

Geograafiaõpik gümnaasiumile

II kursus

Maa kui süsteem

Väljaandja kinnitab õpiku vastavust gümnaasiumi riiklikule õppekavale ning haridus- ja teadusministeeriumi poolt õppekirjandusele kehtestatud nõuetele.

Jürgen Hendrik Voitka
Geograafiaõpik gümnaasiumile. II kursus. Maa kui süsteem

Retsensendid Jüri Roosaare ja Glaidi Aasrand
Toimetaja Elari Hain
Kujundaja Sirli Siniväli
Keeletoimetajad Karet Eesmäe ja Killu Mei
Kaante kujundaja Heisi Väljak

Mauruse
digiõppevara leiad
TaskuTargast.



taskutark.ee/opi

Tagasisidet loodus-
valdkonna õppematerja-
lidele saad jätta siin.



taskutark.ee/LO-tagasiside

ISBN: 9789908600024
Autoriõigus: OÜ Maurus Kirjastus
Esmatrükk: 2025
Trükk: Tallinna Raamatutrükikoda

Kirjastus Maurus
Tartu mnt 74, 10144 Tallinn
Telefon 5919 6117
www.kirjastusmaurus.ee
tellimine@kirjastusmaurus.ee

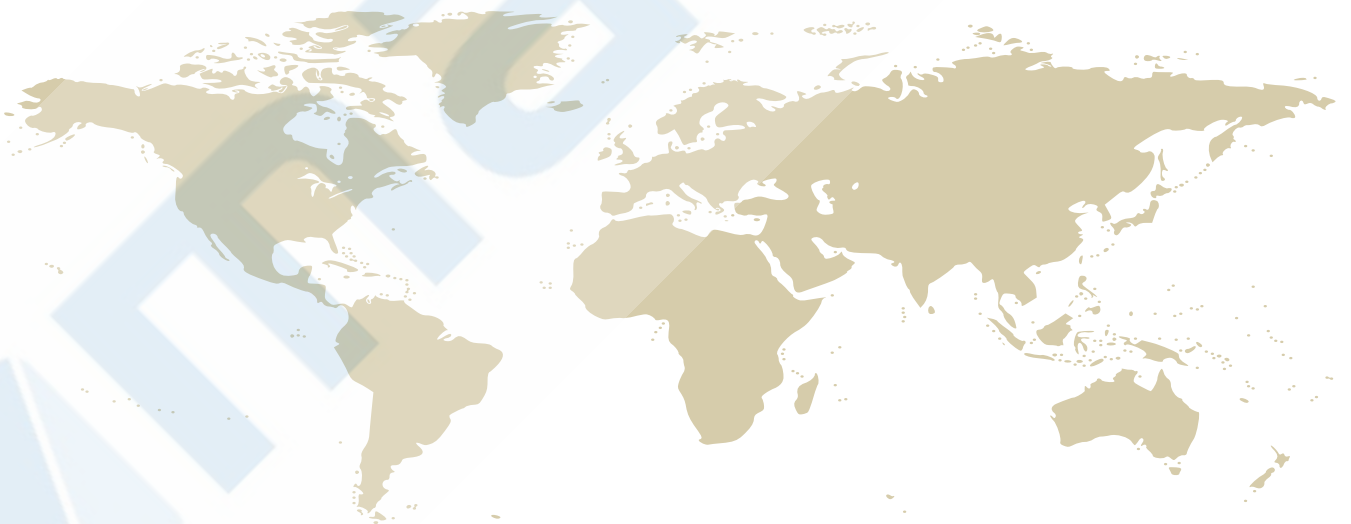
Kõik õigused käesolevale väljaandele on seadusega kaitstud. Ilma autoriõiguse omaniku kirjaliku loata pole lubatud ühtki selle väljaande osa paljundada ei mehaaniliselt ega muul viisil.

Geograafiaõpik gümnaasiumile

II kursus

Maa kui süsteem

Jürgen Hendrik Voitka



Tere tulemast geograafia II kursusele!

Kui esimesel kursusel said tuttavaks pidevalt muutuva osaga meie maailmast – rahvastiku ja majandusega –, siis teisel kursusel tutvustame rohkem loodusreegleid ja -trende. Maa on mitu miljardit aastat vana ning kuigi meie eluea jooksul võib suur osa loodusest tunduda muutumatuna, ei maksa selle põhjal ennatlikke järeldusi teha. Loodus meie ümber on pidevas muutumises, lihtsalt veidi aeglasema tempoga. Mandrite liikumine ja mägede kulumine on niivõrd aeglased, et neid on raske märgata. Seevastu õhus ja veestikus toimuvaid muutusi tunneme pidevalt. Kliimamuutuste tekkest, mõjust ja tagajärgedest on tähtis aru saada, et olla tulevikuks paremini valmis ning anda need teadmised edasi tulevastele põlvkondadele.

Ka selles õpikus on suurem osa andmeid aastatest 2022–2025, kuid üritame kirjastusega alati hoida QR-koodide abil informatsiooni kõige värskemana. Olulisemate andmete juures leiad QR-koodi, mida skannides pääsed ligi kõige uuemale informatsioonile. Kui skannimise võimalus puudub või eelistad andmeid arvutis vaadata, sisesta brauserisse taskutark.ee/qr/geog2-x ning pane tähe „x“ asemele QR-koodi järjekorranumber, näiteks QR-koodi 1 link on taskutark.ee/qr/geog2-1.

Põnevat õpiteed läbi Maa dünaamiliste protsesside – olgu see hariv ja inspireeriv!

Jürgen Hendrik Voitka

1. Litosfäär ja geoloogia

1.1. Maa teke ja areng	8
1.2. Maa siseehitus	13
1.3. Laamtektoonika	17
1.4. Vulkaanid ja vulkanism	22
1.5. Maavärinad ja seismoloogia	27
1.6. Kivimid ja kivimiringe	32

Lisapeatükk. Geoturism ja UNESCO geopargid	37
--	----

2. Atmosfäär ja meteoroloogia

1.1. Atmosfääri ehitus	42
1.2. Kliimat kujundavad tegurid	46
1.3. Kasvuhooneefekt ja kliimamuutused	50
1.4. Üldine õhuringlus	54
1.5. Kliimavöötmel	59
1.6. Ilma prognoosimine	65

Lisapeatükk. Kliimamuutused popkultuuris ja meedias	71
---	----

3. Hüdrofäär ja hüdroloogia

1.1. Vee jaotumine Maal	78
1.2. Veeringe	82
1.3. Hoovused ja looded	87
1.4. Rannaprotsessid ja rannikud	92
1.5. Liustikud	98

Lisapeatükk. Vesi kosmoses	103
----------------------------	-----

4. Maa süsteemide vahelised seosed

1.1. Aine- ja energiaringed	110
1.2. Pedosfäär ja mullateke	115

Kokkuvõte. Maa sfääriliste süsteemide koostöö	120
---	-----



1. Litosfäär ja geoloogia

*Mulle tundub, et kõik meie teadmised Maa struktuuri kohta on väga sarnased sellega, mida vana kana teaks saja aakri suurusest põllust, mille nurgas ta siblides toitu otsib. **Charles Darwin** (1809–1882)*

- 1.1. Maa teke ja areng
- 1.2. Maa siseehitus
- 1.3. Laamtektoonika
- 1.4. Vulkaanid ja vulkanism
- 1.5. Maavärinad ja seismoloogia
- 1.6. Kivimid ja kivimiringe

Lisapeatükk. Geoturism ja UNESCO geopargid



Selles peatükis

- saad teada, kuidas Maa tekkis;
- õpid tundma Maa siseehitust ning võrdlema mandrilist ja ookeanilist maakoort;
- õpid kirjeldama geoloogilisi protsesse laamade äärealadel;
- õpid kirjeldama vulkaane ja kuumi täppe, seostades neid laamtektooniliste protsessidega;
- õpid iseloomustama vulkaane kuju, purske ja magma iseloomu järgi;
- saad teada, mis on maavärina piirkonnad, kuidas maavärinad tekivad ja kuidas neid mõõdetakse;
- õpid kivimeid nende tekke järgi liigitama ning selgitama kivimiringe olemust;
- õpid tundma erinevaid kivimeid ning nende tähtsamaid kasutusalasid.

1.1. Maa teke ja areng

Meie planeet Maa on dünaamiline, pidevas muutumises olev süsteem. Ta on läbinud pika ja keerulise arengutee. Maa areng on olnud inimkonna ajalooga võrreldes märksa pikem. Hinnanguliselt tekkis Maa umbes 4,6 miljardit aastat tagasi. Selle pika aja jooksul on toimunud lugematul hulgal muutusi: mandrid on liikunud, mäed on kerkinud ja murenenud, kliima on korduvalt muutunud ja elu on arenenud.

Geokronoloogiline skaala

Maa pika ajaloo uurimiseks ja mõistmiseks on teadlased loonud **geokronoloogilise skaala** – aja-skaala, millega jagatakse Maa ajalugu eoonideks, aegkondadeks, ajastuteks ja ajastikeks. Et skaalal on Maa areng jagatud erinevateks etappideks, saame paremini aru Maa dünaamilisest minevikust ja olevikust ning oskame luua seoseid bioloogias õpitava evolutsiooniga, näiteks tänapäeva inimese kui liigi arenguga või dinosauruste väljasuremisega.

Geokronoloogilise skaala ajalised piirid ei ole juhuslikud, vaid nende määramisel on lähtutud märkimisväärtetest sündmustest Maa ajaloos, näiteks liikide massilisest väljasuremisest või uute liikide tekkimisest ja kiirest levikust. Lisaks fossiilidele võib ajaperioodide piiritlemisel arvesse võtta ka olulisi geoloogilisi sündmusi, nagu mäestike teke, mandrite liikumine ja kliimamuutused. Need on jätnud kivimitesse jäljed, mida geoloogid tõlgendavad ja uurivad.

Tabelis 1 on toodud kogu geokronoloogiline skaala, mida on vaja litosfääri käsitlevas peatükis tunda. Kõige pikemad perioodid geokronoloogilisel skaalal on **eeonid**, mis hõlmavad miljardeid aastaid. Praegu on käimas faneroosoikumi eoon, mis algas 541 miljonit aastat tagasi. Seda iseloomustavad tohutud fossiilide leiud maailma eri paigust, mis tõestab elu mitmekesisust ja arengut aja jooksul. Faneroosoikumile eelnesid proterosoikumi, arhaikumi ja hadaikumi eoonid, kui elu oli alles tekkimas ja arenemas. Eoonid jagunevad omakorda **aegkondadeks**. Näiteks faneroosoikumi eoon jaguneb paleosoikumiks ehk vanaaegkonnaks, mesosoikumiks ehk kesk-aegkonnaks ja kainosoikumiks ehk uusaegkonnaks. Aegkonnad jagunevad veelgi lühemateks perioodideks, **ajastuteks**. Näiteks mesosoikumi aegkond jaguneb kolmeks ajastuks: triias, juura ja kriit. Lõpuks jagunevad ajastud veelgi lühemateks perioodideks, **ajastikeks**. Näiteks kainosoikumi aegkonna hiljutisim ajastu kvaternaar jaguneb omakorda pleistotseeniks ehk jääaegade perioodiks ja holotseeniks ehk jääajajärgseks perioodiks.

Niisiis on geokronoloogiline skaala hierarhiline süsteem, mis aitab Maa arengut paremini mõista ja selle etappe organiseerida. Ajalised perioodid on jagatud eoonideks, aegkondadeks, ajastuteks ja ajastikeks. Iga etappi iseloomustavad kindlad fossiilid, geoloogilised sündmused ja elu areng.



QR-kood 1.
*Hetke uusim geo-
 kronoloogilise
 skaala versioon.*

Tabel 1. *Geokronoloogiline skaala (2024. aasta lõpu seisuga)*

Eoon	Aegkond	Ajastu	Ajastik	Algus (mln a tagasi)
Fanerosoikum	Kainosoikum ehk uusaegkond	Kvaternaar	Holotseen	0,0117
			Pleistotseen	2,58
		Neogeen	Pliotseen	5,333
			Miotseen	23,04
		Paleogeen	Oligotseen	33,9
			Eotseen	56,0
			Paleotseen	66,0
	Mesosoikum ehk keskaegkond	Kriit	Ülem-Kriit	100,5 ± 0,1
			Alam-Kriit	143,1 ± 0,6
		Juura	Ülem-Juura	161,5 ± 1,0
			Kesk-Juura	174,7 ± 0,8
			Alam-Juura	201,4 ± 0,2
		Triias	Ülem-Triias	~237
			Kesk-Triias	246,7
			Alam-Triias	251,9
	Paleosoikum ehk vanaaegkond	Perm	Loping	259,5 ± 0,2
			Guadalupe	274,4 ± 0,4
			Ees-Uural	298,9 ± 0,15
		Karbon	Pennsylvania	323,4 ± 0,4
			Mississippi	358,9 ± 0,2
		Devon	Ülem-Devon	382,3 ± 1,4
			Kesk-Devon	393,5 ± 1,0
			Alam-Devon	419,6 ± 1,4
		Silur	Přídolí	422,7 ± 1,6
			Ludlow	426,7 ± 1,5
			Wenlock	432,9 ± 1,2
			Llandovery	443,1 ± 0,9
		Ordoviitsium	Ülem-Ordoviitsium	458,2 ± 0,7
			Kesk-Ordoviitsium	471,3 ± 1,4
			Alam-Ordoviitsium	486,85 ± 1,5
		Kambrium	Furong	~ 497,0
			Ajastik 3	~ 506,5
			Ajastik 2	~ 521,0
			Terre-Neuve	538,8 ± 0,6
Proterosoikum ehk agueoon	Neoproterosoikum	Ediacara	Ei ole täpsustatud	~ 635
		Krüogeen		~ 720
		Ton		1000
	Mesoproterosoikum	Sten		1200
		Ektas		1400
		Kalymm		1600
	Paleoproterosoikum	Stather		1800
		Orosir		2050
		Rhyax		2300
		Sider		2500
Arhaikum ehk ürgeoon	Neoarhaikum	Ei ole täpsustatud		2800
	Mesoarhaikum			3200
	Paleoarhaikum			3600
	Eoarhaikum			4031 ± 3
Hadaikum	Ei ole täpsustatud			4567

Planeedi ja tahke maakoore teke

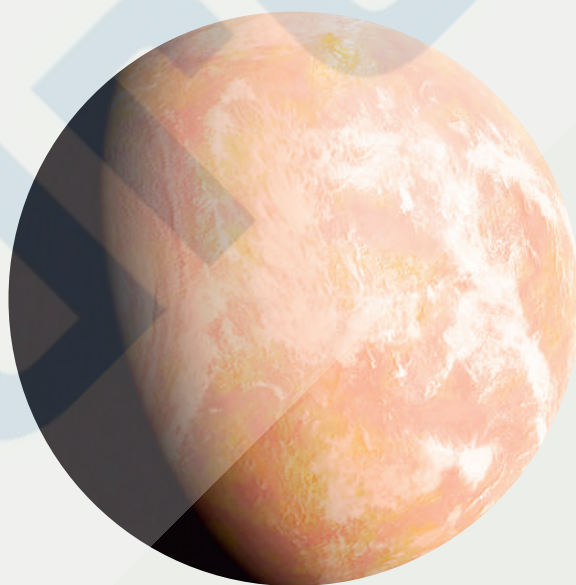
Kuigi vanimate kivimite vanuseks on määratud 4,28–4,4 miljardit aastat, peetakse planeeti Maad 4,6 miljardi aasta vanuseks. See on tuletatud isotoopide kogusest nii Maa kui ka planeedi ainsa loodusliku kaaslase Kuu vanimates kivimites. Arvestades isotoopide tekkimiseks vajaminevat aega, on välja arvatud Maa vanus ning see, et meie planeet moodustus 100 miljonit aastat pärast Päikesesüsteemi kujunemist.

Planeet Maa moodustus ühest algelisest planeedist. Päikesesüsteemi väikesed osakesed kondenseerusid tahketeks terakesteks, mis elektrostaatilise ja raskusjõu koostoimel kokku kleepusid, moodustades suuremaid osakesi. Üksteisega kokku põrkudes tekkisidki erinevad algelised planeedid. Pärast planeedi moodustumist hakkasid raskemad metallsed elemendid sügavamale tuuma suunas vajuma, kuid kergemad elemendid jäid pinnale. Nii kosmoses liikuvate kivimite kokkupõrkest, isotoopide radioaktiivsusest kui ka raskustõmbejõust toodetud energiast tekkis ka palju soojusenergiat. Selle mõjul hakkasid sügavamates kihtides kivimid sulama ning tõusid vähenenud raskustõmbejõu tõttu ülespoole, mis jahtununa moodustasid kristalse struktuuriga tugevamad kivimid ehk esmase maakoore. Raskemad vedelad kivimid, mis sisaldasid peamiselt rauda ja niklit, vajusid aga sügavamale, moodustades planeedi tuuma. Sulamisel vabanesid kivimite segust ka gaasilised elemendid, moodustades planeedi esmase atmosfääri ehk õhkkonna (sellest täpsemalt peatükis 2.1).

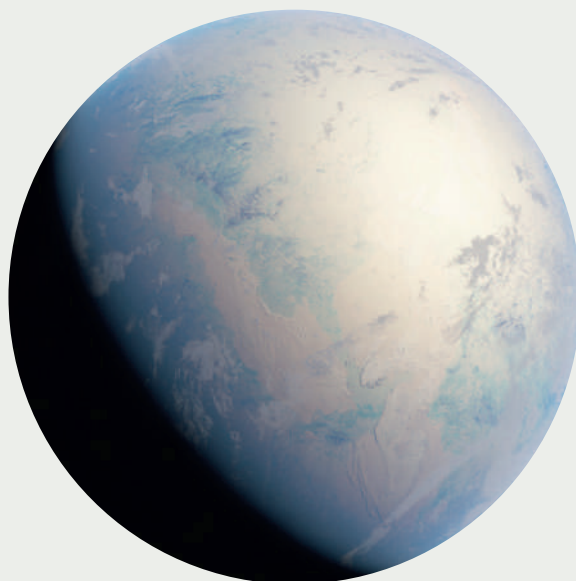
Esmane maakoor oli arvatavasti niivõrd õhuke ja nõrk, et murdus ja vajus uuesti sügavamale, kuid tõusis sulades taas üles. Selline pidev agregaatolekute muutumine ei võimaldanud püsival maakoorrel kujuneda arvatavasti umbes 300 miljoni aasta jooksul planeedi tekkimisest (joonis 1). 1986. aastal leidis Austraalia geofüüsik William Compston Lääne-Austraaliast tsirkooni, mineraali, mis isotoopanalüüsi tulemuste järgi oli 4,28 miljardit aastat vana. 2014. aastal leidis Ameerika geokeemik John Valley Austraaliast kristallid, mis isotoopanalüüsi tulemuste järgi olid üle 4,4 miljardi aasta vanad.



Joonis 1. Maa tekke illustreering.



Joonis 2. Illustratsioon Maa oletatavast välimusest enne hapnikurohke atmosfääri kujunemist.



Joonis 3. Illustratsioon lumepallimaast ehk ajast, kui kogu Maa maailmameri oleks läbi jäätunud olnud.

Mandrite, ookeanide ja elu teke

Umbes 4,3 miljardit aastat tagasi toimusid Maa arengus märkimisväärsed muutused: hakkasid moodustuma mandrid ning tekkisid tingimused ookeanide moodustumiseks. Tihedama ja stabiilsema maismaa teke aitas kaasa maapinna ja atmosfääri jahtumisele. Temperatuur langes alla 100 °C, mis võimaldas atmosfääris oleval veeaurul kondenseeruda pilvedeks ja vedelaks veeks, mis täitis maapinna madalamad osad. Aja jooksul kogunes vett maakoores nõgudesse niivõrd palju, et moodustusid esimesed ookeanid.

Vesi pärines peamiselt vulkaanilisest tegevusest – varase Maa tugeva vulkanismi käigus eraldus magmast tohutul hulgal veeauru ja teisi gaase, mis löid tiheda atmosfääri. Lisaks võis Maale vett jõuda komeetide ja asteroidide kokkupõrgete kaudu. Tõendeid varajaste ookeanide kohta annavad 3,5 miljardi aasta vanused kiviimid, millelt on leitud sinivetikate elutegevuse jälgi. Seega võime järeldada, et ookeanid tekkisid 3,5 – 4,3 miljardit aastat tagasi.

Arhaikumi eonis oli vulkaaniline tegevus väga intensiivne. Vulkaanipursked paiskasid atmosfääri tohutul hulgal gaase, mis mõjutasid Maa varajast atmosfääri koostist (joonis 2). Proterosoikumis vulkaaniline tegevus aeglustus. Umbes 2 miljardit aastat tagasi hakkasid raua- ja ränirohketele tardkivimitele tekkima esimesed settekivimid. See viitab suurtele muutustele ookeanide keemilises koostises, mis võimaldasid kivimitel murened ja settida. Fanerosoikumi eoni jooksul on ookeanid pidevalt reageerinud mandritelt vooluveega tulnud mineraalidega ja ookeani põhjas keskahelikel eraldunud vulkaaniliste gaasidega, säilitades sealjuures keemilise tasakaalu.

Arhaikumis kujunes välja elu Maal – tõendid mikroskoopiliste bakterite kohta pärinevad umbes 3,5 miljardi aasta tagusest ajast. Need ürgsed organismid elasid vees, toitunud lihtsatest ühenditest ja kujundasid järgneva geoloogilise aja elukäiku.

Jääaegade periodiseerimine

Proterosoikumi eonist saati on Maal toimunud suuremaid kliimajahtumisi. Lõuna-Aafrika moreenist on leitud umbes 2,2 miljardi aasta vanuseid kivimeid, mis viitab sellele, et suurem osa Maast

pidi olema jääga kaetud (joonis 3). Seda teooriat nimetatakse ka **lumepallimaa teooriaks**. Arvatakse, et tänu tsüanobakterite fotosünteesile hakkas atmosfääris suurenema hapniku hulk. Need liigid, kes olid tekkinud juba arhaikumis, muutsid planeedi elamiskõlblikumaks ja panid aluse edasisele elurikkuse arengule. Küll aga hakkas kliima jahtuma, arvatavasti seetõttu, et elu tekkimisega Maal hakkas atmosfääris metaani osakaal vähenema. Et metaan on väga tugev kasvuhoonegaas, mis toob kaasa kliima soojenemise, põhjustas selle vähenemine atmosfääris jahtumise.

Lumepallimaa teooriat pole siiski veel täielikult kinnitatud. Vaieldakse selle üle, kui suur osa Maast oli jääga kaetud. Mandrijää laiaulatusliku leviku üle ei vaielda, kuid mõned teadlased arvavad, et ekvaatori juures võis kohati siiski jäätmata vett levida, nimetades seda lörtsimaaks.

Elu tekke mõju Maa arengule

Proterosoikum lõppes ulatuslikuma elusorganismide arenemisega (vanakreeka keeles tähendab *proteros* 'enne (midagi, mingit asja)' või 'varem' ning *zoion* 'elu'). Kuigi evolutsiooniteooriat õpid täpsemalt bioloogia III kursusel, on eluslooduse arenemisel olnud oluline roll ka Maa loodusgeograafilisel arengul. Üks põhimuutusi tuleneb **fotosünteesi** laialdasemast levikust. Kuigi sinivetikad suutsid fotosünteesida juba 3 miljardit aastat tagasi, hakkas kambriumi ajastul (u 538,8 mln a tagasi) tekkima plahvatuslikul kiirusel (u 13–25 mln a jooksul) palju rohkem uusi liike, nii tootjaid kui ka tarbijaid. Seda perioodi nimetatakse nii loodusgeograafias kui ka bioloogias **Kambriumi plahvatuseks**. Väikestest ainu- või hulk- raksetest organismidest arenesid välja peaaegu kõigi tänapäevaste loomade ja taimede eelkäijad. Et fotosünteesivaid organisme oli rohkem, muutus atmosfääri koostis üha hapnikurikkamaks ja tasapisi hakkas kujunema tänapäevase atmosfääriga sarnane koostis. (Joonis 4)

Lisaks atmosfäärile on elusorganismid mõjutanud ka **pinnase** ehk mulla kujunemist. Pinnas on maapinda kattev kiht, mis koosneb murenenud kivimitest, veest, õhust ja orgaanilisest ainest. Pinnase teke sai alguse juba enne taimede ilmunist, kui vesi, temperatuurikõikumised ja mikroorganismid hakkasid



Joonis 4. Illustratsioon Kambriumi plahvatuse perioodil tekkinud elustikust.

kivimeid murendama. Esimesed maismaataimed võimendasid seda protsessi: nende juured tungisid kivimitesse ja kiirendasid murenemist, võimaldades kujuneda viljakamal mullakihil. Kui taimed surid, lagunesid nende jäänused mikroorganismide toimetel ja neist kujunes **huumus** – tumedat värvi poolenisti lagunenu orgaaniline aine, mis parandab mulla viljakust ning vee- ja toitainete sidumisvõimet.

Aja jooksul hakkasid pinnases kasvama järjest keerukamad taimeliigid, mis vajasid rohkem toitaineid ja paremaid juurdumistingimusi. Nii kujunesid välja maismaaökosüsteemid, kus taimestik ja pinnas arenevad koos. Kui mullakihi paksus suurenes, hakkasid taimede juured pinnast kaitsma **erosiooni** eest. Erosioon tähendab pinnase ärakandumist vee, tuule või jää toimetel. Taimkate hoiab mulda paigal ja aitab vältida selle väljauhtumist või minema kandumist.

Kambriumi plahvatusega tekkinud organismid olid esialgu kõvade väliskestade ja luustikega, nagu trilobiidid ja käsijalgseid. Nende organismide jäänused kuhjusid veekogude põhja ning sellest tekkisid uued, settekivimite kihid (täpsemalt alapeatükis 1.6). Sette vahele jäänud orgaaniline aine kivistus **fossiilideks**, mida uurides saame täpsemalt ette kujutada elustikku Maa minevikus. Mõnd selleaegsest orgaanilisest ainest tekkinud kivimit kasutatakse tänapäeval energia saamiseks. Näiteks kukersiit ehk põlevkivi on sinivetikate ja teiste organismide jäänustest moodustunud settekivim. (Joonis 5)



Joonis 5. Sammalloomade fossiilid Eesti kukersiidis.

Kordamisküsimused

1. Selgita, milleks kasutatakse geokronoloogilist skaalat.
2. Kirjelda Maa teket ja varajast arengut hadaikumist proterosoikumi lõpuni.
3. Kuidas tekkisid mandrid ja ookeanid?
4. Kuidas on elu teke mõjutanud Maa loodusgeograafilisi protsesse? Too näiteid.

Arutelu

Mis on sinu arvates kõige põnevam avastus Maa ajaloo ja arengu kohta?