

# Geotieteiden valintakoe

**30.5.2023 klo 9–12**

## **Lue huolellisesti kaikki ohjeet läpi**

Koe koostuu kahdesta osasta. Kokeen kesto on 3 tuntia. Voit jakaa koeajan osien välillä haluamallasi tavalla. Voit liikkua osien välillä kokeen aikana vapaasti. Vastaa kaikkiin kokeen osioihin. Tallenna vastauksesi aina ennen esseetehtävästä poistumista. Järjestelmä tallentaa muut vastaukset automaattisesti.

Sinulla saa kokeen aikana olla auki ainoastaan valintakoejärjestelmä sekä erillinen aineistotiedosto. Älä avaa muita ohjelmia. Voit luonnostella vastauksiasi ruutupaperille. Ruutupaperille tekemiäsi merkintöjä ei huomioida arvostelussa.

Aineiston saa avata ainoastaan verkkoselaimella. Avatun välilehden saa vetää erilliseen ikkunaan kysymysten rinnalle.

Etsi-toiminnon käyttäminen on sallittua.

Koejärjestelmän laskin on käytössä silloin kun voit käyttää laskinta tehtävien tekemiseen.

## **Valintakokeen arviointi**

Valintakokeen enimmäispistemäärä on yhteensä 30 pistettä. Valintakokeen ensimmäinen tehtävä (tehtävä 1, 10 pistettä) on karsiva tehtävä, josta saamiensa pisteiden perusteella hakijat asetetaan paremmuusjärjestykseen. Eniten ensimmäisestä tehtävästä pisteitä saaneet hakijat etenevät arvioinnin toiseen vaiheeseen. Toiseen arviointivaiheeseen etenevien määrä on vähintään 45.

Sinut voidaan hyväksyä vain, jos saat kokeen toisesta vaiheesta vähintään pienimmän hyväksyttävissä olevan pistemäärän. Pienimmän hyväksyttävissä olevan pistemäärän päättää kokeen arviointiryhmä. Hakijat asetetaan lopulliseen valintajärjestykseen osan 2 yhteispisteiden perusteella (enintään 20 pistettä).

## Osa 1, tehtävä 1

Kokeen ensimmäinen osa on monivalintatehtävä, joka sisältää kymmenen kysymystä. Jokaiseen kysymykseen on neljä vastausvaihtoehtoa, joista yksi on oikea ja kolme väärä. Oikea vastaus antaa +1 pistettä ja muut vastaukset -0,5 pistettä. Vastaamatta jättäminen antaa 0 pistettä.

Paleontologeille ja paleoekologeille evoluutioteoria on tutkimuksen keskeisin viitekehys ja siksi sen perusteiden ymmärtäminen on tärkeää. Monivalintakysymykset 1.1. ja 1.2. liittyvät evoluutioteoriaan. Valitse vaihtoehdoista se, jota pidät OIKEANA.

### Kysymys 1.1

Kelpoisuus on yksi tärkeimmistä evoluutioon liittyvistä käsitteistä. Alla on annettu tiedot neljästä eri liskoyksilöstä. Millä liskoista oli suurin kelpoisuus?

	Lisko 1	Lisko 2	Lisko 3	Lisko 4
Ruumiin pituus (cm)	20	13	13	15
Jälkeläisten määrä	30	35	28	42
Aikuisiksi selvinneiden jälkeläisten määrä	25	28	22	26
Elinikä (vuosia)	5	4	4	6

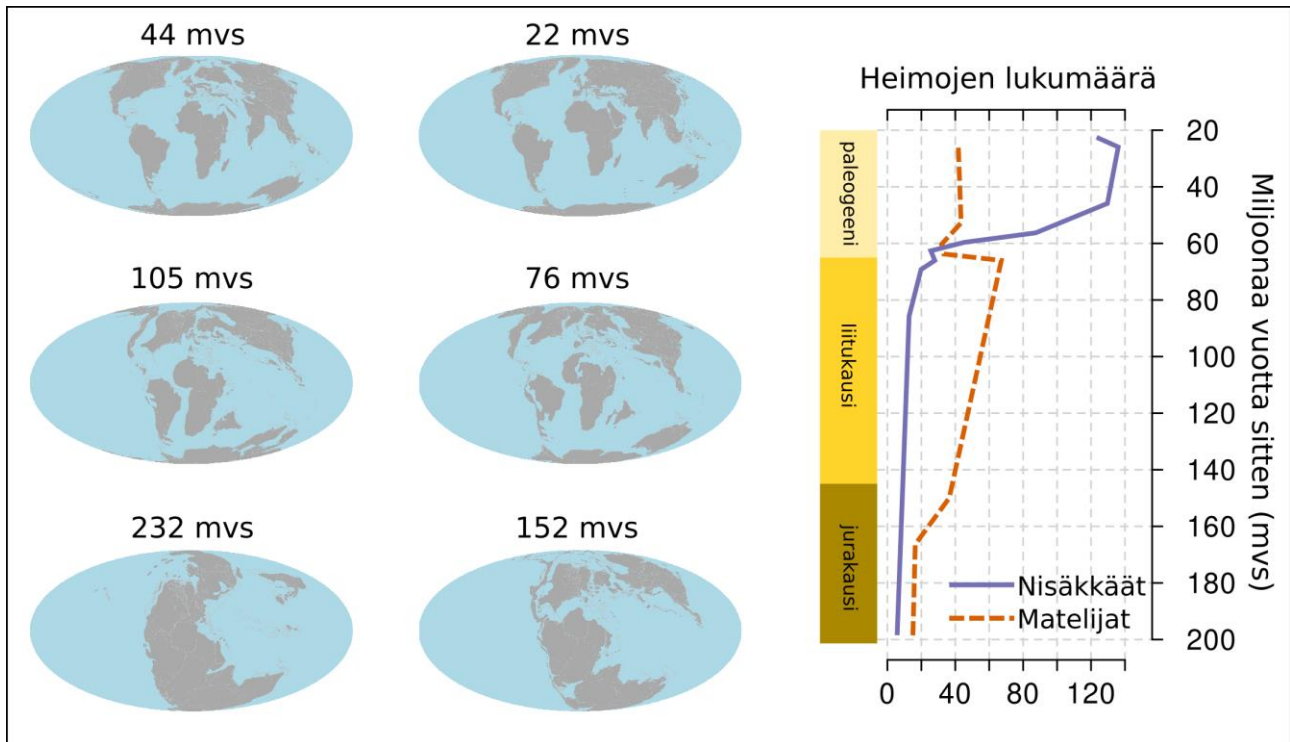
- a) Lisko 1
- b) Lisko 2**
- c) Lisko 3
- d) Lisko 4

### Kysymys 1.2.

Luonnon monimuotoisuuden muutos ja muutoksen syyt elämän historian kuluessa ovat paleontologian kuumia tutkimuskysymyksiä. Kuvassa on esitetty matelija- ja nisäkäsdiversiteetin (heimojen lukumäärä) muutos mesotsooisella maailmankaudella ja kenotsooisella maailmankauden alussa (mukaillen Benton 2010). Lisäksi kuvassa on esitetty mantereiden sijainti kauden eri vaiheissa.

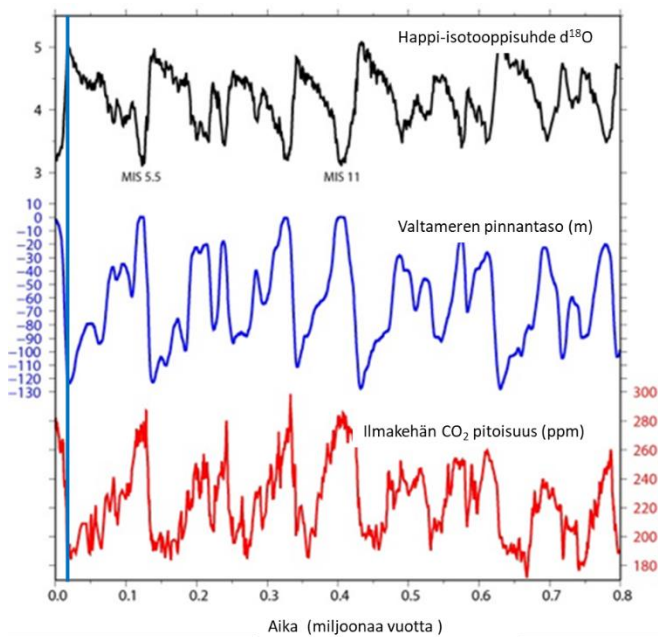
Kuvassa annettujen tietojen pohjalta, mikä mainituista evoluutioprosesseista parhaiten selittää nisäkkäiden diversiteetin suhteellisen nopeaa muutosta siirryttäessä mesotsooiselta maailmankaudelta kenotsooiselle maailmankaudelle?

- a) Maantieteelliseen isolaatioon perustuva lajiutuminen
- b) Lajiutuminen ilman maantieteellisistä isolaatiota
- c) Sopeutumislevittäytyminen**
- d) Geneettinen ajautuminen



### Kysymys 1.3

Jäätiköihin sitoutuu jääkaudella valtavasti vettä, ja siksi valtameren pinta laskee huomattavasti, esim. Veiksel- jääkaudella, 110 000–10 000 vuotta sitten, valtameren pinta laski jopa noin 120 metriä. Jääkauden jälkeen valtaviin jäätiköiden sulaminen nosti merenpintaa vastaavasti ja entisistä vuorista tuli saaria, kun meri peitti alavat maat niiden ympärillä.

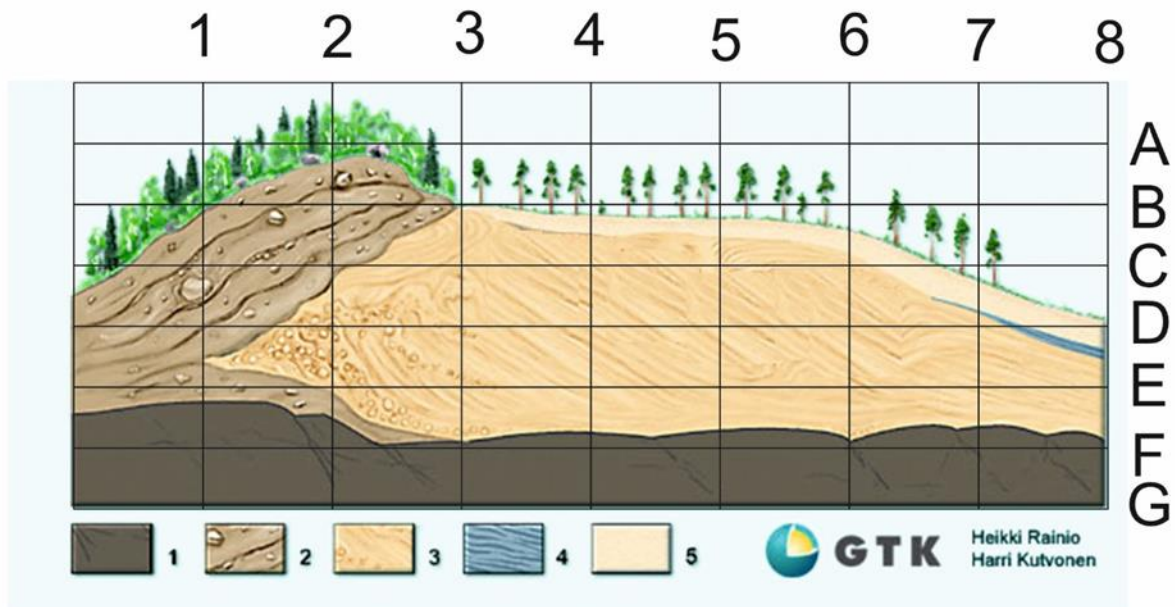


Kuva mukailen Lisieki & Raymo, 2005

Kuvassa on esitetty valtameren pinnan vaihteluja viimeisen 800 000 vuoden aikana (sininen käyrä keskellä). Kuvassa on myös saman ajanjakson valtameren pohjan huokoseläimien kuoren happi-isotooppisuhteen vaihtelu (ylin käyrä) ja ilmakehän CO<sub>2</sub>-pitoisuuden vaihtelu (alin käyrä). MIS 5.5 (Marine Isotope Stage) osoittaa edellistä lämmintä välivaihetta, Eem-interglasiaalia. Päätele kuvan avulla OIKEA vaihtoehto:

- 150 000 vuotta sitten valtamerenpinta oli likimain samalla tasolla kuin nykyisin
- MIS 11 superinterglasiaalin aikana korkea valtamerenpinnan taso korreloi ilmakehän matalan CO<sub>2</sub>-pitoisuuden kanssa
- Sininen pystyviiva kuvan vasemmassa laidassa osoittaa Veiksel-jääkauden jäätikön maksimivaihetta**
- Valtameren pohjan huokoseläinten kuoren happi-isotooppien suhdetta kuvaavan käyrän maksimiarvot osuvat yhteen lämpimien ilmastovaiheiden kanssa

#### Kysymys 1.4



- 1: Kallio
- 2: Lajittumaton sedimentti, jossa raekoko vaihtelee savesta lohkareisiin
- 3: Lajittunut sedimentti, raekoko vaihtelee hiekan ja soran välillä
- 4: Savi
- 5: Lajittunut hienoaines-sedimentti, raekoko hienoa hiekkaa ja silttiä

Kuva esittää Salpausselän poikkileikkausta. Päätele kuvan perusteella, mikä vaihtoehto on OIKEIN:

- Salpausselän päätemuodostuman sedimentti (kuvassa väli 0–7) on jäätikön reuna-asemaansa kerrostamaa moreenia
- Jäätikön reuna on sijainnut pitkän aikaa kohdassa 3**
- Ylin kerrostumisen aikainen vedenpinnan taso on sijainnut tasolla C
- Jäätikön virtaussuunta on ollut kuvassa oikealta vasemmalle

### Kysymys 1.5

Britannian pohjoisosista löytyy hiilikautisia kivihilliesiintymiä 55° N leveysasteen ympärillä. Nämä hiilikentät ovat syntyneet kasveista, joita kasvoi tropiikissa 23° N ja 23° S välisellä alueella.

Mikä on Britannian lyhyin kulkema matka (etäisyys) 300 miljoonassa vuodessa? Maapallon säde (r) on 6370 km. Ympyrän kehän pituus (p) on  $2\pi r$ . Ympyrän asteluku on 360°.

Valitse OIKEA vaihtoehto.

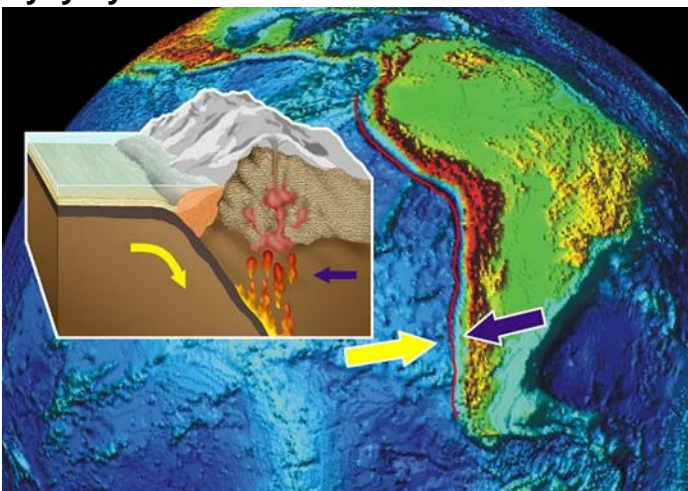
- a) Noin 2700 km
- b) Noin 8700 km
- c) Noin 5500 km
- d) Noin 3500 km**

### Kysymys 1.6

Paleoseeni- ja eoseenikausien vaihteessa (n. 55 miljoonaa vuotta sitten) globaali keskilämpötila nousi hyvin äkillisesti n. 5–8 C°. Ilmaston muutos oli mahdollisesti, ainakin osittain kiihtyneen tulivuoritoiminnan seurauksena. Arvioiden mukaan ilmakehään vapautui n. 50 000 vuoden aikana kokonaisuudessaan n. 12 Tt hiiltä (vastaa n. 44 Tt hiilidioksidia). 2019 arvioitiin, että tällä hetkellä vulkaanisesta toiminnasta vapautuu ilmakehään vuosittain kokonaisuudessaan 280–360 Mt hiilidioksidia. Antropogeeniset CO<sub>2</sub>-päästöt olivat vuonna 2021 n. 39,4 Gt. Olettaen, että antropogeeniset ja vulkaaniset päästöt pysyvät tällä tasolla, arvioi tilannetta tulevaisuudessa ja valitse OIKEA väittämä:

- a) Hieman yli sadassa vuodessa ilmakehään on nykyisillä päästöillä vapautunut yhtä paljon hiilidioksidia kuin paleoseenilla 50 000 vuoden aikana
- b) Hieman yli tuhannessa vuodessa ilmakehään on nykyisillä päästöillä vapautunut yhtä paljon hiilidioksidia kuin paleoseenilla 50 000 vuoden aikana**
- c) Hieman yli kymmenessä tuhannessa vuodessa ilmakehään on nykyisillä päästöillä vapautunut yhtä paljon hiilidioksidia kuin paleoseenilla 50 000 vuoden aikana
- d) Hieman yli sadassa tuhannessa vuodessa ilmakehään on nykyisillä päästöillä vapautunut yhtä paljon hiilidioksidia kuin paleoseenilla 50 000 vuoden aikana

### Kysymys 1.7



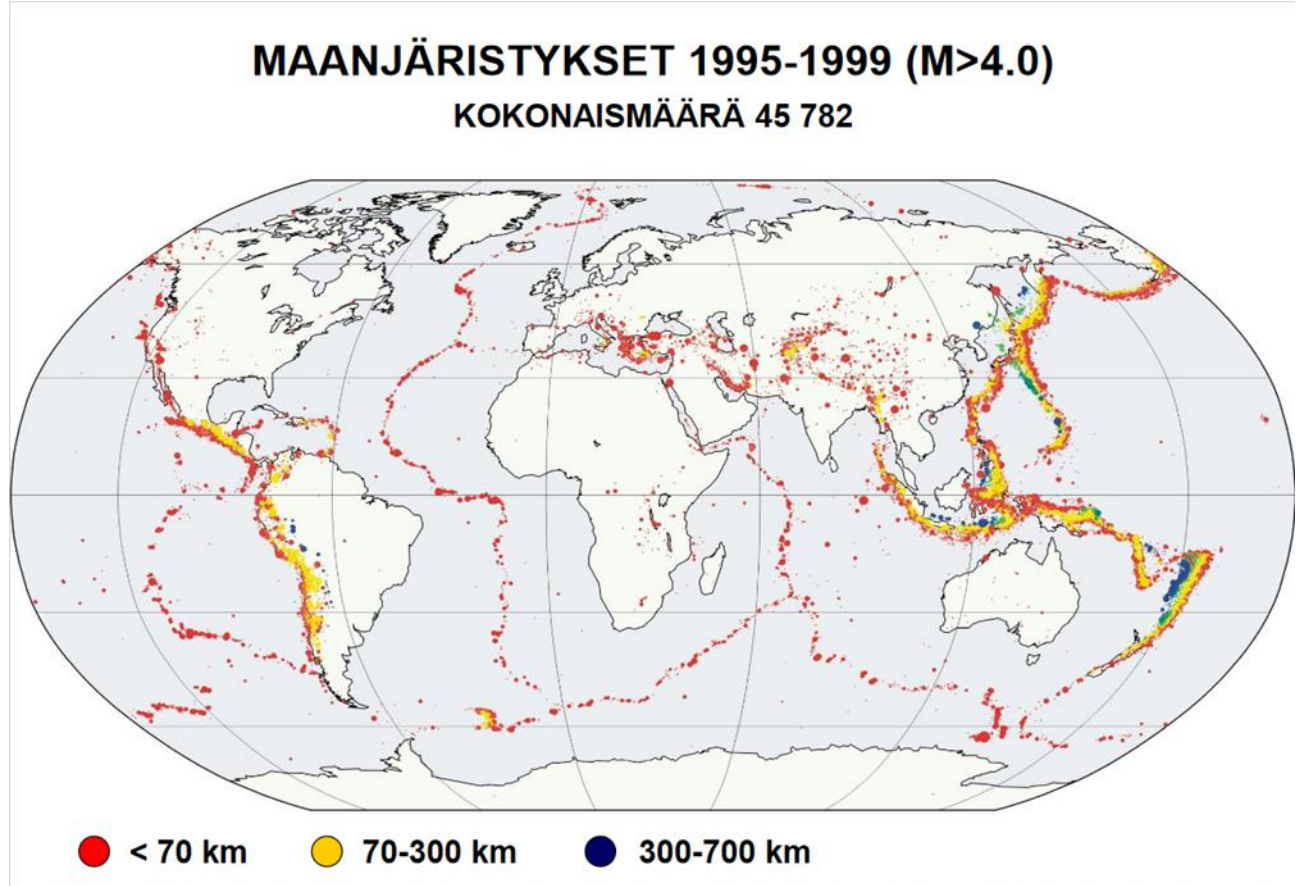
Kuva: Harri Kutvonen, GTK

Mikä prosessi on kuvattuna? Valitse OIKEA vaihtoehto.



- c) Kuvissa on yksi alkuaine, joiden isotoopeilla on massaluvut 12, 13 ja 14  
d) Kuvissa on yksi alkuaine, joiden isotoopeilla on atominumerot 6, 7 ja 8

### Kysymys 1.10



*Aineisto: USGS*

Tarkastele karttaa yli 4 magnitudin maanjäristysten alueellisesta jakautumisesta maapallolla suhteessa järistysten syvyyteen. Valitse OIKEA väittämä:

- a) Syvimmät maanjäristykset sijaitsevat vuoristoalueilla, sillä maan kuori on siellä paksuimmillaan.  
b) Maanjäristyksiä havaitaan vain laattarajoilla.  
c) Maanjäristyksiä havaitaan kaikista eniten erkanemisvyöhykkeillä.  
d) **Alityöntövyöhykkeissä matalimmat maanjäristykset ovat subduktoituvan laatan puolella.**

## Osa 2, tehtävä 2

Kokeen toinen osa perustuu aineistoon ”Pitkät aikasarjat ilmastonmuutoksen tutkimuksessa”. Lue ja perehdy aineistoon huolellisesti ja vastaa sen perusteella tehtävien 2 ja 3 kysymyksiin.

Kokeen toisesta osasta voit saada yhteensä 20 pistettä: 14 pistettä tehtävästä 2 ja 6 pistettä tehtävästä 3.

### Kysymys 2.1

Miksi <sup>16</sup>O höyrystyy herkemmin ja jää todennäköisemmin vesihöyryksi ilmakehään? (2 p)

### Kysymys 2.2

Tarkastele kuvaa 1. Kuvaile omin sanoin, miten lämpötila on muuttunut a) viimeisen 50 - 1 miljoonan vuoden aikana, b) 500 000 – 20 000 vuotta sitten ja c) holoseenin aikana (11 700 – nykyaika). Mitkä eri tekijät ja miten ovat voineet vaikuttaa maapallon lämpötilamuutoksiin näissä eri vaiheissa? (5 p)

### Kysymys 2.3

Tarkastele kuvaa 1. Miten pitkälle menneisyyteen täytyy palata, jotta geologisista aikasarjoista löytyy lämpimintä vuoden 2200 tulevaisuusskenaariota vastaava ilmasto? (2 p)

### Kysymys 2.4

Tarkastele kuvaa 3. Kuvaile Välimeren alueella ilmastossa ja kasvillisuudessa tapahtuneita muutoksia 500 000–300 000 vuotta sitten? Perustele tulkintasi omin sanoin ja kokonaisin lausein. (5 p)

## Osa 2, tehtävä 3

Kokeen toinen osa perustuu aineistoon ”Pitkät aikasarjat ilmastonmuutoksen tutkimuksessa”. Lue ja perehdy aineistoon huolellisesti ja vastaa sen perusteella tehtävien 2 ja 3 kysymyksiin.

Kokeen toisesta osasta voit saada yhteensä 20 pistettä: 14 pistettä tehtävästä 2 ja 6 pistettä tehtävästä 3.

### Kysymys 3.1

Tarkastele kuvaa 2. Pohdi, mitä pähkinäpensaan levinneisyys 6000 vuotta sitten kertoo Suomen ilmastosta? Perustele omin sanoin ja kokonaisin lausein. (2 p)

### Kysymys 3.2

Tarkastele kuvaa 2. Miten pähkinäpensaan levinneisyys 6000 vuotta sitten on saatu selville? (2 p)

### Kysymys 3.3

Miksi Suomesta ei löydy pitkiä ilmastonvaihtelusta kertovia aikasarjoja? (2 p)



## Aineisto

Tämä aineisto oli erillisenä PDF-tiedostona kokeen yhteydessä ja osaan tehtävistä vastattiin sen pohjalta.

### Pitkät aikasarjat ilmastonmuutoksen tutkimuksessa

Maapallon lämpötila on vaihdellut valtavasti maapallon historian aikana. Esimerkiksi noin 700 miljoonaa vuotta sitten maapallon uskotaan olleen niin kylmä, että suuri osa maapalloa oli miljoonien vuosien ajan jään ja lumen peitossa (ns. lumipallomaa). Triaskaudella taas oli niin kuumaa, että meriveden pintalämpö päiväntasaajalla on voinut olla jopa +38 astetta. Etelämantereella kasvoi trooppista metsää. Myös historiallisena aikana on koettu suuria ilmastonmuutoksia. Keskiajalla Euroopassa vallitsi harvinaisen lämmin ilmastovaihe, jolloin muun muassa talvet olivat lumettomia ja lauhoja Keski-Suomea myöten. Toisaalta maapallo on vasta toipumassa yli 500 vuoden mittaisesta niin sanotusta pienestä jääkaudesta, jolloin maapallon keskilämpötila oli noin puoli astetta nykyistä matalampi.

Yksi ilmastonmuutosten aiheuttajista on ilmakehän kaasukoostumuksen vaihtelu. Tämän vuoksi kasvihuoneilmiö on ollut maapallon historian aikana ajoittain heikompi ja välillä voimakkaampi, esimerkiksi aktiivisen vulkanismin seurauksena. Esimerkiksi varhaiseoseenin lämpöoptimin, noin 50–53 miljoonaa vuotta sitten, syntyä on selitetty Pohjois-Atlantin avautumisella ja runsaalla tulivuoroitoinnalla, jotka lisäsivät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Kuumuuteen on saattanut myötävaikuttaa myös valtamerien pohjaan klatraateiksi sitoutuneen metaanin laaja äkillinen purkautuminen ilmakehään.

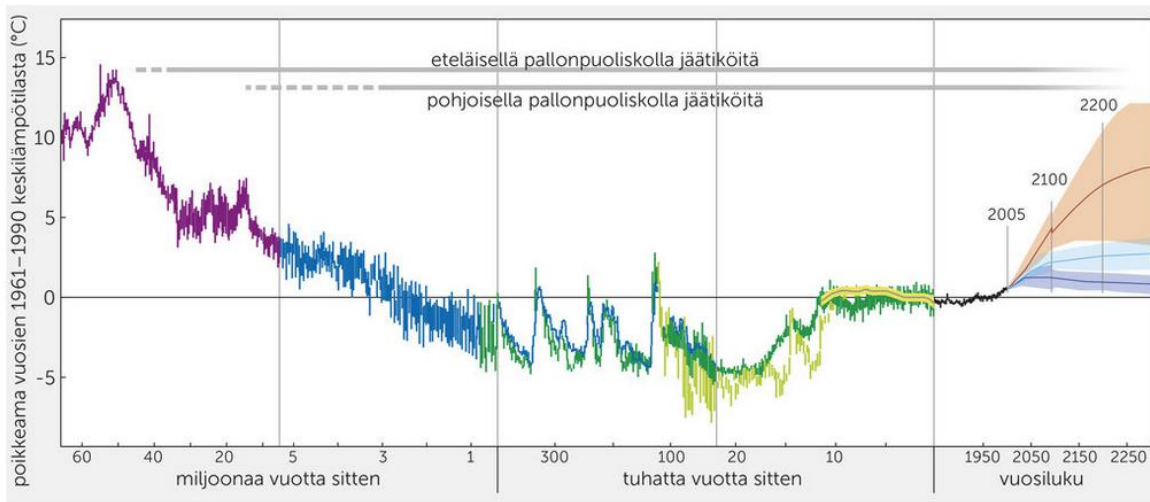
Maapallon ilmastohistoriassa tapahtui suuri käänne, kun teollisen vallankumouksen jälkeen ihmistoiminta on aiheuttanut ennätysnopean ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousun. Ihmisten toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat jo muuttaneet ilmastoa merkittävästi. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPCC toteaa kuudennessa arviointiraportissaan, että useiden vahinkoa aiheuttavien sääilmiöiden todennäköisyys on kasvanut. Myös monet meriä ja mannerjäätiköitä koskevat muutokset ovat jo nyt peruuttamattomia tai palautuvat hitaasti. Tulevien muutosten laajuus riippuu siitä, miten kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin, päästöt kehittyvät tulevaisuudessa. Tämän ihmisen aiheuttaman superinterglasiaalin rinnalla maapallon luonnolliset prosessit jatkavat ikaikaista kulkuaan ja muuttavat maapallon ilmastoa edelleen jatkuvasti.

Nykykäsityksen mukaan maapallon ilmasto on n. 4,6 miljardin vuoden historiansa aikana ollut etupäässä lämmin. Maapallolla on ollut kuitenkin useita lämpimän ilmastovaiheen kausia ja ainakin kuusi erillistä miljoonia vuosia kestänyttä kylmää jäätiköitymisvaihetta. Parhailaan elämme viimeisimmän kylmän jäätiköitymisvaiheen aikakautta, joka alkoi runsaat 30 miljoonaa vuotta sitten, kun laattatektoniikan seurauksena Etelämanner jäi eristyksiin eteläiselle napa-alueelle. Tällöin eteläisille merille muodostui Etelämannerta kiertävä kylmä merivirta. Merivirran kylmyys jäähdytti Etelämannerta, jolloin lumipeite ei enää kesälläkään sulanut vaan alkoi n. 34 miljoonaa vuotta sitten muodostaa mannerjäätiköitä. Myös ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on viimeksi kuluneitten miljoonien vuosien aikana alentunut luonnollisen prosessin aiheuttamana. Yksi keskeinen syy tähän on ollut vuoristojen, erityisesti Himalajan, kohoaminen, mikä on kiihdyttänyt rapautumisprosesseja, joissa maan pinnalle nousseet silikaattimineraalit sitovat runsaasti hiilidioksidia ilmakehästä.

Jäätiköitymisvaiheenkin aikana ilmastossa vaihtelevat kylmät ja lämpimämmät kaudet. Tämä vaihtelu on yhdistetty maapallon kiertoradassa ja akselikulmassa tapahtuviin muutoksiin (ns.

orbitaalisyklit). Jääkaudella (glasiaali) tarkoitetaan ajanjaksoa, jolloin jäätiköt laajenevat suuriksi mantereita peittäviksi alueiksi ilmastosta kylmetyttyä. Lämpökausi (interglasiaali) on puolestaan kahden jääkauden välinen lämpimämpi kausi, kuten holoseeni (11 700 vuotta sitten – nykyhetki), joka vallitsee parhaillaan maapallolla.

Geologisessa tutkimuksessa voidaan käyttää pitkiä aikasarjoja, joista näitä ilmastovaihteluita on pystytty jäljittämään satojen miljoonien vuosien päähän. Näitä aikasarjoja ovat esimerkiksi meren tai järven syvänteiden pohjasta kairatut kerrossarjat tai mannerjäätiköiltä kairatut jääkerrossarjat. Myös lämpiminä ajanjaksoina kerrostuneet orgaaniset kerrostumat kertovat tuon vaiheen ilmastosta. Tutkimalla maapallon ilmastohistoriaa voidaan paremmin ymmärtää tulevaa ilmastomuutosta ja sen vaikutuksia ekosysteemeille. Näin saadaan tietoa myös siitä, miten maapallo on reagoinut aiemmin nopeisiin ilmastomuutoksiin ja voidaan ennakoita tulevaisuuden muutoksia.



*Kuva 1. Maapallon ilmasto on historiansa aikana vaihdellut huomattavasti. Kuvasta on nähtävissä pitkäaikainen viilenemiskehitys, eri syistä johtuva lyhytaikainen vaihtelu ja nykyinen ihmiskunnan tuottamien kasvihuonekaasujen aiheuttama ilmaston lämpeneminen. Huomaa, että diagrammin aika-asteikko vaihtuu pystyviivojen kohdalla. Eriväriset käyrät ovat eri tutkimusten ja eri skenaarioiden tuloksia. Tulevaisuuden lämpötilakehitystä on kuvattu kolmen eri käyrän avulla, jotka edustavat erilaisiin kasvihuonekaasupäästöihin pohjautuvia skenaarioita. Violetti, sininen ja oranssi käyrä kuvaavat kunkin skenaarion todennäköisintä ennustetta ja käyrien ympärillä oleva varjostettu alue kuvaa kuhunkin skenaarioon liittyvää epävarmuutta (GEOS1 2021).*

Kasvillisuudella ja meriveden kasvi- ja eläinplanktonilla on suora yhteys maapallon ilmastoon. Myös kerrostuvan sedimentin koostumus kertoo kerrostumisympäristöstä ja siten vallinneesta ilmastosta. Menneiden ilmastovaiheiden tutkimuksessa voidaan käyttää kasvi- tai eläinfaunafossiileja tai niiden sisältämiä alkuaineiden isotooppikoostumuksia. Esimerkiksi hapen isotoopit kertovat menneestä ilmastosta, oliko se kylmä, kuuma, kuiva vai sateinen. Tällaisia kiinnostuksen kohteena olevasta suureesta (esimerkiksi lämpötilasta) epäsuoria havaintoja antavia aineistoja (fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia) kutsutaan prokseiksi.

Happi on läsnä useissa ilmastojärjestelmän keskeisissä osissa: se on ilmakehän toiseksi yleisin kaasu, sitä on vesihöyryssä ilmakehässä ja tietysti vesimolekyylien osana kaikkialla, missä on nestemäistä vettä (valtameret, järvet, joet) tai jäätiköitä. Hapella on luonnossa 3 stabiilia isotooppia,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  ja  $^{18}\text{O}$ , joista  $^{16}\text{O}$  on yleisin (99,757 %) ja  $^{17}\text{O}$  harvinaisin (0,038 %).  $^{16}\text{O}$  höyrystyy herkemmin kuin  $^{18}\text{O}$ , ja tämän seurauksena pilviä muodostava vesihöyry on rikastunut  $^{16}\text{O}$ :sta, kun taas merivesi

on rikastunut  $^{18}\text{O}$ :sta. Lisäksi vesihöyrynä pilvessä oleva  $^{18}\text{O}$  tiivistyy herkemmin sadevedeksi kuin  $^{16}\text{O}$ , joka jatkaa matkaansa vesihöyrynä pilvessä.

Mitä pidemmälle vesihöyry kulkeutuu pilvien liikkeessä kohti korkeita leveysasteita, sitä enemmän  $^{18}\text{O}$ :ta poistuu vesihöyrystä sateena. Kun pilvet saavuttavat napa-alueet, on vesihöyrystä tiivistyvä lumi entistä rikastuneempaa  $^{16}\text{O}$ :sta. Lumen kerääntyessä ja muodostaessa jäätikköjäättä, suhteessa suurempi osa  $^{16}\text{O}$ :sta varastoituu jäätikköjäähän kymmeniksi- ja sadoiksituhansiksi vuosiksi.

Jääkausiaikoina meriveden  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  (isotooppisuhte) on siis erilainen, kuin aikoina, jolloin maapallolla ei ole jäätiköitä. Meriveden happi-isotooppisuhteen muutosta ajan kuluessa voidaan tutkia mittaamalla merenpohjaan kerrostuneiden huokoseläinten kalsiittisten kuorien isotooppisuhdetta. Isotooppien suhdetta kuvataan  $\delta^{18}\text{O}$ -luvulla, jossa happi-isotooppien suhdetta näytteessä verrataan tunnettuun tämän päivän meriveden suhteeseen (standardi):

$$\delta^{18}\text{O} = \left( \frac{\left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{näyte}}}{\left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{standardi}}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰}$$

Kylminä kausina meriveden  $\delta^{18}\text{O}$ -arvo suurenee, kun osa  $\delta^{16}\text{O}$ -pitoisesta vedestä on sitoutuneena jäätiköihin.

### *Kasvillisuuden muutokset kertovat ilmastossa tapahtuneista muutoksista*

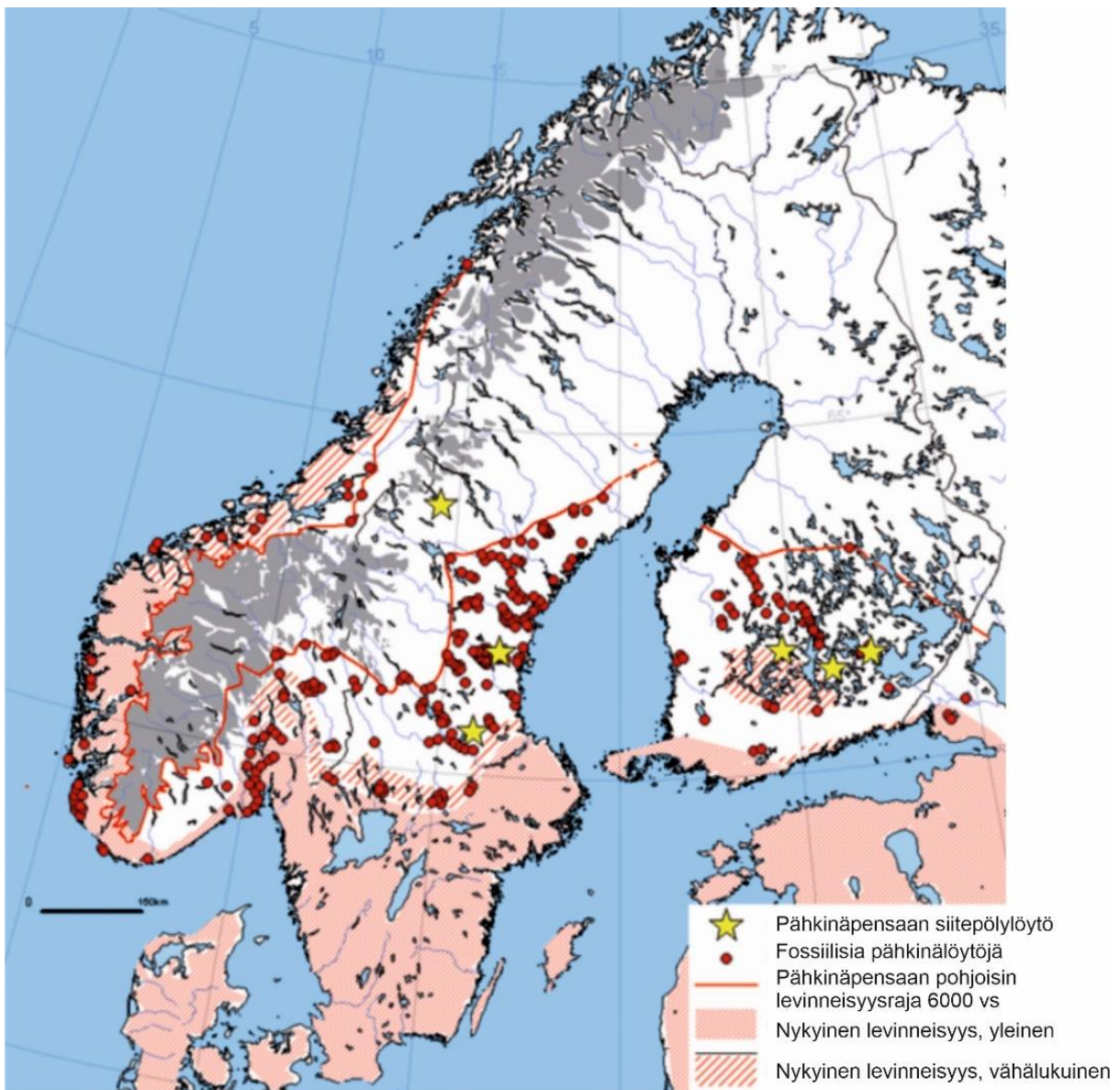
Kasveilla kuten kaikilla eliöillä on niille ominainen elinympäristö ja tietyt kasvilajit kasvavat tietynlaisissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa muodostaen kasviyhdykskuntia. Kasviyhdykskunnat muodostavat muiden eliöiden sekä biotistien ja abiottisten tekijöiden kanssa biomeja, joiden rajat seuraavat maapallon ilmastovyöhykkeitä. Kasvi- ja eläinlajien esiintymisalueet ovat aikojen saatossa muuttuneet seuraten ilmastossa tapahtuneita muutoksia. Tarkasteltaessa Euroopan alueen kasvillisuudessa viimeisen kahden miljoonan vuoden aikana tapahtuneita muutoksia, voidaan havaita, että metsät valtaavat alaa lämpimämpien ja/tai kosteampien vaiheiden aikana, kun taas avoimempi tundra- ja arokasvillisuus levittäytyy viileämpien ja/tai kuivempien vaiheiden aikana. Esimerkiksi Suomen alueen kasvillisuus on muuttunut vaiheittain holoseenin aikana ilmasto-olosuhteiden muuttuessa. Heti maa-alueiden paljastuttua mannerjään ja veden alta kasvillisuutemme koostui heinä- ja sarakasveista. Ilmaston lämmitessä puut alkoivat vallata maa-alaa koivun (*Betula*) ja männyn (*Pinus sylvestris*) johdolla. Holoseenin lämpökaudella kasvillisuuttamme luonnehtivat jalot lehtipuumetsät nykyistä pohjoisemmassa. Keski-holoseenista alkanut viilentyminen ja kuusen (*Picea abies*) leviäminen idästä muokkasivat metsistämme nykyisen kaltaisen pohjoisen havumetsän.

Kasvillisuudessa tapahtuneita muutoksia menneiden ilmastovaiheiden aikana voidaan selvittää esimerkiksi järvien sedimenttikerroksiin tai soiden turvekerrostumiin varastoituneiden mikroskooppisten siitepölyjen tai kasvimakrofossiilien eli kasvijäänteiden avulla. Kasvit tuottavat valtavia määriä siitepölyä, joka sekoittuu ja leviää ilmassa ja lopulta osa kerrostuu esimerkiksi järviin tai soille. Näin ollen järvien pohjaan ja soille kerrostunut siitepöly edustaa kerrostumisajan kasvillisuutta. Samoin näihin kerrostumiin hautautuneet kasvijäänteet kertovat siitä minkälaista kasvillisuutta järven ympäristössä tai suolla ja sen lähialueella on kasvanut kerrostumisaikana.

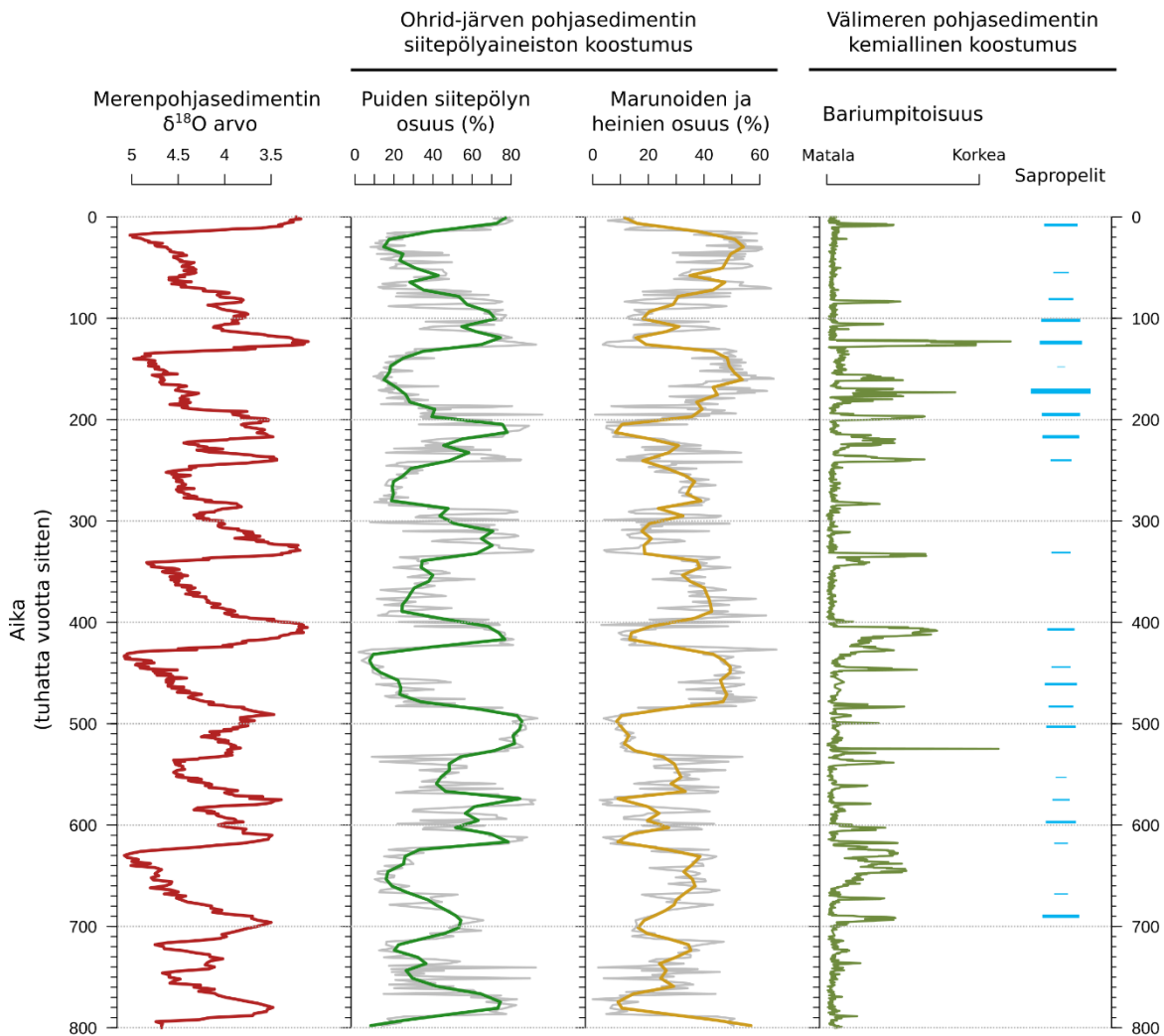
Esimerkiksi suuri havupuiden siitepölyosuus kertoo alueella kasvaneesta havumetsästä ja vastaavasti suuri lehtipuiden siitepölyosuus kuvastaisi lehtimetsien kasvua alueella. Ei-puumaisten kasvien kuten heinäkasvien ja ruohovartisten kasvien suuri siitepölyosuus taas kertoo

avoimemmasta ympäristöstä kerrostumisaikana. Siitepölystön avulla tulkittu kasvillisuuskoostumus kertoo myös kerrostumisajankohdan ilmasto-olosuhteista. Nykyistä lämpimämmissä olosuhteissa kasvavien kasvien siitepölyjen tai kasvijäänteiden löytyminen muinaisista järvisedimentti- ja turvekerrostumista kertookin menneistä, nykyistä lämpimämmistä ilmasto-olosuhteista. Vastaavasti kasvillisuudessa tapahtuneet muutokset kuten joidenkin lajien häviäminen tai lisääntyminen siitepölystössä voi kertoa ilmastossa tapahtuneesta viilenemisestä ja kuivemmista tai kosteammista ilmasto-olosuhteista. Esimerkiksi kuusen yleistyminen Suomessa on osaltaan yhdistetty viilenneisiin ilmasto-olosuhteisiin.

Suomessa nämä yleensä jääkauden jälkeen syntyneet järvien ja soiden arkistot kattavat vain holoseenin ajan ja Suomessa on säilynyt vain harvoja edellisellä Eem-interglasiaalikaudella muodostuneita kerrostumia.



Kuva 2. Kuvassa on esitetty pähkinäpensaän (*Corylus avellana*) nykyinen levinneisyys ja esiintyminen noin 6000 vuotta sitten (muokattu Seppä et al. 2015).



Kuva 3. Albanian ja Pohjois-Makedonian rajalla sijaitsevasta Ohrid-järven pohjasedimentistä on saatu kairattua 584 m pitkä sedimenttisarja. Sedimentin siitepölykoostumusta tutkimalla on voitu muodostaa tarkka kuva kasvillisuuden muutoksista Välimeren alueella viimeisen 1360 000 vuoden aikana. Kuvassa on esitetty puiden sekä heinién ja marunoiden siitepölyjen osuuksien muutos Ohrid-järven sedimenttisarjassa viimeisen 800 000 vuoden aikana. Lisäksi kuvassa on esitettyä valtamerenpohjasedimenttien kalkkikuoristen huokoseläinten kuorien pohjalta laadittu käyrä  $\delta^{18}\text{O}$  arvon muutoksista ajan kuluessa sekä Välimeren pohjasedimentin bariumpitoisuus ja sapropelien ajoitukset.

### Välimeren sedimenttikemia ilmastoproksina

Välimeren alue on erityisen herkkä ilmastomuutoksille, sillä se sijaitsee Saharan autiomaan ja Euroopan lauhkean vyöhykkeen rajalla. Ilmastomuutokset vaikuttavat alueen kasvillisuuteen, mutta myös Välimeren tilaan. Välimeren vesi on tavallisesti hyvin kirkasta, koska ravinnekuormitus suhteellisen kuivalta valuma-alueelta on alhainen ja siksi levien tuotanto ja hajoaminen on vähäistä. Lisäksi vesi haihtuu Itäisestä Välimereistä niin tehokkaasti, että jäljellä olevan veden tiheys nousee ja tiheämpi vesi vajoaa meren pohjaan. Kosteammissa ilmastovaiheissa jokien virtaama kasvaa niin suureksi, että Välimeren sisäiset virtaukset muuttuvat kokonaan. Makeavesi virtaa mantereilta mereen ja pintaveden tiheys laskee. Silloin Välimeri voi kerrostua samalla tavalla kuin nykypäivän Itämeri, ja alkaa kärsiä syvän veden happikadosta. Näissä olosuhteissa sekä ulkoinen että sisäinen ravinnekuormitus kohoaa, ja levien tuotanto ja hajoaminen kasvaa merkittävästi. Tällaisia periodeja

(vaiheita) voidaan tunnistaa Välimeren sedimenttikemian profiileissa. Ne esiintyvät sedimentissä ns. *sapropeli*-kerrostumina.

Sapropelit ovat sedimenttikerroksia, jotka sisältävät runsaasti orgaanista ainesta ja esiintyvät siksi mustina kerroksina sedimenttikairauksissa. Niissä on myös korkeita barium (Ba) pitoisuuksia, koska orgaanisen aineksen hajotessa, merivedessä saostuu bariumsulfaattia eli bariittia. Sedimentin bariumpitoisuus on jopa parempi proksi sapropelien muodostumisesta kuin sedimentin orgaaninen aines. Kun sapropelin muodostumisen jälkeen tulee pitkä periodi, jossa veden happipitoisuus on korkea, voi sapropelin orgaaninen aines hajota ja sapropeli voi poistua kokonaan sedimenttiarkistosta. Bariitti on kuitenkin kestävä mineraali, joka säilyy sedimentissä ja mahdollistaa sapropeli-periodien rekonstruoimisen. Sapropelien muodostuminen korreloi etenkin muutoksiin Maan akselin hyrräliikkeessä, eli *prekessio*-sykleihin, joiden taajuus on korkeampi kuin glasiaali-interglasiaali syklien. Siksi sapropelit voivat muodostua muutaman kerran yhden glasiaali-interglasiaali syklin aikana. Sapropelien muodostumisen todennäköisyys on kuitenkin korkeimmillaan interglasiaali-periodeissa, kun ilmasto on suhteellisen lämmin ja kostea.

#### *Lähteet:*

Donders, T., Panagiotopoulos, K., Koutsodendris, A., Bertini, A., Mercuri, A.M., Masi, A., Combourieu-Nebout, N., Joannin, S., Kouli, K., Kousis, I., Peyron, O., Torri, P., Florenzano, A., Francke, A., Wagner, B., Sadori, L., 2021. 1.36 million years of Mediterranean forest refugium dynamics in response to glacial–interglacial cycle strength. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118, e2026111118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2026111118>

Emeis, K.-C., Sakamoto, T., Wehausen, R., Brumsack, H.-J., 2000. The sapropel record of the eastern Mediterranean Sea — results of Ocean Drilling Program Leg 160. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 158, 371–395. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00059-6](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00059-6)

GEOS1 2021. Lukion maantiede GEOS1 Maailma muutoksessa, SanomaPro, Helsinki.

Grant, K.M., Amarathunga, U., Amies, J.D., Hu, P., Qian, Y., Penny, T., Rodriguez-Sanz, L., Zhao, X., Heslop, D., Liebrand, D., Hennekam, R., Westerhold, T., Gilmore, S., Lourens, L.J., Roberts, A.P., Rohling, E.J., 2022. Organic carbon burial in Mediterranean sapropels intensified during Green Sahara Periods since 3.2 Myr ago. *Commun Earth Environ* 3, 1–9.

<https://doi.org/10.1038/s43247-021-00339-9>

Lunkka, J.P. 2008. Maapallon ilmastohistoria, Gaudeamus, Helsinki, 286 s.

Salonen, J.S. 2021. Viisi maailmanloppua, Gaudeamus, Helsinki, 285 s.

Seppä, H., Schurgers, G., Miller, P. A., Bjune, A. E., Giesecke, T., Kühl, N., Renssen, H., & Salonen, J. S. 2015. Trees tracking a warmer climate: The Holocene range shift of hazel (*Corylus avellana*) in northern Europe. *The Holocene* 25(1), 53–63.

<https://doi.org/10.1177/0959683614556377>

## Arvosteluperusteet

### Osa 2: yhteensä max 14 p

**Kysymys 2.1.** Miksi  $^{16}\text{O}$  höyrystyy herkemmin ja jää todennäköisemmin vesihöyryksi ilmakehään? (2p)

Hyvän vastauksen piirteet, esimerkkisisältö:

*$^{16}\text{O}$  on 2 neutronia (1p) kevyempi kuin  $^{18}\text{O}$ , ja vaatii täten vähemmän energiaa (1p) höyrystyäkseen.*

Lisäksi täysiin pisteisiin vaaditaan, että vastaus on looginen ja laadittu oikeita tieteellisiä termejä käyttäen.

**Kysymys 2.2.** Tarkastele kuvaa 1. Kuvaile omin sanoin, miten lämpötila on muuttunut a) viimeisen 50–1 miljoonan vuoden aikana, b) 500 000–20 000 vuotta sitten ja c) holoseenin aikana (11 700– nykyaika). Mitkä eri tekijät ja miten ovat voineet vaikuttaa maapallon lämpötilamuutoksiin näissä eri vaiheissa? (5p)

Hyvän vastauksen piirteet, esimerkkisisältöjä:

- Ajanjaksolla on havaittavissa selkeä viilenevä pitkän aikavälin trendi (0.5p). Lisäksi havaitaan, että viileneminen on väliaikaisesti keskeytynyt 30–10 miljoonaa vuotta sitten, jolloin voidaan havaita 1–2 lämpimämpää vaihetta (0.25p).*
- Havaittavissa on selkeää lämpimien ja kylmien vaiheiden vuorottelua (0.5p). Mainitaan, että lämpöhuiput toistuvat noin 100 tuhannen vuoden välein ja/tai säännöllisin välein ja/tai liittyvät glasiaali- ja interglasiaalivaiheiden vuorotteluun (0.25p)*
- Kuvaajan perusteella lämpötila on pysynyt jokseenkin vakaana holoseenin aikana (0.5p). Aivan kauden lopussa voidaan havaita ihmisen toiminnasta johtuva lämpötilan nousu (0.25p).*

*Tuodaan selvästi esiin, että ilmakehän kaasukoostumuksen, erityisesti kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin ja metaanin, vaihtelu vaikuttaa lämpötilaan eli ymmärretään kasvihuoneilmaston merkitys (0.5p). Lisäksi / sijasta on mainittu kasvihuonekaasujen lähteitä (kaasut mainiten), esimerkiksi tulivuoritoiminta, valtamerien pohjaan sitoutuneen metaanin purkaukset tai ihmistoiminta, jotka lisäävät kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä ja lämmittävät sitä (0.5p).*

*Tuodaan esiin laattatektoniikka (0.25p). Lisäksi mainitaan: vuorimuodostus ja siihen liittyvän rapautumisen kiihtymisen pienentävä vaikutus hiilidioksidipitoisuuteen (0.25p) ja/tai mainitaan laattatektoniikan vaikutus merivirtoihin ja niiden vaikutus lämpötilaan (0.25p) ja/tai laattatektoniikan vaikutus mantereiden sijaintiin ja kokoon (0.25p)*

*Tuodaan selvästi esiin, että maapallon kiertoradassa (mukaan lukien akselikulma) tapahtuneet muutokset aiheuttavat säännönmukaista syklistä vaihtelua kylmien ja lämpimien kausien välillä (0.75p).*

Lisäksi täysiin pisteisiin vaaditaan, että kuvaajan x- ja y-akselit on tulkittu oikein ja että vastaus on looginen ja laadittu oikeita geotieteellisiä termejä käyttäen.

**Kysymys 2.3.** Tarkastele kuvaa 1. Miten pitkälle menneisyyteen täytyy palata, jotta geologisista aikasarjoista löytyy lämpimintä vuoden 2200 tulevaisuusskenaariota vastaava ilmasto? (2p)

Hyvän vastauksen piirteet, esimerkkisisältö:

*Lämpimintä vuoden 2200 tulevaisuusskenaariota vastaava ilmasto löytyy punaisen käyrän (noin 40–15 miljoonaa vuotta, 1p) tasolta maapallon ilmastokäyrältä. Kun otetaan huomioon käyrän oranssi epävarmuusalue, sen maksimitason mukainen ilmasto vallitsi 40–45 miljoonaa vuotta sitten maapallon ilmastokäyrällä (1p).*

Lisäksi täysiin pisteisiin vaaditaan, että vastaus on looginen ja laadittu oikeita geotieteellisiä termejä käyttäen.

**Kysymys 2.4.** Tarkastele kuvaa 3. Kuvaile Välimeren alueella ilmastossa ja kasvillisuudessa tapahtuneita muutoksia 500 000–300 000 vuotta sitten? Perustelee tulkintasi omin sanoin ja kokonaisin lausein (5p)

Hyvän vastauksen piirteet, esimerkkisisältöjä:

*Välimeren alueen ilmastossa tapahtui 500 000–300 000 vuotta sitten suuria muutoksia. Merenpohjan sedimentin  $d^{18}O$  profiiliin perusteella alueen ilmasto vaihteli syklisesti (taajuus noin 100 000 v.) (1 p). Tämä johtui maapallon kiertoradassa ja akselikulmassa tapahtuneista muutoksista (1 p).*

*Kyseessä olevalla ajanjaksolla oli kaksi glasiaalimaksimia (jolloin mantereiden jäätiköt olivat suurimmillaan, ja ilmasto suhteellinen kylmä) ja kolme interglasiaalia (jolloin jäätiköt olivat minimissään, ja ilmasto suhteellinen lämmin) (1 p). Jäätiköiden kokonaisuuden vaihtelut näiden periodien välillä oli epäsymmetristä, sillä vaihtuminen glasiaalimaksimista interglasiaaleihin oli nopeampaa kuin toisin päin (1 p).*

*Ohrid-järven sedimentin siitepölyaineiston perusteella glasiaalimaksimien aikana kasvillisuus Välimeren maa-alueilla oli marunoiden ja heinien dominoima. Toisaalta interglasiaaleissa kasvillisuus oli puiden dominoima (1 p). Tämän voi selittää se, että alueen ilmasto oli glasiaalien aikana suhteellisen kylmä, ja interglasiaalien aikana suhteellisen lämmin (1 p).*

*Välimeren pohjasedimentin kemiallinen koostumus antaa ymmärtää, että alueen sadannassakin tapahtui suuria muutoksia. Glasiaalimaksimeissa esiintyy harvoin korkeita Ba/Al arvoja ja sapropeli-kerrostumia, kun taas interglasiaaleissa niitä esiintyy runsaasti (1p). Tämän voi selittää se, että interglasiaalien aikana sadannan määrä kasvoi ja Välimeren vesipatsas alkoi kerrostua ja Välimeri alkoi kärsiä happikadosta ja rehevöitymisestä (1 p).*

Täysiin pisteisiin vaaditaan, että kuvaajan akselit on tulkittu oikein. Lisäksi vastaus on omin sanoin kattavasti perusteltu, looginen ja laadittu oikeita geotieteellisiä termejä käyttäen.

### **Osa 3: yhteensä max 6 p**

**Kysymys 3.1.** Tarkastele kuvaa 2. Pohdi, mitä pähkinäpensaan levinneisyys 6000 vuotta sitten kertoo Suomen ilmastosta? Perustelee omin sanoin ja kokonaisin lausein (2p).

Hyvän vastauksen piirteet, esimerkkisisältöjä:

*Nykyisin pähkinäpensaalla levinneisyys ulottuu eteläisimpään Suomeen (0.25 p), jossa vallitsee muuta maata lauhkeampi ilmasto (0.25 p). Pähkinäpensaalla levinneisyys on ulottunut 6000 vuotta*



*sitten nykyistä pohjoisemmaksi (0.5 p), jolloin Suomen ilmaston on täytynyt olla nykyistä lämpimämpi (0.5 p) mahdollistaen pohjoisemman levinneisyysalueen (0.5 p).*

Täysiin pisteisiin vaaditaan omin sanoin kattavasti perusteltu, looginen ja oikeita geotieteellisiä termejä käyttäen laadittu vastaus.

**Kysymys 3.2.** Tarkastele kuvaa 2. Miten pähkinäpensaas levinneisyys 6000 vuotta sitten on saatu selville? (2p)

Hyvän vastauksen piirteet, esimerkkisisältöjä:

*Pähkinäpensaas levinneisyyttä 6000 vuotta sitten on voitu tutkia järvisedimentteihin (0.25 p) ja soiden turvekerrostumiin (0.25 p) kerrostuneista siitepölyistä ja kasvimakrofossiileista kuten pähkinälöydöistä (1 p). Siitepölyt ja kasvimakrofossiilit kertovat minkälaista kasvillisuutta alueella on kasvanut kerrostumisaikana (0.5 p). Vastauksessa on kuvattu kartan avulla perustellusti levinneisyyden tulkintaa (0.25 p)*

Täysiin pisteisiin vaaditaan omin sanoin kattavasti perusteltu, looginen ja oikeita geotieteellisiä termejä käyttäen laadittu vastaus.

**Kysymys 3.3.** Miksi Suomesta ei löydy pitkiä ilmastonvaihtelusta kertovia aikasarjoja, 2p.

Hyvän vastauksen piirteet, esimerkkisisältöjä:

*Jäätiköt ovat kuluttaneet ja kuljettaneet vanhemmat maaperäkerrokset pois (0.5 p). Suomen maaperä ja maanpinnan muodot ovat muodostuneet pääosin viimeisen jääkauden aikana ja sen jälkeen (0.5 p). Näin ollen myös järvien sedimenttikerrokset (0.25 p) ja soiden turvekerrokset (0.25 p) alkoivat muodostua vasta Suomen alueen paljastuessa mannerjäätikön alta (0.5 p). Tämän vuoksi Suomesta löytyvät aikasarjat kattavat vain holoseenin ajan (0.25 p) eli noin 11 700 vuotta (0.25 p). Suomen alueelta löytyy harvoja Eem-interglasiaalista peräisin olevia kerrostumia (0.25 p), joista saadaan tietoa edellisen lämpökauden ympäristöstä (0.25 p).*

Täysiin pisteisiin vaaditaan omin sanoin kattavasti perusteltu, looginen ja oikeita geotieteellisiä termejä käyttäen laadittu vastaus.