kohati ka paksud (kuni 2 m) ja üsna väljapeetud lasundid (TTÜ Mäeinstituut 2011).

Ehituskruusliiv ja ehituskruus. Kruus on jämepurruline sete (terasuurusega üle 5 mm), mis koosneb kulutatud tard-, moonde- ja sette-kivimite veeristest ning munakatest ja ümardunud mineraalide osakestest. Ehituskruusa kasutatakse lõimisest ja tugevuslikest omadustest lähtuvalt. Üleriigilise tähtsusega ehituskruusa maardlaid ei ole, küll aga on rohkesti kohaliku tähtsusega maardlaid. Maardlatest võiks esile tuua Iisaku Ida-Virumaal ja Abissaare Põlva maakonnas (Eesti maavarade koondbilanss 2010).

Meremuda on mineraalmaterjalist koosnev meretekkeline setend, mis sisaldab orgaanilist ainet üle 5% kuivaine massist. Mudakiht lasub suhteliselt madalas vees 0,7–2 meetri paksuse kihina. Meremuda on sinakashall pehme ja kleepuv savitaoline mass, millel on väävelvesiniku lõhn. Meremudal on hinnatavad raviomadused ja nende toime on pikaajalise kliinilise kasutuse jooksul ka kinnitust leidnud. Muda kasutatakse sanatooriumides ning haiglates perifeerse närvisüsteemi haiguste ja põletike ravis. Meremuda suurimad varud paiknevad Saare, Hiiu ja Lääne maakonnas (Eesti statistika 2011).

Järvemuda on setend, mis sisaldab orgaanilist ainet vähemalt 35% kuivaine massist. Seda esineb hõljuva massina enamikus järvedes, aga ka kinnikasvanud vanades järvenõgudes mõnevõrra tihenenult turbakihi all.

Järvemuda jagatakse vastavalt kasutusalaale: põlluväetis, lisa sööt ja raviotstarbeline järvemuda. Järvemuda maardlatena võiks välja tuua Värskat ja Ermistu (Eesti maavarade koondbilanss 2010).

Kristalliinne ehituskivi on aluskorrakivim, mille survetugevus kuivalt on vähemalt 1200 kg/cm². Kristalliinset ehituskivi esindab maardlate nimistus graniit, mis on tugevusomaduste ja külmakindluse poolest lubjakivist ja dolomiidist tunduvalt kvaliteetsem. Eesti ainuke kristalliinne ehituskivi maardla asub Maardu lähedal. Kristalliinset ehituskivi kasutatakse põhiliselt killustikuna betoonides, teekatetes ja mujal ning tükikivina ehitus- ja viimistlusdetailide valmistamiseks.

Tänuõnad

Sügiskooli esinejate meened on hangitud TTÜ Mäeinstituudi teadus- ja arendustöö ning uurimustöödega seotud välitööde käigus: „Säästliku kaevandamise tingimused“ (ETF grant nr. 7499) ning „Täitmine ja jääkide (jäätmete) haldamine Eesti põlevkivitööstuses“ (ETF grant nr. 8123) ja välisprojektiga „Mining and Mineral Processing Waste Management Innovation Network“ (VIR491). Meenete valmistamisel on kaasatud TTÜ Mäenduse ja geoloogia teadusklubi vahendeid ja ressursse.

Kasutatud kirjandus

- TTÜ Mäeinstituut. Maavarade kaevandamise õppetool – <http://mi.ttu.ee/kaevandamine/> (02.09.2011)
- Varb N., Tambet Ü., Suuroja K. (2008). 90 aastat põlevkivi kaevandamist Eestis. Tehnoloogia ja inimesed
- Eesti Energia Kaevandused AS – <https://www.energia.ee/about/organization/concern/kaevandused> (02.09.2011)
- Eesti statistika – <http://www.stat.ee/keskkond> (02.09.2011)
- Eesti maavarade koondbilanss 2010 – <http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1171591/koondbilanss+2010.pdf> (02.09.2010)

Maris Leiaru (maris.leiaru@gmail.com) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086.

Raili Kukk (railikukk@gmail.com) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086.

Veiko Karu (veiko.karu@ttu.ee) – Tallinna Tehnikaülikooli Mäeinstituut, Ehitajate tee 5, Tallinn 19086.

JÄRELSÕNA

Loodusteadus ja tundmatu kodustamine

Ivar Puura

Rebane jäi vakka ja vaatas väiksele printsile kaua otsa: “Palun... kodusta mind!” ütles ta. “Ma tahaks väga,” vastas väike prints. “Aga mul ei ole nii palju aega”. Ma pean sõpru leidma ja palju asju tundma õppima.” “Tundma õpitakse ainult neid asju, mida kodustatakse,” lausus rebane. “Inimestel ei ole enam aega midagi tundma õppida. Nad ostavad endale kõike valmis kujul poodidest. Aga et ei ole poode, kust saaks sõpru osta, ei ole inimestel enam sõpru. Kui tahad endale sõpra, siis kodusta mind!”

Antoine de Saint-Exupéry (1943) „Väike prints“

Räägitakse, et inimesed kodustasid hunte umbes 15 000 aasta eest ja varemgi (Lindblad-Toh jt. 2005). Kuid nii elus kui eluta looduse “kodustamine” algas nii inimese kui teiste loomade jaoks kindlasti palju varem. “Kodustamist” laias mõttes võiks vaadelda ühena neist protsessidest, mis aitavad toime tulla tundmatuga kohtudes (Puura 2006).

Erutus kohtumisel tundmatuga väljendub füsioloogiliselt, mida piltlikult ja väga lihtsustatult võib kirjeldada järgnevalt. Inimesel eritavad neerupealised adrenaliini (ehk epinefriini) – hormooni valemiga $C_9H_{13}NO_3$. Vereringesse sattununa mõjub see mitmetele retseptoritele. Inimesel kiireneb südamerütm, laienevad pupillid, suurenevad arterioolid lihastes ning tõuseb veresuhkru tase. Veri voolab lihastesse, suurendades valmisolekut varjuda, põgeneda või oma eksistentsi eest võidelda, kuid selle arvel väheneb aju verevarustus. Need reaktsioonid on osa evolutsioonilisest pärandist, mis on inimest ja tema eellasi “programmeerinud” reaalse ohuga toimetulekuks. Samad füsioloogilised mehhanismid võivad vallanduda ka kujuteldava ohu või vaimse erutuse, näiteks esinemishirmu või suhtlemishirmu korral. Samas on need ürgsed hirmud osa millestki, mida me seostame inimeseks olemisega. Osalt just soov oma hirmudest jagu saada stimuleerib inimesi otsima empaatilisi suhteid ning püüdu muuta oma ümbrust turvaliseks seda kodustades.

Käitumine tundmatuga

Nagu eespool vaadeldud, on inimestel tundmatuga kohtumisel varuks mitmeid reaktsioone. Adrenaliinisööst verre ja lihastesse võimaldab kiiret valikut põgenemise, varjumise või võitluse vahel. Varjumise üks vorme on ka soolasambaks tardumine ja surnu teesklemine. Variatsioonideks võivad olla ka minestamine või ootamatu reaktsioon – näiteks hüüda “hurraa!” ja tormata ummisjalu tundmatu suunas.

Kui esimese ehmatus järel õnnestub varjuda ja olukorraga harjuda, valgub veri lihastest tasapisi ajju tagasi ning on võimalik enesega plaani pidada, kuidas tundmatuga edasi talitada. Inimkonnale tuttavateks variantideks on “kahjutuks tegemine” kolmel erineval moel: hävitamine, vigastamine ja uimastamine. Hilisemaks eesmärgiks võib olla alistamine, vangistamine, orjastamine või taltsutamine. Ja lõpuks – kui tundmatul on suuremeelse inimese arvates eriti vedanud – siis kodustamine. Siiski on veel üks võimalus – ürgne rahulejätt. Seda juhul, kui iga sekkumine olukorda halvendaks ning on võimalus olla sekkumata.

Ilmselt võib ette tulla ka olukordi, kus kodustamine ei tee rohkem kahju kui rahulejätt. Kodustamine on üks viis suhte loomiseks enese ja looduse vahel, mis lubab inimesel loodusega lähedasemaks saada ning ka enese ürgset olemust tundma õppida.

Aeg, mälu ja kodustamine

“Aeg, mille sa oma roosile pühendanud oled, muudab su roosi nii tähtsaks.”[...] “Inimesed on selle tõe unustanud,” lausus rebane. “Aga sina ei tohi seda unustada. Sa vastutad kogu elu selle eest, kelle usalduse sa oled võitnud. Sa vastutad oma roosi eest...”

Antoine de Saint-Exupéry (1943) „Väike Prints“

Aja väärtustamine ja “kasutamine” elukorralduses lähtub kirjutatud ja kirjutamata kokkulepetest, mis tuginevad arusaamadele individuaalsest ja kollektiivsest vastutusest. Kõigi nende lepete ja arusaamade eelduseks on ettekujutus, et informatsioon, mida saab ammutada individuaalsest ja kollektiivsest mälest, võimaldab anda hinnanguid mineviku sündmustele. Inimese mälu võimaldab mõtterännakuid minevikku ja tulevikku. Endel Tulving on seda võimet nimetanud kronesteesiaks ning kirjutanud, et ilma selleta ei oleks võimalik inimkultuur sellisel kujul, nagu me seda tunneme (Tulving 2002a,b; Tulving ja Allik 2003).

Mäluga seotud võimeteta puuduks inimesel ilmselt ka taotlus oma ümbrust kodustada – “haugi mälu” puhul oleks kodustamisse investeerimine üleliigne. Suur osa kalu ja kahepaikseid, kes elavad ebastabiilses keskkonnas ei näe vaeva “pesapunumise ja kodu mängimisega”, vaid paiskavad maailma suurel hulgal marjateri või mune, jättes need saatuse hooleks. Seda on populatsioonibioloogid kutsunud paljunemise r-strateegiaks. K-strategia puhul, mis on iseloomulik suurele osale imetajatest ja lindudest, saavad vanemad vähe järglasi ning kannavad nende eest hoolt, püüdes nende keskkonda turvalisemaks muuta. (Mänd, 1998). Ehkki uuematel andmetel võib selline vaade olla ülelihtsustatud, on see mõtlemist korrastav ja ergastav.

Enamik inimlapse ei jääks ilma hoolitsuseta ellu, sest võrreldes oma kaugete eellastega on inimestel loote keha füüsiline areng aeglasem ja aju areng kiirem. Seda nähtust on seostatud neoteeniaga – individuaalse arengu kiiruse evolutsioonilise aeglustumisega (Viikmaa 1998). Vajadus pikemat aega lapse eest hoolitseda on ilmselt üks olulisemaid asju, mille pärast inimestel on tarvidus oma ümbrust kodustada ning seeläbi seda nii enda kui laste jaoks turvalisemaks muuta.

Loodusele omistatud julmus

*Though Nature, red in tooth and claw
With ravin, shrieked against his creed...*

*Are God and Nature then at strife
That Nature lends such evil dreams?
So careful of the type she seems
So careless of a single life*

*“So careful of the type” but no
from scarped cliff and quarried stone
she cries, “A thousand types are gone
I care for nothing, all shall go”*

Lord Alfred Tennyson (1849) „In Memoriam A.H.H.“

Tennysoni värsid väljendavad teatavat šokki teadmisesest nii inimese kui inimkonna surelikkuse kohta. Surelikkuse müsteerium on asi, millega inimvaim ei taha kunagi leppida. Samas on see leppimatus seotud ürgse vajadusega väärtustada ja kaitsta enese ja oma lähedaste elu. Inimeste elukorralduse esmased vajadused on turvalisus ja hea käekäik. Kui inimene elab sõnades välja oma emotsioone, võib ta “loodusele” kui abstraktsele jõule omistada inimlikke omadusi, nii sõprade kui vaenlaste omi.

Stephen Jay Gould (1987) on kirjutanud, et inimese suurel egol on raske olnud alla neelata kolme avastust: (1) Koperniku heliotsentrilist ettekujutust Päikesesüsteemist, mis näitas, et Maa ei asugi Päikesesüsteemi keskel nagu seda oli väitnud Ptolemaios; (2) Charles Darwini tööde järel võimendunud ettekujutust inimese ja inimahvide põlvnemisest ühisest eellasest, mis näitas, et inimene ei olegi nii erinev teistest loomadest ning (3) ettekujutust sellest, et elusolendid on planeedil Maa elanud tuhandeid kordi kauem kui inimesed, et osa neid võib välja surra ning ka inimkonda võib tabada sama saatus.

Inimese poeetiline vaim, võime teha vaimseid ajarännakuid, matemaatika ning keeled on teinud võimalikuks luua mudeleid ja

abstraktseid kirjeldusi, mille ajaline ja ruumiline ulatus ületab inimese vahetu ümbruse ja nn. “käegakatsutava” reaalsuse. Kombineerituna fantaasia ja metafooridega, võib see kaasa tuua “muretsemise” kaugete ja abstraktsete probleemide pärast, mille lahendamine ei ole praeguse seisuga inimese võimuses.

Mõned neist muredest ei ole siiski kuigi aktuaalsed. Näiteks mure Universumi soojussurma pärast triljonite aastate pärast kaob selle taustal, et tõenäoliselt umbes 5 miljardi aasta pärast võib kustuda Päike. Seda juhul kui inimkond ei osutu ise piisavalt “osavaks”, et end oma tuumaarsenaliga õhku lasta või Maa keskkonda elamiskõlbmatuks muuta ning kui ei jäädagi ootama Päikese kustumist, siis reaalseimaks ohuks kosmosest võib osutuda mõne asteroidi kokkupõrge Maaga. Taolised sündmused võivad aset leida juba lähemate aastasadade jooksul ning teadlased on teinud pingutusi, et selgitada selliste taevakehade trajektooride mõjutamise võimalusi tuumalaengutega. See oleks võimalus kasutada tuuma-arsenali inimkonna kaitseks, mis viitab asjaolule, et teadustulemuste rakendamise valikutes on rumal süüdistada teadust kui teadmiste otsijat. “Tikkudega mängimises” on süüdi ikka kellegi vastutustundetud, kuid tule ja elektrita oleks raske ette kujutada tänast tsivilisatsiooni.

Tagasi tulles Tennysoni värsside juurde, mis viitavad 19. sajandi alguses kivimikihtidest leitud tõenditele väljasurnud liikide ja loomarühmade surelikkuse kohta. Nimelt avaldas Georges Cuvier (1812a) raamatu, milles ta kirjeldas mitmeid väljasurnud neljajalgseid Pariisi basseini. Järgneva mõnekümne aasta jooksul leiti ja tuvastati ka mitmeid dinosauruste konte. Nime “dinosaur” (hirmus sisalik) pani neile ürgsetele olenditele Briti zooloog Richard Owen 1841. aastal. Samal aastal, mil valmis Charles Darwini käsikirjaline essee liikide tekkimisest, ilmus anonüümselt esimest korda ka Universumi ja eluslooduse evolutsiooni ideid väljendanud Robert Chambersi (1844) teos „*Vestiges of the Natural History of Creation*“, mis sillutas teed Darwini teose vastuvõtule. Väidetavalt oli Chambersi tööst inspireeritud ka poeet Tennyson.

Charles Darwin puutus väljasurnud loomade kivististega kokku Lõuna-Ameerikas Patagoonias, mida ta külastas oma ümbermaailmareisil purjekal Beagle (aastail 1831–1836). Kui Cuvier oli liikide väljasuremist põhjendanud katastroofidega, siis Darwin (1859, peatükk 3) arutles oma raamatus “Liikide tekkimine”, et organismide paljunemine geomeetrilises progressioonis toob paratamatult kaasa olukorra, kus kõik olendid Maale ära ei mahu – seega peab liikide väljasuremine toimuma ka ilma väliste katastroofideta. Tänapäevaste seisukohtade kohaselt oli omajagu õigus nii Cuvier’l kui Darwinil – kivististe põhjal on kindlaks tehtud, et pidevalt on toimunud “foonilisi” liikide väljasuremisi ning harvem ka “massilisi”

väljasuremisi – suuremaid ökokatastroofe, mille käigus hävis suur osa organismirühmadest.

Darwini arutus tugines Thomas Malthuse (1798, 1826) ideele. Sissejuhatuses “Liikide tekkimisele” kirjutas Charles Darwin oma loodusliku valiku idee kohta “*This is a doctrine of Malthus applied to the animal and vegetable kingdoms*”. Malthuse ülalviidatud esse ooneeris 18. sajandi utopistide vaateid, viidates asjaolule, et Maa rahvaarvu kasv jääb alati oluliseks probleemiks ja ohuks. Malthus omakorda tugines 1761. aastal ilmunud Robert Wallace’i tööle “*Various Prospects of Mankind, Nature, and Providence*”, mis väitis, et ühiskonna pürgimus täiuslikkusele sisaldab sama ühiskonna hävingu seemneid, soodustades rahvaarvu kasvu, mis viib selleni, et Maa on ülerahvastatud, ega suuda toetada oma arvukaid elanikke. Pidades silmas kaasaja globaalprobleeme meie planeedil, kus ÜRO prognoosi andmeil peaks novembris 2011 Maal elama 7 miljardit elanikku [www.worldometers.info/world-population/], võib öelda, et need 18. sajandi seisukohad olid väga ettenägelikud. Darwini jaoks oli tegu mudeliga, kus järjestikuste põlvkondade puhul iga kord sõelutakse välja need isendid, kes ellu jäävad. Kui sellist sõelumist rakendada sadu ja tuhandeid kordi, saame ettekujutuse loodusliku valiku pikaaajalisest mõjust. Daniel Dennett (1995, 2011) oma raamatus “Darwini ohtlik idee” on seda mudelit tabavalt nimetanud algoritmiks ning loodusliku valiku ideed ka “universaalseks happeks”, mis kõike lahustab. Darwini jaoks oligi looduslik valik elegantne mõttemudel looduse toimimise kohta – looduslikku protsessi kirjeldav algoritm. Ooneerides reverend William Paley (1809) maailmakäsitust teoses “Natural Theology”, oli Darwini eesmärgiks näidata, et looduses eneses on olemas arenguloogika, mis ei vaja üleloomuliku jõu sekkumist selleks, et toimuks organismirühmade evolutsiooniline muutumine või väljasuremine.

Tuleb märkida, et juba Aristoteles (384–322 a. e. Kr.) kirjeldas umbes 500 loomaliiki ning eristas suuremad loomade rühmad, mis vastavad järgmistele tänapäevastele taksonitele: imetajad, roomajad, linnud, vaalalised, kalad, peajalgised, vähilised, limused, putukad. Esimesed viis kuuluvad tänapäeval selgroogsete, viimased neli selgrootute hulka. Samamoodi grupeeris need taksonid ka Aristoteles ise, viidates esimestele kui “loomadele, kellel on veri” ja teistele kui “vereta loomadele”. Darwini ajaks oli juurdunud ka Carl Linné klassifikatsioon, kus näiteks inimene oli paigutatud ahviliste rühma.

Teaduse moonutamine ja ideologiseerimine

Teaduse üks suuri käsk on: “Ära usalda võimulolijate argumente.” (Aga kuna ka teadlased on primaadid ja seetõttu vastuvõtlikud võimuhierarhiatele, ei järgi nad

alati seda käsku.) Liiga paljud võimurite argumendid on liiga tihti väga valeks osutunud. Ka autoriteedid peavad oma ideid tõestama. Selline iseseisvus ja kohatine tahtmatus tavapärase tarkusega leppida muudab teaduse eneskriitikat eiravate või absoluutset kindlust taotlevate doktriinide jaoks ohtlikuks.

Carl Sagan (2006) „Deemonitest vaevatud maailm.
Teadus kui küünal pimeduses“

Charles Darwini lähenemise poolt võimendatud Malthuse doktriini ideoloogiline kriitika tuli Karl Marxi sulest. Ehkki Marx oli varasemate utopistide suhtes üsna kriitiline, jagas ta nende unistust, et hästi korraldatud (sotsialistlik) ühiskond suudab toetada ükskõik kui suurt inimeste hulka. Malthuse-vastasus kajastus ka Marxi järgijate praktilises ühiskonnakorralduses. Näiteks, ehkki Lenin legaliseeris 1920. aastal abordi, oli ta vastu abordi ja rasedumisvastaste vahendite rakendamisele rahvastiku kasvu reguleerimisel. Stalin nägi rahvastiku kasvus eeldust majanduskasvule ning keelustas 1930. aastail Nõukogude Liidus abordi.

Enamik Darwini ideid looduse arenemisest sobis marksistide propageeritud dialektilise materialismiga. Moskva Ülikooli taimefüsioloog K.A. Timirjazev, kellel oli isiklik kontakt Charles Darwiniga, andis Venemaal välja teose “Darwini õpetus”, mis mugandatult andis edasi Darwini ideid. Eestikeelses tõlkes on sama raamat ilmunud 1907. ja 1947. aastal. Erinevatel perioodidel oli Nõukogude Liidu ideoloogia suhe Darwini ideedesse siiski valiv. Näiteks 1952. aasta mitšuurinlik darvinismiõpik sisaldab marksismi-leninismi klassikute kriitikat Darwini aadressil. Darwini suureks veaks nimetatakse olelusvõitlust ühe liigi isendite vahel, kuna sotsialistlik ühiskond on näide, et sellist võitlust ei saa esineda. Ideoloogiliselt positsioonilt kritiseeritakse ka Darwini töodes domineerivat gradualismi, mis tundub eitavat järskude, hüppeliste pöörete võimalust. Stalini kriitika põhjenduseks on siin asjaolu, et revolutsioone peetakse inimühiskonna edasiviivaks jõuks. Kui ideoloogiline aspekt kõrvale jätta, siis Georges Cuvier’ ideed aeg-ajalt esinevatest katastroofidest, millele ta viitas prantsusekeelse sõnaga “*revolutions*” e. pöörded, on tänapäeval aktsepteerimist leidnud. Evolutsioonibioloogia ideologiseerimine Nõukogude Liidus tõi kaasa maailmas tunnustust leidnud (“mendelistliku-morganistliku”) geneetika põlu alla seadmise ning mitmeid repressioone, millest üks tuntumaid on botaaniku ja biogeograafi N.I. Vavilovi tagakiusamine ja koonduslaagrisse saatmine 1940. aastal. Mõistagi oli ideoloogilise surve all ka loodusteaduste õpetamine ja sellealane diskussioon Nõukogude Eestis.

Eelnevad näited viitavad sellele, et on võimalik sattuda ummikusse niipea, kui kaugeneda loodusliku valiku idee kui elegantse algoritmi

loodusteaduslikust sisust ning lubada sellega seostada ideoloogilisi konstruktsioone.

Kõik eelnev on ootamatult aktuaalne ka tänapäeval, sest üllataval kombel ei erine kreatsioonistide lähenemine oluliselt Marxi, Lenini ja Stalini omast. Näiteks mitmel korral Eestit külastanud Soome kreatsioonist Pekka Reinikainen esines 1997. aastal Tallinnas Eesti Kristlike Arstide Liidu koosolekul. Koosoleku tulemusena võeti vastu dokument, milles leiti, et Charles Darwini õpetus looduslikust valikust on süüdi sõdades, abortides, moraalituses ja paljus muus inimkonda kahjustavas. Kuna koosolek toimus tollase Tallinna Pedagoogilise Instituudi ruumides, ei jäänud see tähelepanuta ning järgnenud meedia huvi viis kreatsioonismiprobleemide aruteludeni Teaduste Akadeemias ning Haridusministeeriumi ühis-komisjonis, kuhu kuulus nii loodusteadlasi kui ka kirikupäid. Mõne aasta eest külastas Reinikainen ka Tartut, kus talle ülikooli uksi ei avatud. Oma vastuolulise ettekande pidas ta Tartu raekojas, vastates ainult valikuliselt kirjalikult esitatud küsimustele. Küsimus väite kohta Reinikaineni raamatus “Unohdettu genesis”, et Maa ei ole rohkem kui 10 000 aastat vana sai ebamäärase vastuse: “Need on väga vanad andmed, mis vahepeal on muutunud.” Tundub et ka kreatsioonism püüab olla “loov, arenev õpetus” nagu oli omal ajal teaduslik kommunism. Turundusstrateegialt kõige rafineeritum kreatsioonismi vorm on nn. “intelligent design”. Pseudoteaduste turustamist võiks võrrelda odava, kuid madalakvaliteedilise toidu turustamisega: kuni leidub piisavalt rumalaid või “näljas” sihtgruppe, on turg garanteeritud, mis sest et tarbijat kahjustades.

Härä “Buckley” – sõnaosav, intelligentne, uudishimulik – ei teadnud moodsast teadusest sama hästi kui midagi. Tal oli loomupärane isu universumi saladuste järele. Ta tahtis teadusest teada. Ainult et kogu teadus oli enne temani jõudmist välja sõelatud. Meie kultuurilised põhimõtted, meie haridussüsteem, meie meedia olid seda meest alt vedanud. Ühiskond oli lubanud läbi imbuda ainult väljamõeldistel ja segadusel. Talle polnud õpetatud vahetegemist tõelise teaduse ja odava imitatsiooni vahel. Ta ei teadnud midagi sellest, kuidas teadus toimib.

Carl Sagan (2006) „Deemonitest vaevatud maailm.
Teadus kui küünal pimeduses“

Nagu nii Stephen Jay Gould kui Daniel Dennett on viidanud, võib iga teaduslik idee, nende hulgas ka Darwini “ohtlik idee” osutada tõepoolest ohtlikuks kui see ideologiseerida ja nõnda iseenda vastandiks muuta.

Darwin kirjeldas mudelit selle kohta, kuidas loodus toimib, kui ta rahule jätta. Sel mudelil on teatav tunnetuslik jõud, mis võimaldab hinnata ja prognoosida olukordi. Darwini raamatutes ei ole retsepte, toimumismudeleid või -juhendeid inimkonnale, mida sealt on püütud otsida.

Kodustamine ja elusolendite sisemine väärtus

Kogu õppimine, mida teeme avastuslikult, läbi uurimise ja kriitilise mõtlemise rakendamise ning kõik see, mida ise kogeme ega hangi valmiskujul poodidest, on meie poolt kodustatud, meil on sellega side. See on loodusretkede, õues õppimise, kooliaedade ja “potipõllunduse” sisemine väärtus, mida ei saa rahas mõõta. Me võime “kodustada” ka sõpru – vaid nende kogemuste läbi kasvame me ise.

See paneb uude valgusse ka Mahatma Gandhi ideedest lähtuva ökofilosoofi Arne Naessi tuntud teesi: “*Every living being has an intrinsic value*” (Boeckel 1995). Sellele lausele on püütud vastu vaielda ontoloogiliselt – et väärtustest saab rääkida ainult neid omistades. Epistemoloogilisel tasandil ongi küsimus selles, kas ja kuidas me inimestena teisi elusolendeid väärtustame – kas me “kodustame” nad oma vaimus. Kas me “kodustame” enda jaoks koera, kassi, konna, sisaliku, rästiku sel määral, et teada, millal suhelda ja millal rahule jätta? Kas me “kodustame” taimed ja bakterid oma mõttes sedavõrd, et me piirame nende geenimanipulatsioone? Kas me tunneme end osana elusast, et lugu pidada aukartusest elu ees?

Per aspera ad astra

*This is ground control to Major Tom
You've really made the grade!
And the papers want to know whose shirts you wear
Now it's time to leave the capsule if you dare
This is Major Tom to ground control
I'm stepping through the door
and I'm floating in the most peculiar way
and the stars look very different today*

*For here am I sitting in a tin can, far above the world
Planet Earth is blue and there's nothing I can do
Though I've passed one hundred thousand miles
I'm feeling very still
And I think my spaceship knows which way to go
Tell my wife I love her very much she knows*

...

*Here am I floating round my tin can, far above the moon
Planet Earth is blue and there's nothing I can do*

David Bowie (1969) „Space Oddity“

Ka avastusretked – nii füüsilises maailmas kui mõtteradadel – on üks viis tundmatut kodustada. Maailma uurimine ja avastamine, millega tegeleb teadus, eeldab küpsust ning vastutust. Asjatundmatusest on teaduse kui tervikuga vahel püütud siduda klišeelaadseid ettekujutusi. Ehkki Thomas Kuhni (1962; 2003) käsitus teadusrevolutsioonidest ja paradigmade vahetusest aitab paremini mõista teadust 19. sajandil ja 20. sajandi alguses, on tänase teaduse arengu kirjeldamiseks mitmeid kohasemaid mudeleid. Näiteks kirjeldab David Hull teaduse evolutsiooni uurimisgruppides sarnaselt liikide põõsasarnase evolutsioonipuuga (Hull 1988). Tänapäeval, mil evolutsiooni on aktuaalne vaadelda võrkjana, on ilmselt ka teadusvõrgustiku suhtlus ja areng hästi tõlgendatav selles võtmes. Selle lähenemisviisi kohaselt ei ole teadus homogeenne nähtus, vaid õppimise ja õpetamise läbipõimunud tegevus kultuurikontekstis, mida ühendab eesmärk avastada uut. Iga kultuur võib kindlasti sellest, kui teaduse eeslinil kogetut nii õpetajatele, õppijatele kui ka huvilistele lähemale tuua.

Epiloogi asemel: kolm mõttelendu

Ma tahaksin teada mida sellised üksikud loomad, üksikud hundid, karud, koprad, vaalad tunnevad ja mõtlevad. Kas nemad saavad inimesest ja tema tegemistest natuke teistmoodi ja paremini aru kui muud loomad või ei. Ma ei tea seda. Aga ma tahaksin mõnd niisugust mutanti kohata. Võib-olla oleks mul võimalik temaga mingit kontakti leida. Vähemalt koeraga või hundiga. Mina olen ka koer.

Jaan Kaplinski (1998) „Hektor“

Elus olemiseks ja elamiseks tuleb elu võimalusi uurida ja väljendada. Me kipume seda kiires igapäevaelus unustama ja sestap on elus olemine miski, mida me peame uuesti õppima.

Tõsiasi, et me ei vaja loodust ainult ökosüsteemide, vaid ka oma psüühika toimimise jaoks, peaks meid motiveerima loodust säästma.

Aitaks, kui elusolendeid ei vaadeldaks kui materiaalist vara, vaid kui tunnete, kogemuste või hirmu kogemust. [...] Kõige olulisem on, et me aitaksime elusat, et me aitaksime elu sellel planeedil.

Andreas Weber (2011)

Mis on koduigatsus, kui mitte soov jõuda tagasi armsaks saanud maastike ja lõhnade, tuttavate märkide ja seoste turvalisse maailma? Mis hoiab peresid viimse hetkeni kodude juures, kui tulikuum laava või tulvavesi on ähvardavalt lähedal? Miks tõrguvad pered vastu võtmast rahaliselt soodsaid pakkumisi ära kolida, kui nende kodud uutele kaevandustele või teedele ette jäävad?

Kui võtaksime aega, et end paremini tundma õppida, leiaksime looduse iseendas. Sügaval mälus on meie aistingud suhestatud looduse märkidega, mida näeme, haistame ja kuuleme ka siis, kui me ei ole seda veel endale teadvustanud. Kodune loodus kehastab seda märgimaailma, mis kannab läbi sajandite ulatuvaid traditsioone, aitab kultuuril püsida ning inimesel inimeseks jääda.

Kuidas see loodus endas leida? Alati saab kuulutada looduse muusikat, mis muudab meele kergemaks. Mõned saavad parema tuju, teised tajuvad meloodia nüansse, kolmandad suudavad kuuldut noodikirjas talletada, neljandad muusikat luua. Looduses peituv meloodiate ja märkide rikkus ei ole elitaarne, tarastatav ega turustatav. Loodus lihtsalt on. Kui vaja, lohutab (mälu)maastikul rändajat. Vahel aga pilgutab lustakalt silma ja on valmis vestma oma lugusid, avades mitmekihilisi tähendusi ja pakkudes avastamisrõõmu kogu eluks.

Ivar Puura (2002) „Loodus meie mälus“

Kasutatud kirjandus

- Boeckel J. van 1995. *Interview with Arne Naess*. Part 4 – Let the River Live. <http://www.naturearteducation.org/paintHolland/Interviews/Naess4.htm>
- Bowie D. 1969. Space Oddity. In: David Bowie. www.lyricsdepot.com/david-bowie/space-oddity.html
- Chambers R. 1844. *Vestiges of the Natural History of Creation*. London. [First edition published anonymously].
- Cuvier G. 1812. *Recherches sur les ossements fossiles de quadrupèdes, où l'on rétablit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du globe paraissent avoir détruites*. Tome Premier, contenant le Discours préliminaire et la géographie minéralogique des environs de Paris. Déterville, Paris. www.lamarck.cnrs.fr/ice/ice_book_detail-fr-text-lamarck-cpo_lamarck-20-1.html
- Darwin C. 1859. *On the Origin of Species by Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London, Murray.
- Dennett D. 1995. *Darwin's Dangerous Idea*. Penguin, USA.
- Dennett D. 2011. *Darwini ohtlik idee*. Roheline raamat. Varrak, Tallinn.
- Gould S.J. 1987. *Time's Arrow, Time's Cycle*. Harvard University Press.
- Hull D. 1988. *Science as a Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science*, Chicago: University of Chicago Press.
- Kaplinski J. 1998. Hektor. *Looming* 1, 7–50.
- Kuhn T. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago.
- Kuhn T. 2003. *Teadusrevolutsioonide struktuur*. Avatud Eesti Raamat. Ilmamaa, Tartu.

- Lindblad-Toh K. jt. 2005. Genome sequence, comparative analysis and haplotype structure of the domestic dog. *Nature* 438, 803–819.
www.nature.com/nature/journal/v438/n7069/full/nature04338.html
- Malthus T. 1798. *An Essay on the Principle of Population as It Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers.*
- Malthus T. 1826. *An Essay on the Principle of Population, or, a View of its Past and Present Effects on Human Happiness; With an Inquiry into our Prospects Respecting the Future Removal or Mitigation of the Evils Which it Occasions.* 6th Edition. London, John Murray.
- Mänd R. 1998. *Elukunstnikud: teejuht käitumise ökoloogiasse.* Tallinn.
http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/EL/vanaweb/9801/kaitub.html
- Paley W. 1809. *Natural Theology, or, Evidences of the Existence and Attributes of the Deity.* Collected from the Appearances of Nature. London.
- Puura I. 2002. Loodus meie mälus. *Eesti Loodus* 11, 24–25.
http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel206_197.html
- Puura I. 2006. Tundmatu kodustamine. Rmt.: Maran, T., Salupere, S., Väli, K. (toim.). *Semiootika piirid.* Konverentsi teesid. Eesti Semiootika Selts, Tartu, 37–39.
http://www.semiootika.ee/piirikonverents/teesid/semiootika_piirid_teesid.pdf
- Sagan C. 2006. *Deemonitest vaevatud maailm. Teadus kui küünal pimeduses.* Tallinn, Valgus.
- Saint-Exupéry A. de 1943. *Le petit prince.* Reynal & Hitchcock, Inc. Printed in USA.
- Tennyson A. 1849. In *Memoriam, A.H.H.*
- Tulving E. 2002a. Chronesthesia: Conscious awareness of subjective time. In D.T. Stuss & R.C. Knight (Eds), *Principles of frontal lobe functions.* New York: Oxford University Press, 311–325.
- Tulving E. 2002b. *Mälu.* Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Tulving E. ja Allik J. 2003. Ajas rändamine ja kronesteesia. *Akadeemia* 5, 915–937.
- Viikmaa M. 1998. Neoteenia: hominisatsiooni paradoksi lahendus? Rmt.: Puura, Ivar (toim.). *Ontogenees ja fülogenees, Schola Biotheoretica* 24, 109–117.
<http://biomedicum.ut.ee/~martv/Neoteenia.html>
- Weber A. 2011. – Vaikmaa M. 2011. Andreas Weber: me ei mõtle endist kui loomadest, aga tegelikult oleme siiski loomad. *EPL online* 13. august 2011
www.epl.ee/news/arvamus/andreas-weber-me-ei-motle-endist-kui-loomadest-aga-tegelikult-oleme-siiski-loomad.d?id=55655990

Ivar Puura (Ivar.Puura@gmail.com) – Tartu Ülikooli Loodusmuuseum, Vanemuise 46, 51014 Tartu.

J. Nõlvak *Kivistised kui varamu*



Joonis 1. Valik konodonte (A-H), skolekodonte (I-P), ja akritarhe (Q-U) Eesti aluspõhjast. Skaala: 100 mikronit A kuni P ja 10 mikronit Q kuni U. (vt. Meidla jt. 2011, joonis 1). A konodont *Drepanodus arcuatus* Pander. Kesk-Ordoviitsium; B konodont *Ozarkodina bohemia bohemia* (Walliser) Pa. Silur; C konodont *Yangtzeplacognathus foliaceus* (Fåhræus) Pb. Kesk-Ordoviitsium; D konodont *Yangtzeplacognathus foliaceus* (Fåhræus). Kesk-Ordoviitsium; E konodont *Pterospathodus eopennatus* Männik Pa. Silur; F konodont *Oistodus lanceolatus* Pander S. Alam-Ordoviitsium; G konodont *Baltoniodus variabilis* (Bergström) M. Ülem-Ordoviitsium; H konodont *Baltoniodus medius* (Dzik) Pa. Kesk-Ordoviitsium; I skolekodont *Ramphoprion* sp. right MI. Kesk-Ordoviitsium; J skolekodont *Pteropelta huberti* Hints & Eriksson. right MI. Ülem-Ordoviitsium; K skolekodont *Pteropelta gladiata* Eisenack. apparatus. Kesk-Ordoviitsium; L skolekodont *Euryprion rarus* Kielan-Jaworowska. right MI. Kesk-Ordoviitsium; M skolekodont *Kaljoprion laevaensis* Hints. left MI. Ülem-Ordoviitsium; N skolekodont *Polychaetura* sp. A, basal plate. Ülem-Ordoviitsium; O skolekodont *Protarabellites* cf. *staufferi* Eriksson. right MI. Ülem-Ordoviitsium; P skolekodont *Pteropelta huberti* Hints & Eriksson. left MI. Kesk-Ordoviitsium; Q akritarh *Asteridium tornatum* (Volkova) Alam-Ordoviitsium; R akritarh *Goniosphaeridium* aff. *tuberatum*. Kambrium; S akritarh *Timofeevia phosphoritica* Vanguetaine. Kambrium; T akritarh *Athabascaella* sp. Ülem-Ordoviitsium; U akritarh *Trunculumarium revinium* Loeblich & Tappan. Kambrium.

J. Nõlvak *Kivistised kui varamu*



Joonis 2. Valik kitiinikuid Ordoviitsiumi Lasnamäe lademest, Pakri poolsaarelt. Skaala: 100 mikronit. (vt. Meidla jt. 2011, joonis 3). **A** *Desmochitina elongata* Eisenack; **B** *Desmochitina ovulum* Eisenack; **C** *Desmochitina erinacea* Eisenack; **D** *Desmochitina cocca* Eisenack; **E** *Pterochitina retracta* (Eisenack); **F** *Cyathochitina calix* (Eisenack); **G** *Belonechitina crinita* (Grahn); **H** *Belonechitina pelifera* (Eisenack); **I** *Laufeldochitina striata* (Eisenack); **J** *Cyathochitina sebyensis* Grahn; **K** *Belonechitina cactacea* (Eisenack); **L** *Belonechitina micracantha* (Eisenack); **M** *Lagenochitina tumida* Umnova.

H. Soosalu *Vulkaani makett...*



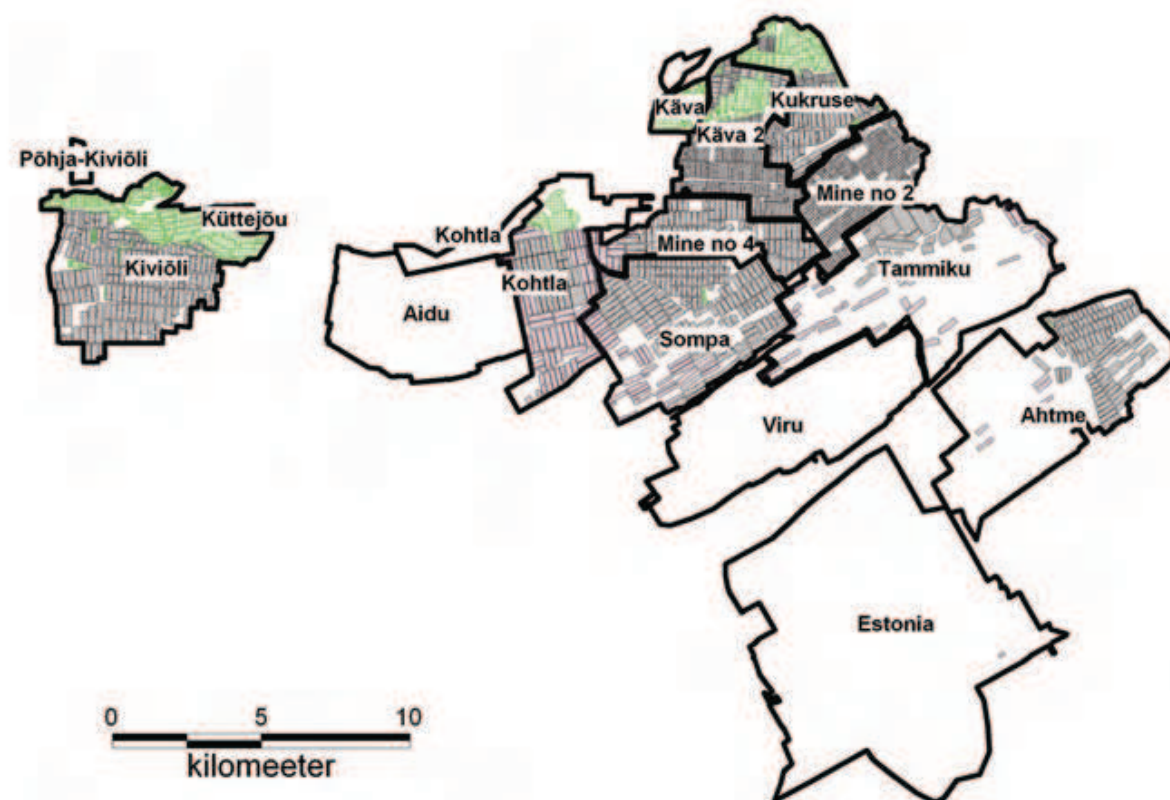
Joonis 1. Hekla näeb välja kui kummulikeeratud paat. Foto: Erik Sturkell.

H. Soosalu *Välitöö väljakutsed...*

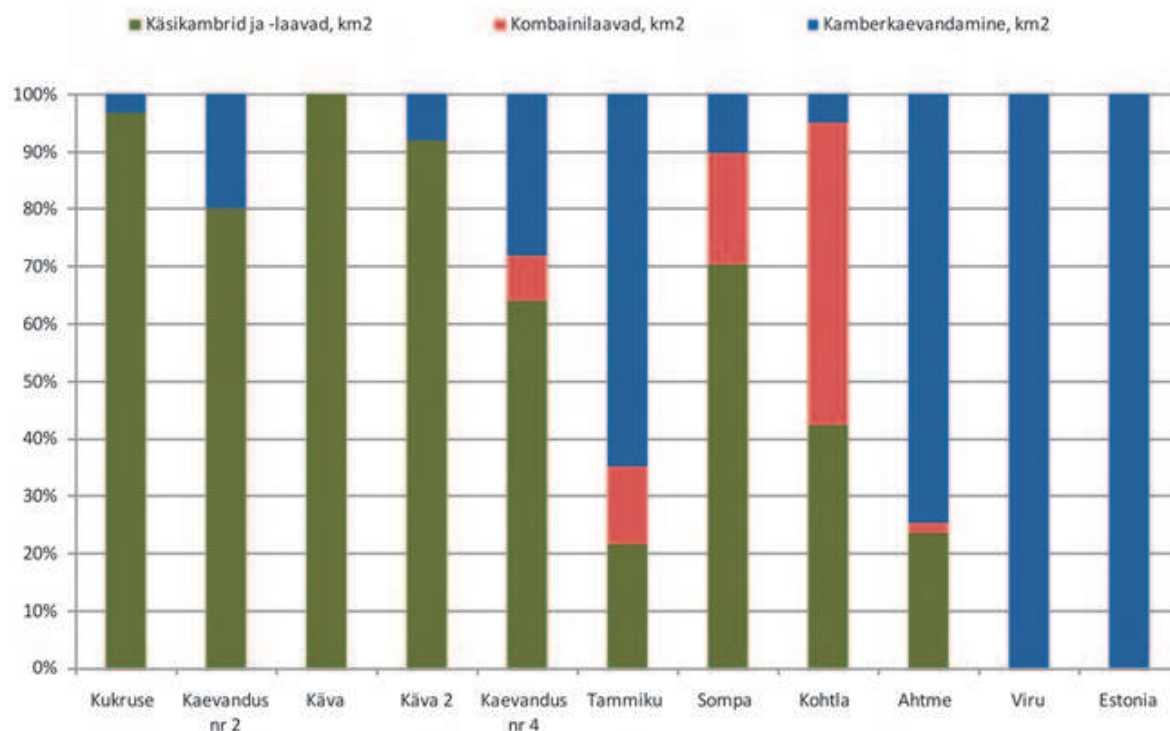


Joonis 1. Vapralt väljakutsetele vastu!

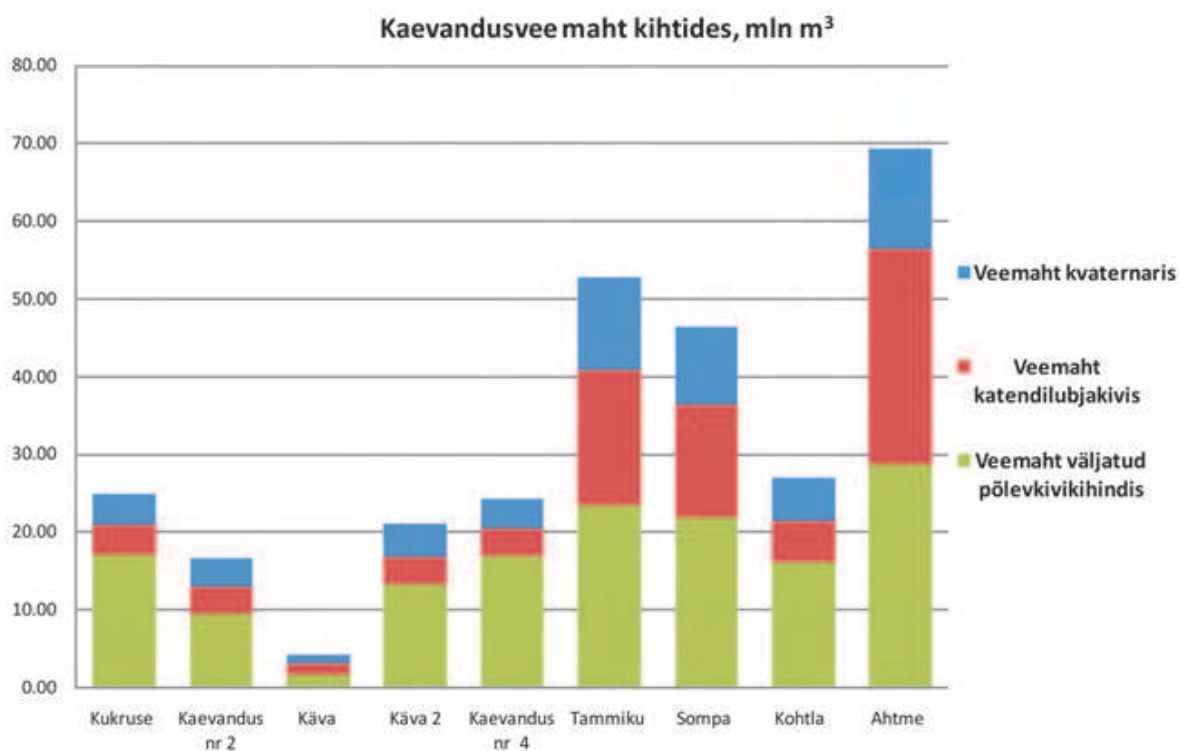
V. Karu *Suletud põlevkivikaevanduste...*



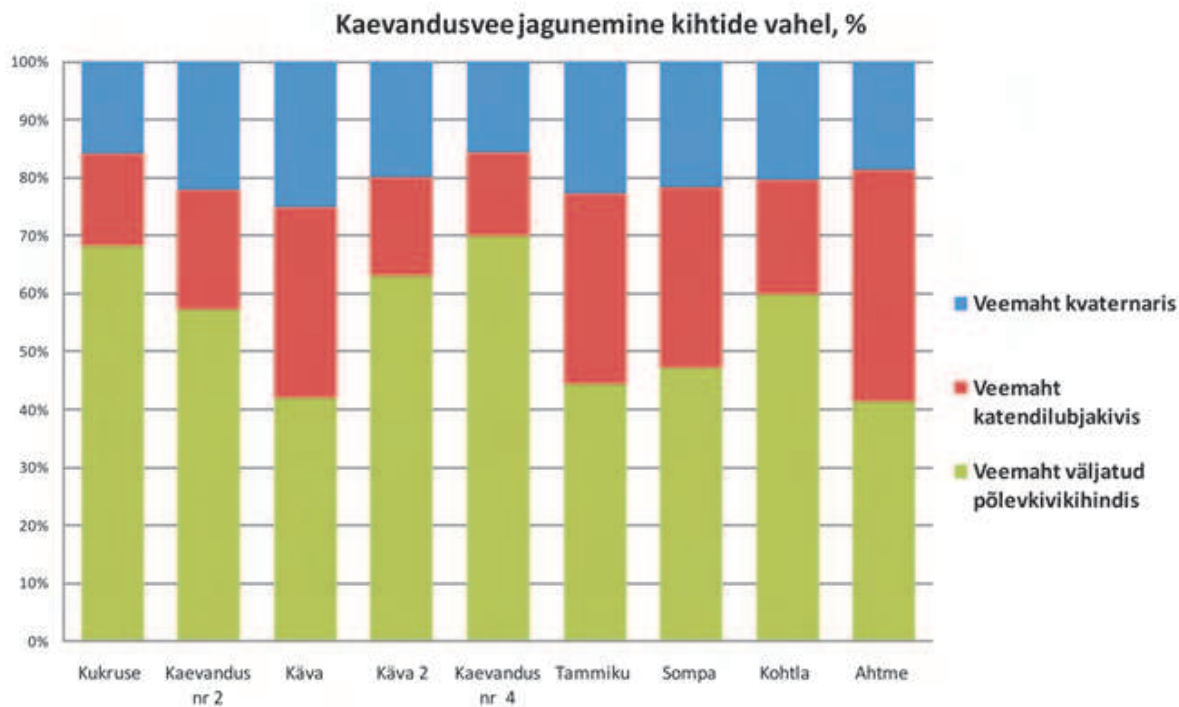
Joonis 2. Laavadega kaevandatud ala (punane viirutus – kombainilaava; roheline viirutus – käsikamber; must viirutus – käsilaavad).



Joonis 5. Kaeveväljadel kasutatud kaevandamisviiside jagunemine.



Joonis 6. Kaevandusvee mahud kaevanduste lõikes, mln m³.



Joonis 7. Kaevandusvee jagunemine kihtide vahel, %.



Joonis 1. Põlenud diküoneema-argilliit.



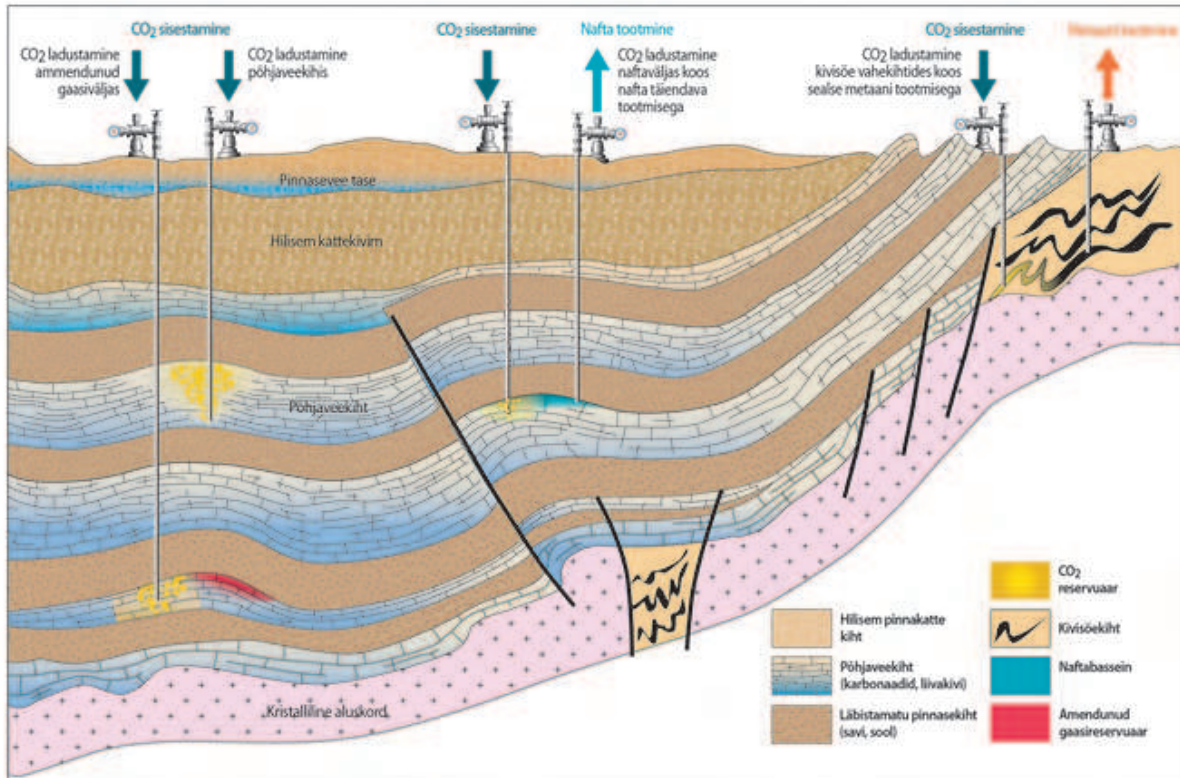
Joonis 2. Fosforiiditööstuse jääk – flotoliiv.



Joonis 3. Lubjakivi sõelmemäed Väo karjääris.

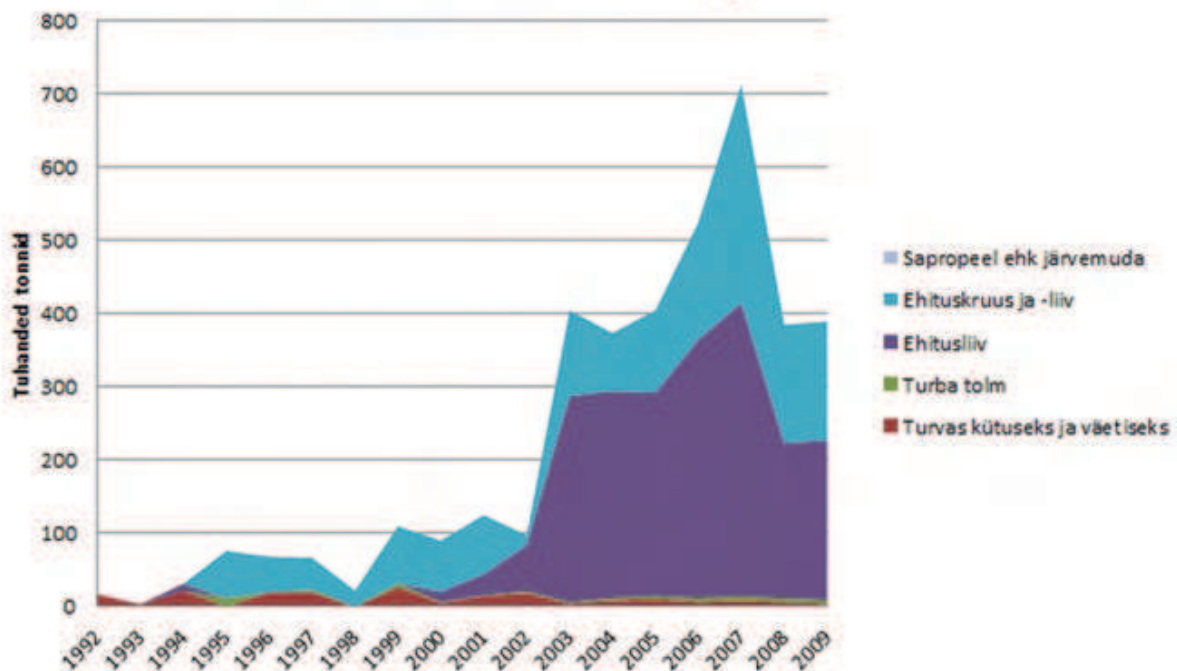


Joonis 4. Lubjakivi sõelmete ümbertöötlemine.



Joonis 1. CO₂ sisestatakse poorsete ja läbilaskvate kivimite sügavatesse kihtidesse, mida katavad läbitungimatud kivimid, mis takistavad CO₂ pagemist maapinnale. Peamised ladustamise võimalused on: (1) Ammendatud nafta/gaasi reservuaarides koos nende täiendava tootmisega, kui võimalik; (2) Põhjaveekihtid, mis sisaldavad inimestele tarbimiseks kõlbmatut soolast vett; (3) Sügavad mittekaevandatavad söekihid, kohati on sealjuures võimalik sealse metaani kättesaamine.

Põlvamaa maavarade toodang 1992...2009



Joonis 1. Põlvamaa maavarade toodang 1992–2009.

FOTOMEENUTUSED KUUENDAST GEOLOOGIA SÜGISKOOLIST



Siit me tuleme!



Kui geoloogid biitsule jõudsid, olid ämblikud juba kohad sisse võtnud.



Nii, kes oskab öelda, kust täpselt siin algab rand?!?



Tarka juttu jätkus ka jalutuskäigule mereäärde.



Mini jõesängi ja deltat uudistamas.



Geoloogide lapsepõlvverõmud: nii nii, kohe ujutame selle jõesängi üle.



Keset koolisaginat leidis ka hetk lõõgastumiseks ning päikesepaiste ja merekohina nautimiseks



Rannas tehti kõiksugu asju - mõni palvetas ka Püha Tõe poole.



Geoloogilised protsessid rannaribal I - setete paljand kanjoni servas.



Geoloogilised protsessid rannaribal II - kust poolt tuul puhub, siis teiselepoole sete maandub.



Näita, mis Sina leidsid!



Ma nägin niiiii suurt mammutit!



Teate, need rannaprotsessid on ühed delikaatsed ja põnevad asjandused.



A kust mina tean?!



Neile, kellele jäi ettekannetest veel väheseks, neile oli mõeldud välja oma mängumurk.



Kõige noorem sügiskooliline oli pea põlvepikkune.



Rahvast oli kokku kogunenud palju.



Ja mida jääb üle öelda lõpetuseks..? Tulge järgmine aasta jälle!



Siin me oleme! VI geoloogia sügiskoolis osalejad

FOTOD: Hele Pämaste, Kärt Üpraus ja Liisa Lang