

Soojenev kliima võib põhjustada kliimajahenemist

SIIM VESKI

Viimasel ajal on mõned kliima modelleerijad välja pakkunud esialgu uskumatu tulevikustsenaariumi: kliimasoojenemise tõttu sulab polaaralade liustik ja ookeani lisanduv magevesi tingib maakera kliima jahenemise. Kuidas selle järelduseni on jõutud ja kuivõrd peitub selles tõde?

Atlanti ookeani põhjaosa on meie ilmaköök: läänest itta liikuvad õhumassid toovad Eestisse sooja ja niisket ilma. Seetõttu on Põhja-Euroopas küllaltki head elutingimused, võrreldes teiste samal laiuskraadil paiknevate aladega, kas või Kanada või Siberi põhjaosaga. Maakera atmosfääri ringlust ja mahedaid läänetuuli hoiab käigus Päike ookeanide suure konveieri, nn. termohaliinse tsirkulatsiooni kaudu. See nähtus on nime saanud kreeka-keelsetest sõnadest *thermos* (soojus) ja *halos* (soolsus).

Konveieri tööpõhimõte on küllaltki keeruline. Kõige lihtsamalt võiks seda kirjeldada nii: soe veemass liigub ekvaatorilt pindmise Golfi hoovusena põhja poole, õhku soojendades hoovuse vesi jahtub, muutub soolasemaks ja raskemaks ning vajub umbes Labradori mere juures sügavamale. Ookeanisügavustes kandub see veemass lõuna poole ning tuleb taas pinnale ligikaudu 1200 aasta pärast kuskil Vaikse ookeani kirdeosas [1, 2]. Termohaliinse tsirkulatsiooni häired kajastuvad aga muutuvast kliimas.

Soe kliimaperiood tõi viikingitele edu. Jääajad ja jäävaheajad on kõige ilmekamad näited selle kohta, et kliima muutub. Võttes vaatluse alla küllalt pika ajaperioodi, elame praegu suhteliselt soojal ja stabiilsel jäävaheajal, mida geoloogid kutsuvad Holotseeniks.

Holotseeni jäävaheaeg algas ligikaudu 11 500 astronoomilist aastat tagasi. Ka selle vältel on kliima pidevalt muutunud: näiteks nn. väike jääaeg aastail 1500–1900 oma krõbekülmade talvedega ja viletsate suvedega ning Euroopat tabanud laialdaste viljaikaldustega. Vaid mõnisada aastat varem nautisid Põhja-Euroopa viikingid aga palju soojemaid ilmu. Seda aega nimetatakse ka kesk-aegseks soojaks perioodiks. Tollal said viikingid soodsate mereolude tõttu purjetada Skandinaaviast kaugemale. Oma rännakutel rüüstasid meresõitjad Euroopat, asustasid Gröönimaa ja jõudsid välja isegi Põhja-Ameerikasse.

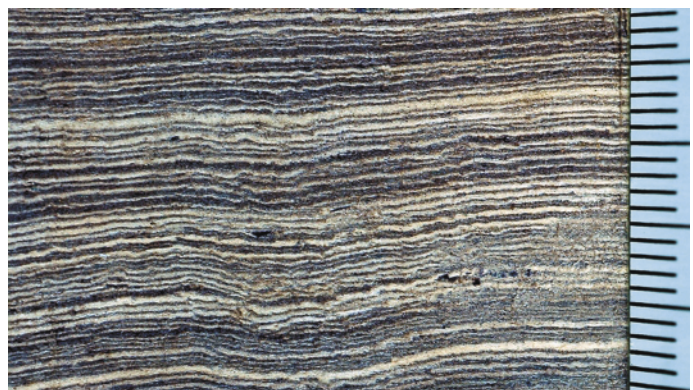
Niisuguseid soojenemisi ja jahenemisi on olnud varemgi. Imselt on ühelt poolt põhjus selles, et Maa kõige olulise-

ma radiaatori Päikese aktiivsus on aja jooksul muutunud, teiselt poolt on oma osa maailmaookeani konveieri muutustel [2, 4].

Tohutu kogus magedat vett põhjustas kaose.

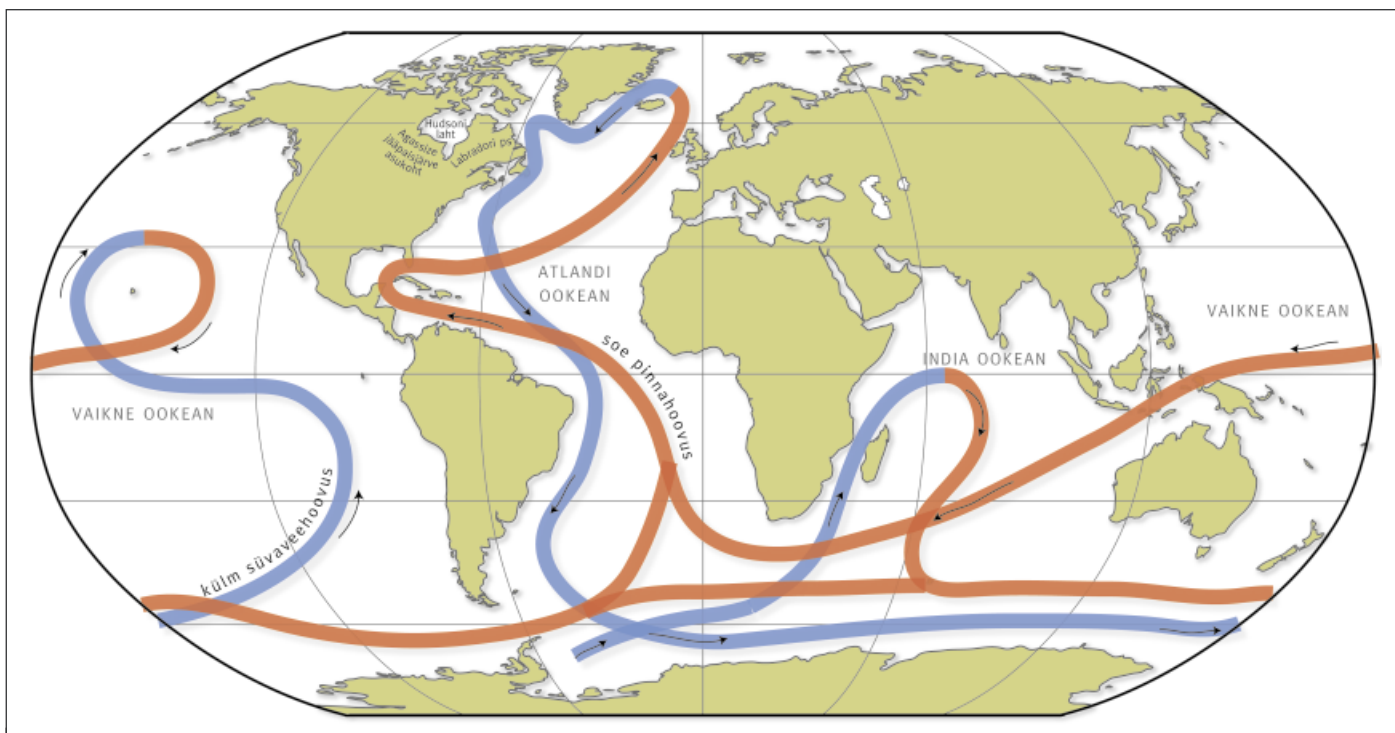
Geoloogilises ajaskaalas võivad lühiaegseid kliimamuutusi põhjustada väga paljud tegurid. Mõneti aitaks kliimakõikumisi selgitada termohaliinse tsirkulatsiooni olemus ja selle nõrgad küljed. Kummaline, kuid üks selline Achilleuse kand on mage vesi, mis võib kogu süsteemi halvata nagu kodaratesse loobitud kaigas.

Võttes aluseks globaalsed kliimamudelid, avaldub praegune kliimasoojenemine liustike ja merejää sulamises ning sademeterohkuses suurematel laiuskraadidel. Need nähtused omakorda vähendavad Põhja-Atlanti ookeani vee soolsust ja aeglustavad konveieri ning sellega koos ka soojade õhumasside liikumist Euroopasse [3]. Kliimamudelid



1. Rõuge Tõugjärve järvemudast võeti järgemööda umbes kümnet järjestikust aastat hõlmavad öietolmuproovid, mis annavad muu hulgas teavet ka järve ümbruse maastiku muutumise kohta. Heledast ehk järvelubjast ja tumedast ehk orgaanikast koosnev kihipaar kajastab ühte aastat. Kihtide paksused ja rütm viitavad settimistingimustele järves ning ühtlasi kliimamuutustele. Fotol paremal millimeetriskaala.

FOTO: GENNADI BARANOV



⊙ 2. Termohaliinne tsirkulatsioon ehk nn. ookeanide suur konveier mõjutab oluliselt meie ilma. Selle häired võivad põhjustada ulatuslikke ja küllalt kiireid kliimamuutusi.

on näidanud, et säärsed mageda vee juurdevoolud võisid konveierit aeglustada juba enne kliima soojenemisest tingitud tagajärgi [7]. Minevikus võis magevee allikas olla näiteks viimase jääaja mandriliustike sulavesi.

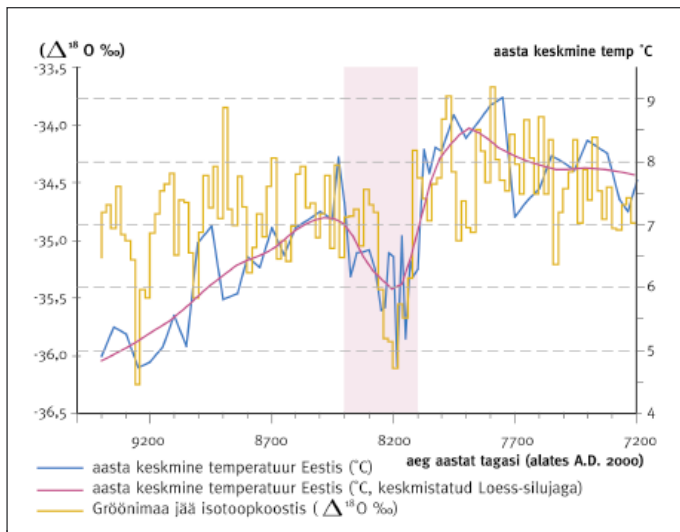
Viimaste aastatuhandete silmapaistvaim kliimajahenemine ei olnud mitte 10.–14. sajandi nn. keskaegsele kliimaoptimumile järgnenud väike jääaeg 14.–19. sajandil, vaid külmem periood üle kaheksa tuhande aasta tagasi. Arvatavasti põhjustas jahenemise tohutu hulga magevee juurdevoolu Labradori merre ja Atlandi ookeani [1]. Ligikaudu sellel ajal asus Ameerika mandril praegusest Suurest järvistust ja Kaspia merestki suurem, umbes 440 000 km² pindalaga Põhja-Ameerika mandriliustiku sulaveest toituv Agassize jääpaisjärv. Järve vee väljavoolu ookeani takistas nii pinnamood kui ka jääliustik ise. Jääjärvest oli varemgi suur kogus magevett eri teid pidi välja pääsenud, kuid ülespaisutatud sulavesi murdis jäälaamast läbi ja valgus tohutu kosena Hudsoni väina kaudu Labradori merre umbes 8400 aastat tagasi. On välja arvatud, et Agassize järvest võis välja voolata üle 150 000 km³ vett. Ent tähelepanuväärne on see, millise kiirusega vesi merre voolas: umbes miljon kuupmeetrit magevett sekundis. Selline magevee hulk ookeanis häiris tunduvalt ookeanikonveieri normaalset tööritmi Põhja-Atlandil [⊙ 6]. Arvatavasti suruti ookeani soojem pinnavesi lõuna poole, mistõttu järgneval neljasajal aastal oli kliima Euroopas märksa külmem.

Maailm on ühtaegu suur ja väike. Looduslikud protsessid, mis käivituvad teisel pool maakera, on tuntavad ka siin. Näiteks võivad Kariibi mere saari laastanud orkaani riismed nädalapäevad hiljem tormise ilmaga meil maha

sadada. Nii põhjustas ka 8200 aastat tagasi Ameerika mandril jääpaisjärve kallastest läbi tunginud vesi siinsetel aladel paarisaja-aastase külmaperioodi. Selle väite paikapidavust on tõestanud mitu uuringut. Juba mõnikümmend aastat on teada, et Gröönimaa liustikujää isotoopkoostis näitab 8200 aasta tagust jahenemist [⊙ 3]. Gröönimaa asub aga ju Labradori mere naabruses. Tõendeid sel ajal jahenenud kliima kohta on leitud ka Norra liustikest, Põhjamere ja Šveitsi alpijärvede setetest.

Need uurimistulemused tekitasid huvi ka meis: kui kaugele itta võis ulatuda ühe sellise “veelaskmise” mõju ja kas ka Eesti alalt leiaks selle kohta märke? Vastuseid aitasid leida Rõuge Tõugjärve ainulaadsed aastakihilised järvesetted [8]. Nende järgi saab aastase täpsusega teavet selle kohta, milline oli taimestik ja kliima minevikus.

Ligikaudu uuritavasse ajajärku kuuluvatest kihtidest võeti järjest umbes kümneaastast perioodi katvad proovid [⊙ 4]. Määrati nende orgaanilise aine hulk ning tehti õietolmu- ja isotoopanalüüs. Orgaanilise aine sisaldus järvemudas oleneb järve bioproduktioonist, erosioonist, järve läbiva oja vooluhulgast ja ka kliimast. Kui inimene ei mõjutanud järve valglat, saab orgaanilise aine sisalduse järgi hinnata, kas tol ajal valitses jahedam või soojem kliima. Piisavalt pikk ebasoodne kliimaperiood avaldub hästi järve ümbritsevas taimestik, näiteks taime külmakahjustustes ja ebasoodsates õitsemistingimustes. Seda näitab nii laialehiste ja soojalembeste puude (jalakas, pärn, sarapuu) ning lepa õietolmu osakaalu kui ka õietolmu absoluutse sissekande vähenemine vastavavanustes Tõugjärve setetes [9]. 8200 aastat tagasi oli laialehiste puude õietolmu suhteliselt vähem, võrreldes teiste puude omadega. Veelgi olulisem on aga see, et õietolmu absoluutne sissekanne

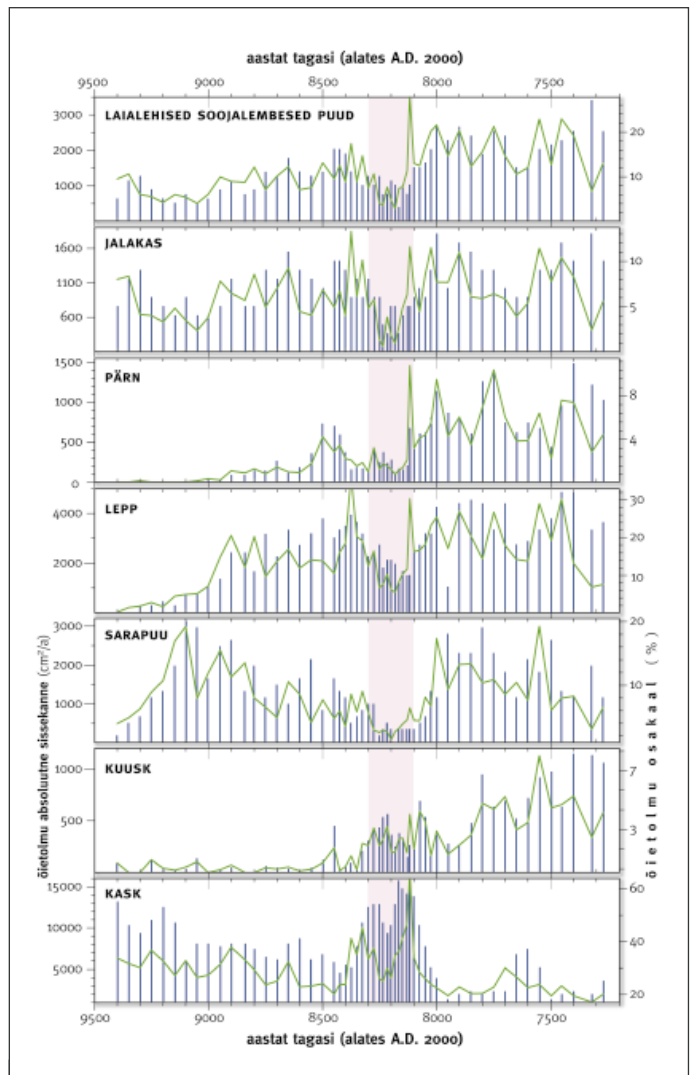


3. Gröönimaa liustikujää isotoopkoostis näitab 8200 aasta tagust jahenemist (toonitud ala). Mida madalam on hapniku isotoopkoostise näit, seda külmem on kliima. Rõuge Tõugjärvest õietolmu-taimestiku-kliima mudeliga tuletatud aasta keskmine temperatuur ajavahemikul 9400–7200 aastat tagasi ja selle LOESS-silujaga variant.

järve settepinna ühele ruutsentimeetrile aastas oli igal järgneval aastal vähenenud. Seevastu oli kase ja kuuse õietolmu samal ajavahemikul rohkem. Õietolmu sisalduse sellised muutused ei viita niivõrd koosluse muutusele metsas, vaid pigem jahenevast kliimast tingitud soojalembeste puude ebaõnnestunud tolmlmisele. Pärna puhul tuleks aga arvestada seda, et liik oli sel ajal Lõuna-Eesti aladel oma leviku põhjapiiril. Seetõttu võib tema õietolmu sisalduse vähenemist settes tõlgendada kui selle liigi leviku peatumist külma perioodi ajal. Lepp sirgus Rõuge ümbruses aga ligi tuhat aastat varem, juba 9000 aastat tagasi. Eriti laialdaselt kasvasid lepad Tõugjärve ümbruses. Kuna lepp ja sarapuu on varajased õitsejad, takistavad kevadtalvised külmad eskätt nende tolmlemist.

Kliimamudelitega mineviku kallale. Settesse matunud õietolmu ja sellest tuletatud taimestikku on seni käsitletud pelgalt kvalitatiivselt: mingi taimeliigi õietolmu sisalduse muutust settes püütakse tunnetuslikult seostada kliima muutustega skaalal soe–külm, muutustega taimkattes või inimese mõjuga loodusele. Praegusajal kasutatakse õietolmu andmeid üha enam kvantitatiivselt, s.o. õietolmu-taimestiku-kliima mudeli (WA-PLS) koostamisel. Need mudelid on valminud Helsingi, Uppsala ja Bergeni ülikooli koostööna ja põhinevad eri kliimavõõtmete sadade järvede põhjasetete pindmise osa õietolmukoostise ja piirkonna kliimanäitajate siirdevaalemil [6]. Sellised mudelid võimaldavad taastada ka tuhandete aastate taguseid kliimaolusid Eestis.

Umbes 8400–8000 aastat tagasi olnud kliimajahenemise kõige külmem aeg saja-aastase perioodi jooksul oli ilmselt 8250–8150 aasta eest. Uuringute põhjal oli Eesti alal aasta keskmine temperatuur siis kahe kuni kolme kraadi võrra madalam kui sellele eelneval ja järgneval perioodil

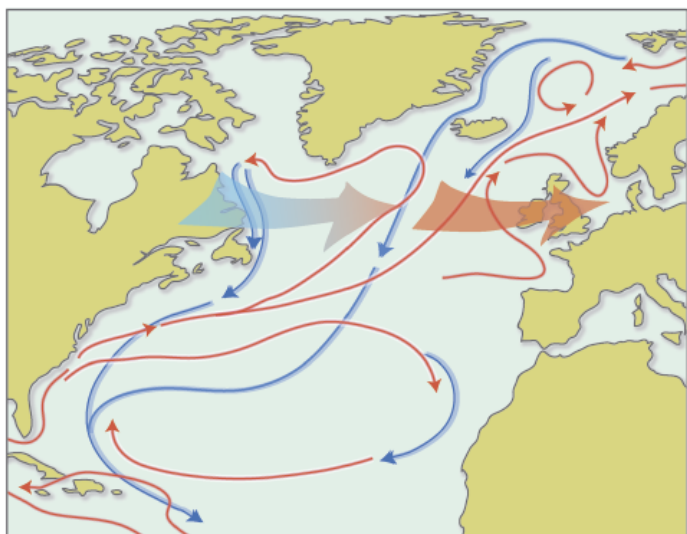


4. 8200 aastat tagasi vähenes Tõugjärve setetes nii laialehiste ja soojalembeste puude (jalakas, pärn, sarapuu) ning lepa õietolmu osakaal (histogramm) kui ka õietolmu absoluutne sissekann (roheline joon). Seevastu kuuse ja eriti kase osatähtsus ning sissekann suurenesid, mis selgelt viitab 8400–8000 aasta eest olnud kliimajahenemisele (toonitud ala).

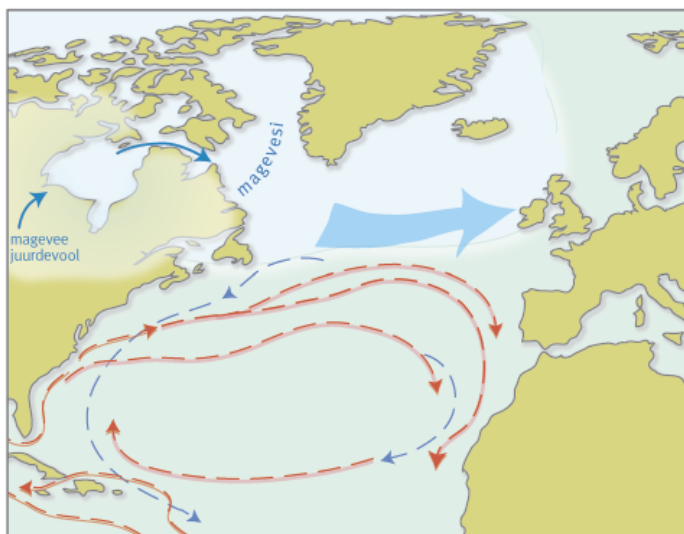
[9]. Võrreldes väikese jääajaga, oli see jahenemisperiood tunduvalt tugevam: väikesel jääajal alanes põhjapoolkera aasta keskmine temperatuur ühe kraadi võrra.

Ajavahemikul kümme kuni viis tuhat aastat tagasi tõusis aastane keskmine temperatuur Eestis tänapäeva Kesk-Soomele iseloomulikult kolmelt kraadilt meie aladel pärastjääajal olnud maksimaalse keskeuroopaliku üheksa kraadini. Uurimistulemused näitavad ka seda, et 8200 aasta tagusele külmaperioodile eelneval ajal oli Lõuna-Eesti alal aastane õhutemperatuur ilmselt kaheksa kraadi: see on ligi kaks kraadi soojem kui tänapäeval. Jalakas, künnapuu ja pärn olid tol ajal metsades tavalised. Läänemeri laius siis aga suuremal alal kui praegu ja kliima võis olla sellest tingitult mahedam ja merelisem.

8200 aastat tagasi langes aasta keskmine õhutemperatuur Eesti alal alla viie kraadi: see on umbkaudu sarnane tänapäevase ilmastikuga. Soojalembesed taimeliigid



⊙ 5. Ookeanikonveieri käivitab Põhja-Atlandil sügavamale veekihti laskuv külm, raske ja soolane vesi (peenikesed sinised jooned). Selle asemele tuleb soe pinnavesi. Ookean soojendab õhumasse (jämedad nooled), mis liiguvad ida poole ja omakorda soojendavad Euroopa kliimat.



⊙ 6. Liigne magevesi Põhja-Atlandil häiris 8200 aastat tagasi ookeanikonveieri tööd: konveier kas muutis oma liikumissuunda või seiskus, mistõttu peatus ka sooja transport Euroopasse.

hakkasid kiduma. Võib oletada, et karmimatel talvedel Eesti rannikuvetes ja Läänemeres tekkinud jääkate aitas kaasa Saaremaa ja Hiiumaa asustamisele. Arheoloog Aivar Kriiska andmetel pärinevad esimesed asustusjäljed meie kahel suuremal saarel just kaheksa tuhande aasta tagusest ajast, kui esimesed hülgekütid rajasid sinna oma laagrid.

Eesti on seni idapoolsem Euroopa osa, kus 8200 aastat tagasi olnud jahenemine on selgelt tõestatud ja selle vanus ning ajaline kulg täpselt määratud. Olulist rolli mängivad siin eriti hea eristatavusega aastakihilised järvesetted. Rõugest saadud kliimaandmete ja külmaperioodi täpse kestuse alusel on kontrollitud ja seadistatud ka üleilmseid kliimamudeleid. Näiteks koostas Hans Renssen Amsterdami Vrije ülikoolist atmosfääri-ookeani-merejää mudeli, võttes aluseks 8200 aasta taguse kliimasündmuse [5]. Niisuguste sisendparameetritega võib mudeli väljund, seega ka kliima olla erisugune, alates kliimamuutuse temperatuurivahemikust, sademete hulgast kuni muutuse ajalise pikkuseni. Viimane ongi mudeli seadistamiseks olulisim. Kõige optimaalsemaks osutus katse, mil Agassize jääjärv jooksis tühjaks kahekümne aastaga. See häiris termohaliinset tsirkulatsiooni ja põhjustas üleilmse kliimamuutuse 200–250 aastaks. Seejärel hakkas suurtel laiuskraadidel kliima jahenema ning ekvatoriaalvööndis valdasid põuad. Seda mudelit toetavad ja ühtlasi täiendavad oluliselt andmed Rõuge Tõugjärve ja mõne samalaadse aastakihiliste setetega Euroopa ja Ameerika järve kohta, samuti Gröönimaa jääpuursüdamikest loetud kliimasündmuse ajaline pikkus ning analüüsides tuletatud kliimamuutuse parameetrid.

Paremat suusailma tahaks küll. Suur kogus magevett võib ookeani konveierit ja atmosfääri tsirkulatsiooni halvata või hoopis pöördumatult muuta. Põhja-Euroopas, kus meieigi elame, tähendaks see aga kliima jahenemist.

Küllaltki huvitavad tulemused pärinevad Pentagoni tellitud uurimistöödest: on lastud hinnata olukorda kliimasoojenemisest tingitud ookeanivee magestumise ja kliimajahenemise järel. Samuti on esitatud lähema viiekümne aasta võimalikud stsenaariumid. Paraku ei ole ükski neist meeldiv. Euroopas tähendaks see näiteks rahvastiku rännet lõuna poole. Samuti kuivemat kliimat, mis võib kaasa tuua probleemid mageveevaruga. Veelgi suureneb aga energiavajadus. Ja kõige selle tõttu suurenevad tõenäoliselt ka rahvusvahelised pinged.

Läheb, kuidas läheb. Selge on see, et tuleviku kliimastse-naariume saab kõige paremini hinnata selliste kliimamude-
lite abil, mis põhinevad üha täpsematel uuringutel. Kui ilmastik globaalse kliimasoojenemise tõttu hoopis jaheneb, siis loodetavasti ei tule ettekuulutatud kliimakatastroofe ja paraneb vaid Eesti kehvaspoolne suusailm. ■

1. Alley, Richard et al. 1997. Holocene climatic instability: A prominent, widespread event 8200 yr ago. – *Geology* 25: 483–486.
2. Bond, Gerard et al. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. – *Science* 278: 1257–1266.
3. Manabe, Syukuro; Stouffer, Ronald 1995. Simulation of abrupt climate change induced by freshwater input to the North Atlantic Ocean. – *Nature* 378: 165–167.
4. Murdmaa, Ivar 2004. Kliima soojenemises on süüdi päike ja ookean. – *Horisont* 5: 12–16.
5. Renssen, Hans et al. 2001. The 8.2 kyr BP event simulated by a global atmosphere-sea-ice-ocean model. – *Geophysical Research Letters* 28: 1567–1570.
6. Seppä, Heikki et al. 2004. A modern pollen-climate calibration set from northern Europe: developing and testing a tool for palaeoclimatological reconstructions. – *Journal of Biogeography* 31: 251–267.
7. Vellinga, Michael & Wood, Richard 2002. Global climatic impacts of a collapse of the Atlantic thermohaline circulation. – *Climatic Change* 54: 251–267.
8. Veski, Siim jt. 2003. Lehitsedes esimesi lehekülgi Rõuge järvemuda raamatust. – *Eesti Loodus* 54 (1): 10–15.
9. Veski, Siim et al. 2004. Cold event at 8200 yr BP recorded in annually laminated lake sediments in eastern Europe. – *Geology* 32: 681–684.

Siim Veski (1964) on filosoofiadoktor kvaternaargeoloogia erialal, töötab Tallinna tehnikaülikooli geoloogia instituudis vanemteadurina.