



Töötuba 1: Evolutsioonilised sündmused geoloogilisel ajaskaalal

Üks peamisi küsimusi, mille üle on inimesed juurelnud sajandeid, on – millest ja kuidas sai alguse elu Maal ja millal? Mõned Antiik-Kreeka filosoofid tulid välja ideega, et loomad, sh inimesed, võisid areneda teist tüüpi loomadest. Küll aga jäi evolutsiooniline mõtlemine sajanditeks kristlike maailmavaadete varju. Tänapäeval on evolutsiooniteooria aluseks teaduslikud tõendid, kuigi elu arengu seletamise juures on palju aspekte, mida teadus praegu seletada ei oska. Jätkuv teadmiste kogumine ja teaduse areng võimaldab ehk ka neile vastuse leida.

Elu meie planeedil on kestnud umbes 4 miljardit aastat. Vanimaid elu jälgi on mõtet otsida Gröönimaalt, Austraaliast ja Kanadast 3,5 kuni 4,3 miljardi vanustest moondekivimitest, mis olid algupäralt merelised settekivimid. Mida vanemad on kivimid, seda väiksem on tõenäosus, et need on pääsenud ümbersulatamisest, seega ka väiksem tõenäosus neist orgaanilise aine jäänuseid leida. Ühesõnaga, Maa varajases arengus toimunud protsessid ja sündmused seavad piirid, kui kaugele ajas on üldse võimalik minna elu alguse otsingutel.

Vanimateks elumärkideks peetakse kihilisi lubiainest struktuure – stromatoliite, mis on tekkinud fotosünteesivate koloonialiste tsüanobakterite elutegevuse tagajärjel. Stromatoliitseid struktuure on leitud 3,5 miljardi aasta vanuselistest kivimitest, kuid kuna need ei sisaldanud otseselt rakulisi fossiile, on nendes kahtlema hakatud ning neid peetud hüdrotermaalse tekkega moodustisteks. Hiljuti leiti aga Kanadast arvatavaid mikrofossiile nii iidsetest stromatoliitsetest moodustistest kui ka torujatest-niitjatest moodustistest struktuure, mis meenutavad tänapäevaste ookeanide hüdrotermaalsete korstnate ümber elavaid baktereid. Sealsete kivimite vanuseks on esialgsel andmetel 3,7 kuni 4,3 miljardit aastat.

Arutame õpilastega evolutsiooni pöördelisi etappe geoloogilisel ajaskaalal nii geoloogiliste kui paleontoloogiliste tõendite alusel. Looma- ja taimeriigi areng põhineb looduslikul valikul ning kohastumustel, mis aitavad organismil paremini hakkama saada nii elus kui eluta keskkonnas. Maa geoloogilises ajaloos on pidanud organismid hakkama saama nii mõõdukate elukeskkonna muutustega kui taluma katastroofilisi keskkonnamuutusi, mis viisid massiliste väljasuremisteni. Hinnanguliselt on kõigist Maal elanud liikidest 99% välja surnud, kuid ainult 5% kõigist väljasurnud liikidest langeb massiliste väljasuremistete arvele (Erwin, 2000 / Life's downs and ups. *Nature*, 404).



Töötuba 1: Evolutsioonilised sündmused geoloogilisel ajaskaalal

Fotosünteesi tekkimise ja hapniku kogunemisega atmosfääri kaasnesid olulised muutused ja edasimineku elu arengus. Esimesed elusolendid arhed ja bakterid (ainuraksed prokarüootid) olid anaeroobid ning suutsid elada äärmuslikes tingimustes. Fotosünteesivad ja seega vaba hapnikku tootvad tsüanobakterid tekkisid ligikaudu 2,7 miljardit aastat tagasi. Umbes 2,4 miljardit aastat tagasi toimus oluline muutus nn. Suureks Hapnikusündmuseks, mil 100 miljoni aasta jooksul tõusis hapnikusisaldus atmosfääris kuni 1%-ni tänapäevasest tasemest. Seda sündmust on peetud oluliseks seetõttu, et hapnik mõjus tõenäoliselt enamikule prokarüootidele surmavalt, ellujääjad olid aga sunnitud kiirelt evolutsioneeruma, mis võis omakorda olla oluline päristuumsete (eukarüootide) organismide tekkele. Vanim eukarüooti kivistis on leitud 1,9 miljardi aasta vanustest kivimitest. Järgmine hapnikusündmus toimus vahemikus 850–540 miljonit aastat tagasi, mille tulemusel tõusis atmosfääris hapniku kontsentratsioon tänapäevase suurusjärguni (~20%-ni), ka süvaookeanides. Krüogeeni ja selle järgneva Ediacara suhteliselt külmad tingimused võisid anda eelise keerulistele mitmerakulistele eukarüootidele.

Hulkraksed organismid hakkasid kiiresti arenema ja levima Proterosoikumi lõpus, kulmineerudes nn. Ediacara pehmekehaliste faunana ning hiljem, Fanerosoikumi alguses Kambriumi plahvatusega, mil suhteliselt lühikese ajaga (70-80 miljoni aasta jooksul) suurenes hüppeliselt organismide mitmekesisus ning ilmusid kõik põhilised loomahõimkonnad. Ilmusid esimesed välise skeletiga loomad ning esimesed keelikloomad e. selgroogsete eellased. Taimeriigi ainsad esindajad olid vetikad, kes moodustasid suuri kolooniaid.

Maismaa asustamine. Oluliseks evolutsioonilise arengu tõukejõuks oli elu kolimine veelisest keskkonnast maismaale. Taimed hakkasid arenema rohevetikatest (protistid) umbes 450 miljonit aastat tagasi. Esimesed maismaataimed olid samblalaadsed, kes nõudsid niisket kliimat hõlmates esialgu veekogude soised niisked rannikualad. Hiljem, kui taimed olid võimelised moodustama oma katteks vahalaadseid aineid, said nad võimaluse asustada sisemaa kuivemaid piirkondi. Karboni (359-299 miljonit a.t) niiske ja soe kliima soodustas maismaataimede kiiret levikut.

Üldtunnustatud seisukoha järgi pärinevad kõik maal elavad selgroogsed ühest väikesest grupist kaladest (*Panderichthys*), kes Hilis-Devonis umbes 370 miljonit aastat tagasi ronisid veest välja asudes elama maismaale. Alatest esimestest kuivamaa selgroogsete loomadest ning tetrapoodide loomarühmade (kahepaiksed, roomajad, linnud, imetajad) teke ei olnud mitte ainult võtmemoment meie endi inimeseks arengus, vaid muutis igaveseks kogu Maa ökosüsteemi.



Töötuba 1: Evolutsioonilised sündmused geoloogilisel ajaskaalal

Inimene. 2,5 miljoni aastaga, mil inimene on eksisteerinud, on toimunud tormiliselt kiire areng – astralopiteekusest ehk lõunaahvist on saanud lühikese ajaga superintelligentne organism, kelle suurim oskus ning eelis teiste organismide ees on informatsiooni kasutamine ning vaimse töö tegemise võime. Tihti arvatakse, et tänapäevase inimese evolutsioon on jäänud toppama, sest kultuur ja tehnoloogia ei lase looduslikul valikul toimida. Osad uurimused aga tõendavad, et mikroevolutsiooni tulemusi on võimalik näha juba mõne põlvkonna möödudes (näiteks keskmise pikkuse suurenemine, esmasünnitajate ea nooremise).

Massilised väljasuremised. Väljasuremine on eluslooduse lahutamatu osa, mis toimub pidevalt. Maal on toimunud terve rida erineva ulatusega väljasuremisi, nende seas eristub viis globaalse massilise väljasuremise episoodi, mille käigus ei hävinenud mitte üksnes paljud liigid, vaid terved ökosüsteemid. Massiliste väljasuremiste põhjustajateks on eelkõige geoloogilised protsessid, mille tagajärjel muutuvad katastroofiliselt elukeskkonna tingimused, millega enamus liike ei suuda kohastuda. Ajaloo suurim väljasuremine toimus Permi ajastu lõpus (250 miljonit aastat tagasi), mille jooksul said ökosüsteemid nii palju kannatada, et Vara-Triiast peetakse Fanerosoikumi kõige suuremaks „surnud tsooniks“. Täielikult kadusid trilobiidid ning korallidest nii tabulaadid kui rugoosid. Varasemat mitmekesisust ei saavutanud enam kunagi käsijalgsed (brahhiopoodid) ja meriliiliad (krinoidid). Väljasuremise põhjustena on välja pakutud vulkaanilist aktiivsust (ulatuslik basaltsed laavavoolud Siberi kraatonil), mille tulemusena paisati õhku suurel hulgal CO₂, mis omakorda võis põhjustada globaalset soojenemist ning mere hapnikupuudust (anoksia).

Kriidi lõpus (65 miljonit aastat tagasi) toimunud väljasuremise peapõhjuseks loetakse meteoriidi-plahvatuse poolt atmosfääri paisatud tolmu erinevaid mõjusid, millest olulisemad olid pimedus ning planeedi jahenemine. Oma roll oli kindlasti ka juba varem alanud kliima jahenemisel. Väljasuremine oli erakordselt selektiivne, kadusid nii suured faunagrupid nagu dinosaurused, merelised roomajad ja ammoniidid ning suur hulk bentilisi organisme.

USA-s läbi viidud teadusuuring on jõudnud järeldusele, et Maa on sisenenud uude, kuuendasse väljasuremise perioodi, mille on põhjustanud inimene ning mille ohver ta ka ise saab olema. Väljasuremise faasi võimaliku ilmnemise põhjustena on välja toodud elupaikade hävimine, keskkonna-reostus, kliimamuutused, võõrliikide sissetoomine ja haigused. Hinnangute kohasel võib aastaks 2050 välja surra isegi kuni kolmandik praegu elavatest liikidest.





Töötuba 2: Fossiilide määramine

Lisaks evolutsiooni mõistmisele aitavad fossiilid meil mõista ja kirjeldada Maa geoloogilist ajalugu. Fossiili leiuga saame ühelt poolt kindlaks teha selle, ammu elanud organismi ehituse ja eluviisi (liikumine, toitumine, paljunemine), organismidevahelisi sugulussuhteid ja evolutsioonilist arengut. Kogu elusloodus on aga tihedas seoses eluta keskkonnaga. Kõikidele organismidele on olulised kliimategurid (temperatuur ja sademed) ning aineringlus, nii eluks vajalike kui kahjulike ainete ringlus (hapnik, süsinik, lämmastik, mineraalained). Mineviku keskkonna tegurid on salvestatud kivimitesse. Arutleme õpilastega seoseid kivimite ja neis leiduvate fossiilide vahel. Mida järeldada sarnaste kivimikihtide levikust ja neis esinevatest fossiilileidudest erinevatelt tänapäevastelt kontinentidelt (mandrite triiv!). Kivimitest saame infot organismide elukeskkonna ja kliimatingimuste kohta, ning vastupidi, organismide põhjal saab hinnata kliima- ja keskkonningimusi (sooja- või külmalembene kooslus; soolase, riim- või mageveeline kooslus), milles vastavad kivimikihid on kujunenud.

Praktilise ülesande käigus määrame Eesti erinevates kivimikihtides esinevaid fossiile, uurime nende ehitust ja eluviisi ning lähtuvalt kivimite iseloomust kunagise elukeskkonna tingimusi.

Praktiline tegevus. Fossiilide prepareerimine ja määramine

Vahendid

Suruõhupreparaatorid, kaitseprillid, luubid, stereomikroskoobid, kivimipalad fossiili(de)ga.
Tööleht, kirjutusvahend, iPad, fossiilide õppekogu.

Juhendaja ülesanded

Tegevus toimub kiviõpikojas individuaaltöona. Õpilastele tutvustatakse suruõhupreparaatoriga töötamist. Iga õpilane saab kivimipala, mis sisaldab fossiile. Prepareerimisriistaga puhastab õpilane kivimipalast fossiili välja, et seda paremini näha ja määrata. Kivimipalast esinevaid väikesemõõdulisi ja mikroskoopilisi fossiile uurivad/määravad õpilased mikroskoobi all. Õpilaste ülesanne on võrrelda oma tundmatut fossiili õppekogu fossiilidega ning kasutades abimaterjale leida fossiilile nimi ja süstemaatiline kuuluvus (takson), kirjeldada tema põhiehitust ja eluviise (liikumine, toitumine, paljunemine) ning stratigraafiline levik (ilmumine-väljasuremine).

Fossiilirühmade tunnuseid saab vaadata <http://www.fossiilid.info>.

Abimaterjalina võib kasutada raamatut „Eesti kivistisi. Geoloogilised retked Eestis 1“ (Puura I., 2006).





Taustinfo

Eestimaa on unikaalne paik ürgse elu tundmaõppimiseks, kuna meil leidub rikkalikult väga hästi säilinud kivistisi Vara- ja Kesk-Paleosoikumi settekivimites vanusega 560 kuni 360 miljonit aastat. Eesti vanimatest, Ediacara settekivimitest võib leida mikroskoopilisi akritarhide ja vetikate fossiile. Ediacara ajastule iseloomulikke pehmekehaliste hulkraksete organismide kivistisi ei ole leitud. Kambriumi alguse jahedapoolses meres ei olnud ka veel suurt elurikkust, sinisavist leiab rohkesti ussilaadsete mudasliikujate roomamisjälgi (ihnofossiilid). Maailma soojades meredes aga suurenes plahvatuslikult organismide mitmekesisus ning ilmusid toesega (skeletiga) varustatud hulkraksed loomarühmad. Nii leiame juba meie settekivimitest hulgaliselt veeliste selgrootute hõimkondade esindajaid – limused (teod, peajalgsed, karbid), lüljalgsed (trilobiidid), käsijalgsed, käsnad, sammalloomad, okasnahksed, ainuõõssed (korallid/õisloomad).

Selgroogsetest võib leida alates Siluri lubjakividest, aga peamiselt Devoni liivakividest pea kõikide väljasurnud lõuatute ning teiste ürgsete kalade luuplaatide tükke ja üksikuid soomuseid.

Suurimetajate fossiilsed leiud Eestis on seotud kvaternaari setetega ning suure tõenäosusega on tegemist mandriliustike mõjul ümbersetatud materjaliga (=tundmatu päritolu). Eestist on leitud kenake hulk mammuti skeletiosi (peamiselt purihambad ja võhatükid) ning mõned ürgpiisoni ja karvase ninasarviku luujäänused. Ainukesteks tõestatud päritoluga leidudeks on kaks purihammast Euroopa ühelt viimaselt mammutipopulatsioonilt, kes lisaks naabermaadele käis läbi Puurmani kandist ning kus vähemalt üks mammut umbes 11,5 tuhat aastat tagasi oma otsa leidis.

Taimede (riik Plantae) kivistised ei ole Eesti settekivimites kuigi rikkalikult esindatud, erandiks on alamate taimede hulka kuuluvad vetikad (organismirühm Algae). Eestist leitud vetikatest on vanim Ediakara aegne, kuid harukordselt rikkalik vetikakooslus on leitud Siluri lubjakividest (ainuke leiukoht Kalana karjäär). Ürgsemateks vetikate ning bakterite osalusel tekkinud moodustisteks on stromatoliidid, mida Eestis leiab samuti Siluri ajastu lubjakividest. Kõrgemate taimede leiud on veelgi haruldasemad, teada on vaid mõned üksikud sõnajalgtaimed (eostaimed), kes ilmusid Siluris kasvades nii maal kui ka mageveelises keskkonnas. Devoni settekivimites, mis on tekkinud veelises keskkonnas, on sõnajalgtaimede leiud haruldased.



Praktiline tegevus. Fossiilide prepareerimine ja määramine

Mikrofossiilid on väikesed, tavaliselt alla 1 mm suurused kivistised, mis on nähtavad vaid mikroskoobiga. Levinumateks mikrosfossiilide rühmadeks Eestis on konodondid (ürgkeelikloomad), lülijalgsete hulka kuuluvad ostrakoodid, hulkharjasusside „hambad“ ehk skolekodondid ning akritrahid (üherakulised tundmatu kuuluvusega ümarad mikrofossiilid).

Levinumad loomarühmade kivistised Eesti settekivimites.

Hõimkond Mollusca (limused)

Klass Gastropoda (teod)

Klass Cephalopoda (peajalgsete)

Klass Bivalvia (karbid)

Hõimkond Arthropoda (lülijalgsete)

Alamhõimkond Trilobita (trilobiidid)

Klass Ostracoda (karpvähilised ehk ostrakoodid)

Selts Euryptera (meriskorpionid)

Hõimkond Brachiopoda (käsijalgsete)

Hõimkond Echinodermata (okasnahksed)

Hõimkond Cnidaria (ainuõõssed)

Klass Anthozoa (õisloomad)

Alamklass Rugosa (sarvkorallid ehk rugoosid)

Alamklass Tabulata (põhik-korallid ehk tabulaadid)

Hõimkond Bryozoa (sammalloomad)

Hõimkond Hemichordata (ürgkeelikloomad)

Alamklass Graptolithina (graptoliidid)

Hõimkond Porifera (käsna)

Hõimkond Chordata (keelikloomad)

Klass Conodonta (konodondid)

Alamhõimkond Vertebrata (selgroogsed)

Ülemklass Agnatha ehk lõuatud

Organismirühm Gnathostomata (lõugsuused)

Klass Placodermi (rüükalad)

Klass Acanthodii (akantoodid)

Klass Osteichthyes (luukalad)

Klass Chondrichthyes (kõhrkalad)

Ülemklass Tetrapoda (tetrapoodid ehk neljajalgsete)

Klass Mammalia (imetajad)