

Geotieteiden valintakoe 31.5.2022 klo 15.00-18.00

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. Jos jokin osa jää sinulta kesken, viimeisin tilanne tallentuu vastaukseksi. Vastaa kaikkiin osioihin.

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

Valintakokeen arviointi

Valintakokeen enimmäispistemäärä on yhteensä 30 pistettä. Kokeen 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 kolminkertainen koekiintiöön nähden.

Sinut voidaan hyväksyä vain, jos saat vähintään 8 koepistettä kokeen toisessa vaiheessa. Hakijat asetetaan lopulliseen valintajärjestykseen muista kuin karsivasta tehtävästä laskettujen 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 vääriä. Oikea vastaus antaa +1 pistettä ja muut vastaukset -0,5 pistettä. Vastaamatta jättäminen antaa 0 pistettä.

(Koetilaisuudessa vastausvaihtoehdot olivat satunnaisessa järjestyksessä)

Paleontologeille ja paleoekologeille evoluutioteoria on tutkimuksen keskeisin viitekehys ja siksi sen perusteiden ymmärtäminen on tärkeää. Monivalintakysymykset 1.1. – 1.3. liittyvät evoluutioteoriaan. Valitse vaihtoehdoista se, jota pidät OIKEANA.

Kysymys 1.1

Galápagossaarten darwininsirkut, joita on yhteensä 14 lajia, ovat yksi evoluutiotutkimuksen kuuluisimmista lajeista ja niitä käytetään usein esimerkkinä evoluutiomekanismeista. Erityisen tunnettuja nämä sirkut ovat nokan koon ja muodon vaihtelusta eri lajien välillä.

Millä tavoin erilaiset nokat alun perin kehittyivät Galápagossaarten darwininsirkuille?

a) Muutokset nokan koossa ja muodossa syntyivät tarpeesta käyttää erityyppisiä ravinnonlähteitä.

- b) Muutokset nokan koossa ja muodossa syntyivät sattumalta, ja ne sirkut, joiden nokan morfologia sopi hyvin ravintokohteen hyödyntämiseen, saivat enemmän jälkeläisiä.
- c) Ympäristötekijät aikaansaivat haluttuja geneettisiä muutoksia aiheuttaen tarvittavat nokan koon ja muodon muutokset.
- d) Sirkkujen nokka muuttui vähitellen sukupolvesta toiseen joillakin asteen edellistä sukupolvea suuremmaksi ja joillakin taas pienemmäksi.

Kysymys 1.2

Mikä on tärkein muutos, joka yhdellä saarella elävässä darwininsirkkupopulaatiossa tapahtuu vähitellen ajan kuluessa?

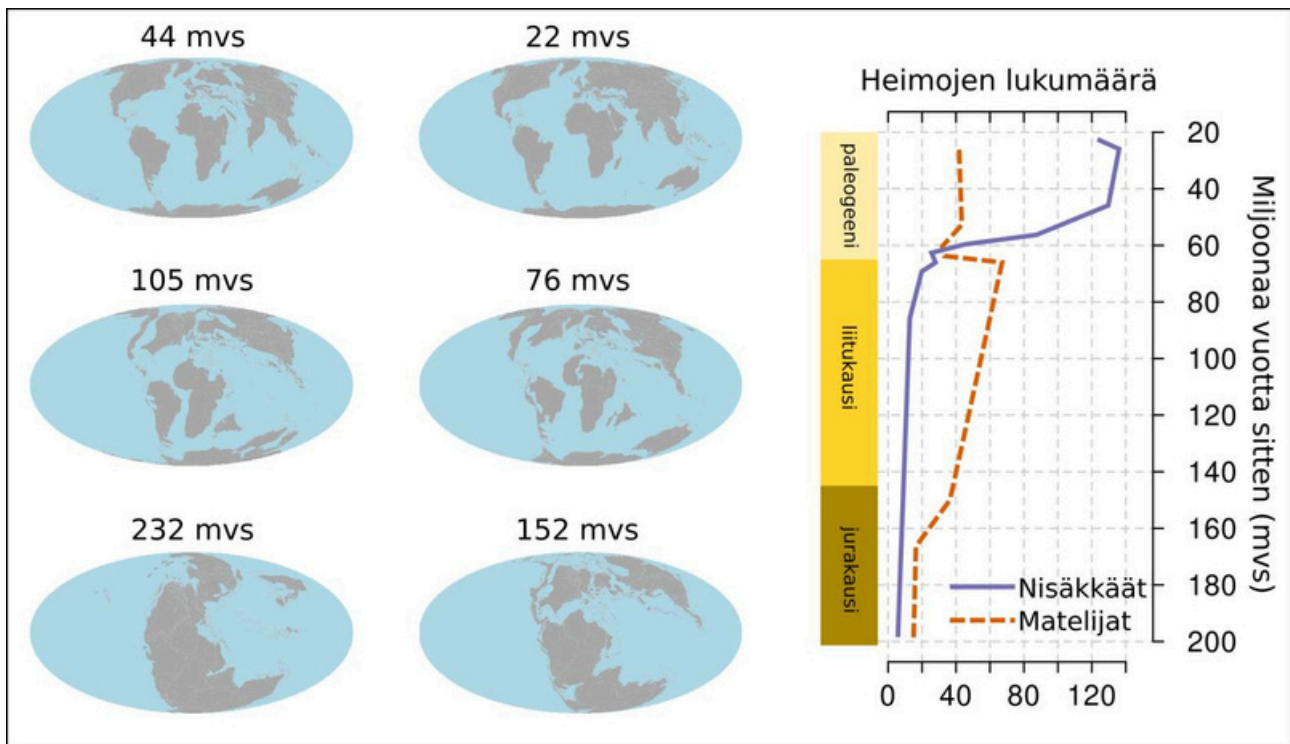
- a) Kunkin yksilön ominaisuudet muuttuvat vähitellen.
- b) Kelpoisimpien yksilöiden ominaisuudet muuttuvat vähitellen.
- c) Eri ominaisuuksien osuudet populaatiossa muuttuvat vähitellen.
- d) Populaatiossa tapahtuu vähitellen mutaatioita vastauksena ympäristön muutosten synnyttämiin tarpeisiin.

Kysymys 1.3

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 matelijoiden monimuotoisuuden muutosta mesotsooisella maailmankaudella?

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



Kysymys 1.4

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.

Koillis-Siperiassa vuorten ympäröimillä mammuttiaroilla sukupolvien ajan laiduntaneet mammuttilaumat huomasivat viimeisimmän jäätiköitymisen jälkeen olevansa saaristolaismammutteja. Maailman viimeiset mammutit pysyivät hengissä parilla Jäämeren saarella tuhansia vuosia kauemmin kuin sukulaisensa muualla.

Wrangelin saaren sedimenteistä löytyy mammutin (*Mammuthus* sp.) luita, jotka ajoitetaan radiohiilimenetelmällä. Radiohiilen ^{14}C puoliintumisaika on 5730 vuotta. Analyysi osoittaa, että näytteessä jäljellä olevan radiohiilen osuus on 62 % alkuperäisestä pitoisuudesta.

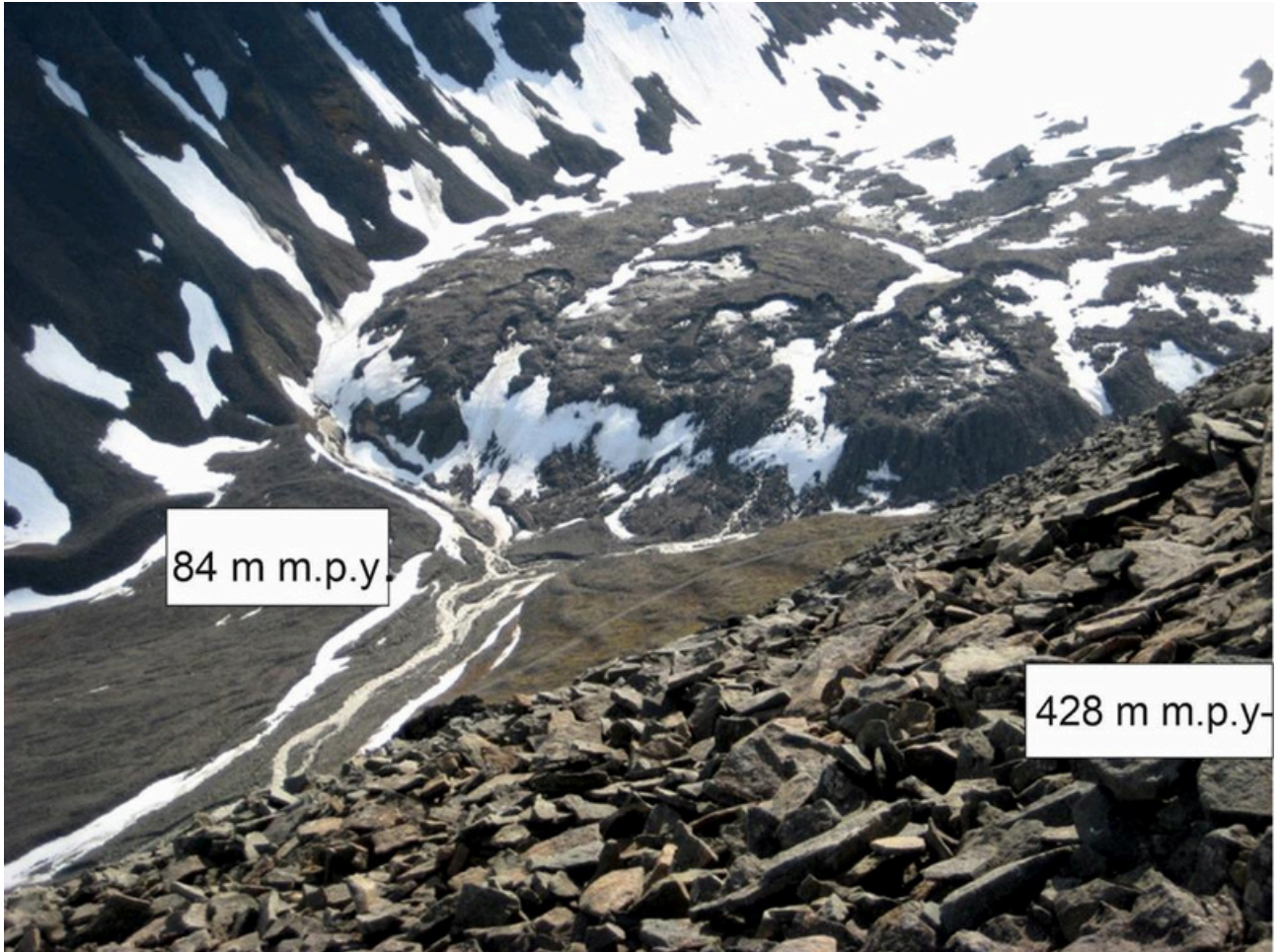
Merkitään radioaktiivisen aineen puoliintumisaikaa kirjaimella T ja aineen alkuperäistä määrää kirjaimella N_0 . Tällöin ajan t kuluttua radioaktiivisen aineen määrä on

$$N(t) = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = N_0 \times 2^{-\frac{t}{T}}$$

Valitse vaihtoehdoista se, jota pidät OIKEANA.

- Mammutteja on elänyt Wrangelin saarella vielä noin 4000 vuotta sitten
- Mammutteja on elänyt Wrangelin saarella vielä noin 2000 vuotta sitten
- Mammutteja on elänyt Wrangelin saarella vielä noin 1000 vuotta sitten
- Radiohiilimenetelmä ei sovellu näytteiden ajoittamiseen

Kysymys 1.5



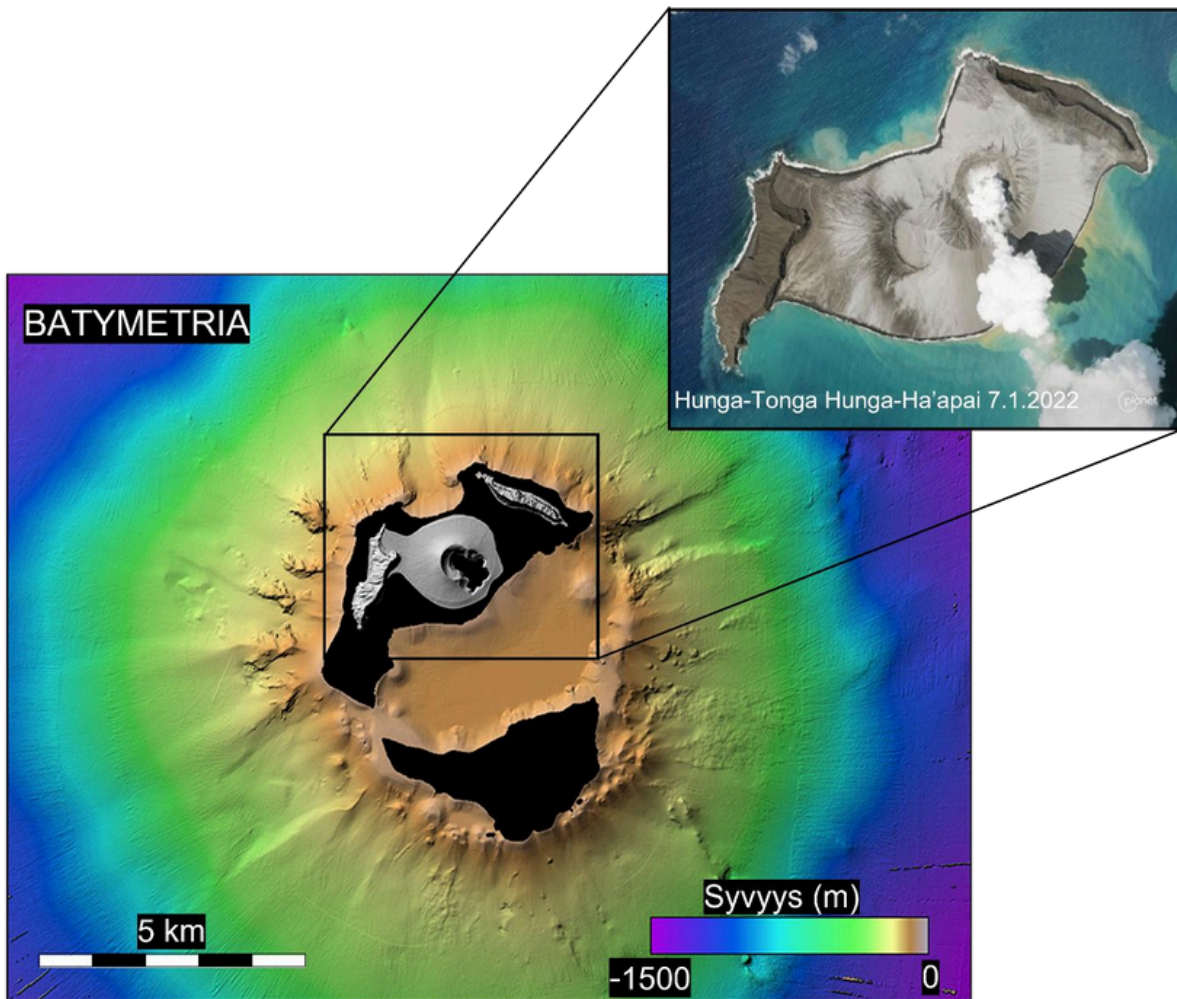
Kuva: Seija Kultti

Kuva on Huippuvuorilta ja esittää laaksojäätkköä. Korkeustasot 84 m m.p.y. ja 428 m m.p.y. on merkitty kuvaan. Valitse väittämä, joka EI PIDÄ paikkaansa.

- a) Jäätikön edustalla on kuivalle maalle palmikoivan joen muodostama sandur-delta
- b) Laakson molemmin puolin on keilamaisia muodostumia. Muodostuman materiaali näkyy lähikuvassa kuvan oikeassa alalaidassa. Pakkasrapautuminen on synnyttänyt muodostumat
- c) Jäätikön päällä näkyvä tumma sedimentti on jäätikön kuljettamaa
- d) Jäätikkö virtaa alavasemmalta yläoikealle, sillä se perääntyy

Kysymys 1.6

Tammikuussa 2022 Tongan saarella, Uuden Seelannin kaakkoispuolella tapahtunut Hunga-Tonga Hunga-Ha'apaiin purkaus oli maailman suurin tulivuorenpurkaus kolmeen vuosikymmeneen. Merenalainen tulivuori purkautui 64 km päässä Tongan pääkaupungista. Purkaus peitti Tongan 1–2 senttimetrin paksulla tuhkakerroksella, mikä vaikeutti vesi- ja ruokahuoltoa ja katkoi saaren tietoliikennekaapelin. Pyroklastista ainetta kohosi kolmeenkymmeneen kilometriin, stratosfääriin asti, minne päästyään sillä on potentiaalia levitä laajalle sumentamaan auringonvaloa ja pudottamaan lämpötilaa.



Vertaa uutista tietoihisi endogeenisistä prosesseista ja valitse väittämä, joka EI PIDÄ paikkaansa.

- Voimakas räjähdyspurkaus voi räjäyttää koko tulivuoren lakiosan, jolloin tulivuori romahtaa tyhjentävään magmasäiliöön, kuten tapahtui Tongalla
- Purkauksen aiheuttamassa pyroklastisessa pilvessä oli runsaasti vulkaanista tuhkaa, sulia laavapisaroita ja myrkyllisiä rikkikaasuja
- Tongan tulivuoret ovat syntyneet alityöntövyöhykkeelle
- Kerrostulivuoren magmassa, kuten Tongalla on vähän sitkautta aiheuttavaa piitä, toisin kuin tavanomaisten laakeiden kilpitulivuorien basalteissa, jollaisista on muodostunut muun muassa Havaiji.

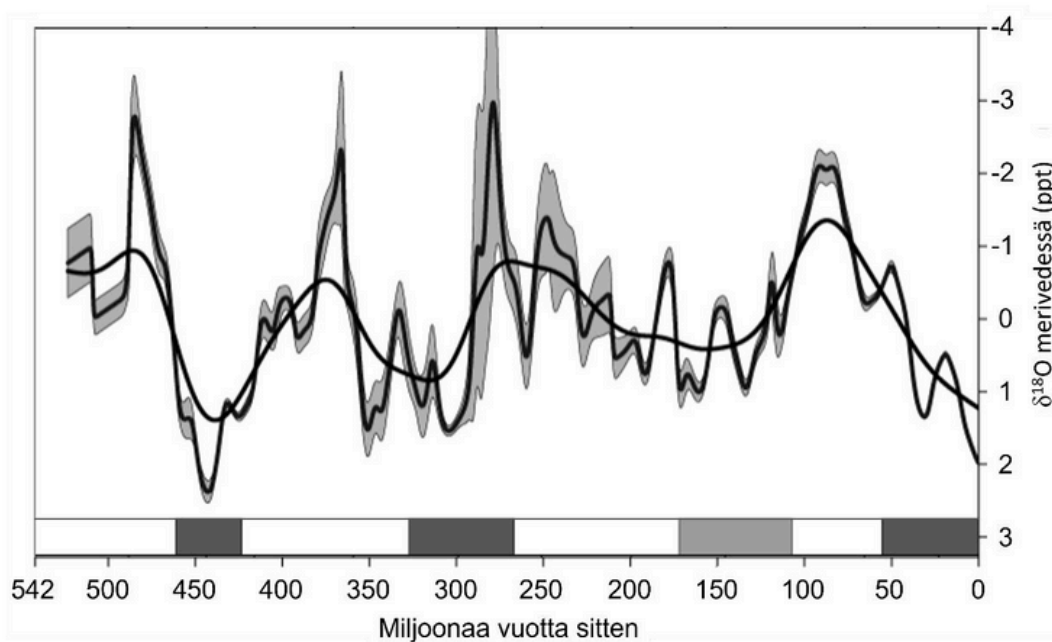
Kysymys 1.7

Hapella on 3 stabiilia isotooppia, ^{16}O , ^{17}O ja ^{18}O , joista ^{16}O on yleisin (99,757 %) ja ^{17}O harvinaisin (0,038 %). ^{16}O höyrystyy herkemmin kuin ^{18}O , ja tämän seurauksena pilviä muodostava vesihöyry on rikastunut ^{16}O :sta, kun taas merivesi on rikastunut ^{18}O :sta. Lisäksi vesihöyrynä pilvessä oleva ^{18}O tiivistyy herkemmin sadevedeksi kuin ^{16}O , joka jatkaa matkaansa vesihöyrynä pilvessä.

Mitä pidemmälle vesihöyry kulkeutuu pilvien liikkuesssa kohti korkeita leveysasteita, sitä enemmän ^{18}O :ta poistuu vesihöyrystä sateena. Kun pilvet saavuttavat napa-alueet, on vesihöyrystä tiivistyvä lumi entistä rikastuneempaa ^{16}O :sta. Lumen kerääntyessä ja muodos-

taessa jäätikköjäätä, suhteessa suurempi osa ^{16}O :sta varastoituu jäätikköjäähän kymmeni- ja sadoiksi vuosiksi. Jääkausiaikoina meriveden $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (isotooppisuhde) 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):

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



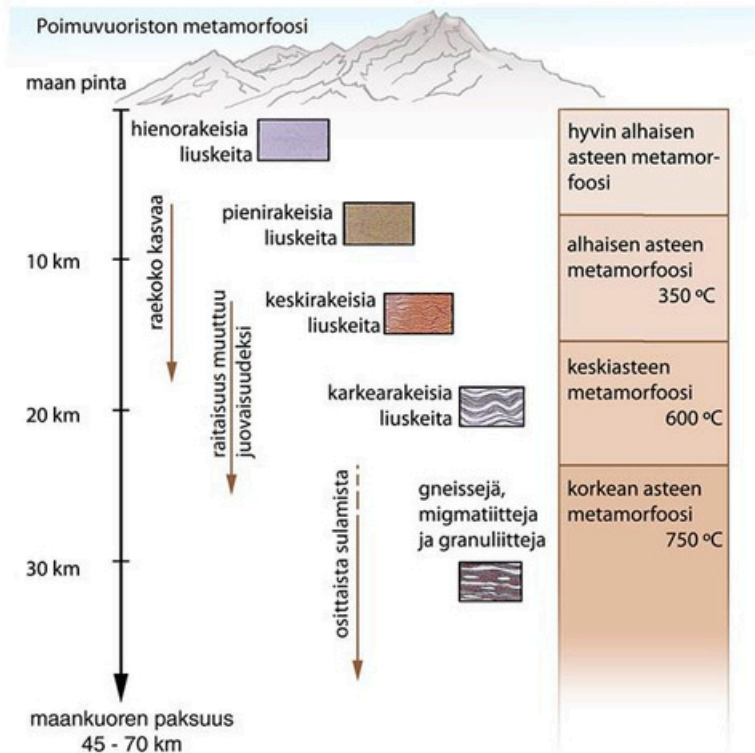
Kuvateksti: Meriveden happi-isotooppien suhde kalsiittisista kuorista mitattuna. Kuva mukailen Veizer et al. 2000 ja Wikimedia Commons.

Mitä kuvan alareunan tummat suorakaiteet merkitsevät? Valitse OIKEA vaihtoehto.

- Tummat suorakaiteet merkitsevät lämpimiä aikoja, jolloin maapallolla ei ole ollut jäätiköitä
- Tummat suorakaiteet merkitsevät kuivia aikoja, jolloin maapallolla on satanut vain vähän
- Tummat suorakaiteet merkitsevät viileitä jääkausiaikoja, jolloin maapallolla on ollut jäätiköitä
- Tummat suorakaiteet merkitsevät kosteita aikoja, jolloin maapallolla on satanut paljon

Kysymys 1.8

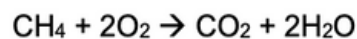
Gneissi ja migmatiitti ovat yksiä Suomen yleisimmistä kivilajeista. Mitä alla olevan kuvan ja aiemmin oppimasi perusteella tästä voi päätellä? Valitse OIKEA vaihtoehto.



- a) Suomen kallioperässä on paljon migmatiittia ja gneissia, sillä Suomi on sijainnut lähempänä päiväntasaajaa kivien syntyä aikana, ja maankuoren lämpötila on ollut korkeampi
- b) Suomen kallioperässä on paljon migmatiittia ja gneissia, sillä kun kivet ovat syntyneet, on maankuoren lämpötila ollut korkeampi koska alkuräjähdyksestä oli vähemmän aikaa
- c) Suomen kallioperässä on paljon migmatiittia ja gneissia, sillä osa kallioperästä koostuu vanhojen poimuvuoristojen juuriosista, jotka ovat metamorfoituneet syvällä maankuoressa ja paljastuneet ylempien kerrosten rapauduttua pois
- d) Suomen kallioperässä on paljon migmatiittia ja gneissia, sillä Suomen vanhempi syväkivistä koostunut kallioperän pinta metamorfoitui samalla, kun Skandit syntyivät Norjaan.

Kysymys 1.9

Metaani (CH₄) on tärkeä kasvihuonekaasu, jota tuotetaan anaerobisissa ympäristöissä.



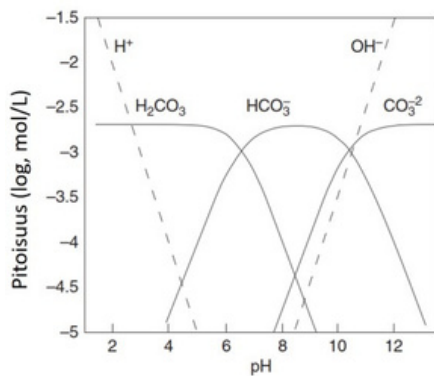
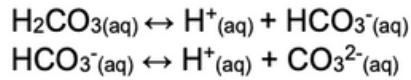
Metaanin konsentraation ilmakehässä vaikuttaa kuitenkin seuraava reaktio hapen kanssa:

Mikä seuraavista väittämistä on oikein?

- a) Reaktiossa happi hapettuu ja vety pelkistyy
- b) Reaktiossa hiili hapettuu ja happi pelkistyy
- c) Reaktiossa vety hapettuu ja hiili pelkistyy
- d) Reaktiossa hiili hapettuu ja vety pelkistyy

Kysymys 1.10

Liuoksen happamuus, joka ilmoitetaan pH-arvona on tärkeä parametri, joka vaikuttaa moniin kemiallisiin tasapainoihin luonnollisissa vesissä. Tarkastele karbonaattijärjestelmän yhtälöitä ja niihin liittyvää kuvaa.



Mikä seuraavista väitteistä on OIKEIN?

- a) Kun pH nousee, tasapainot järjestyvät uudestaan tuottaen H_2CO_3 :ta
- b) Kun pH laskee, tasapainot järjestyvät uudestaan tuottaen H_2CO_3 :ta
- c) Kun pH laskee, tasapainot järjestyvät uudestaan tuottaen CO_3^{2-} :a
- d) pH ei vaikuta H_2CO_3 :n, HCO_3^- :n tai CO_3^{2-} :n pitoisuuksiin

Osa 2, tehtävä 2

Kokeen toinen osa perustuu aineistoon ja sisältää kolme kysymyspakettia. Tutustu oheisessa PDF-tiedostossa olevaan aineistoon ja vastaa sen perusteella tehtävien 2A, 2B ja 3 kysymyksiin.

Kokeen toisesta osasta voit saada yhteensä 20 pistettä: 2A (8 p), 2B (8 p) ja 3 (4 p).

Tehtävä 2A

Vastaa kaikkiin seuraaviin kysymyksiin (numeroi vastauksesi):

1. Missä geologisessa yksikössä esiintyvät Suomen nuorimmat kivet? (0,5 pistettä)
2. Mikä on rapakivigraniittiyksikön maksimi- ja minimi-ikä taulukon 1 ja kuvan 2 tietojen perusteella? (0,5 pistettä)
3. Mikä kivilaji sisältää kiisumineraaleja Laatokan-Raahen vyöhykkeessä? (1 piste)
4. Mikä mineraali esiintyy kaikissa listatuissa kivilajeissa? (0,5 pistettä)
5. Mikä rautaa sisältävä mineraali esiintyy granuliitissa? (0,5 pistettä)
6. Selitä omin sanoin, miksi Ni-Cu-kaivos perustettiin Pyhäsalmeen. Käytä kokonaisia lauseita. (5 pistettä)

Tehtävä 2B

Vastaa kaikkiin seuraaviin kysymyksiin (numeroi vastauksesi). Perustele vastauksesi kokonaisiin lausein.

1. Millä nimellä kutsutaan alinta maaperäkerrosta, joka on kallioperän päällä? (0,5 pistettä)
2. Miksi savi- ja silttisedimenttejä esiintyy Etelä- ja Länsi-Suomessa? (0,5 pistettä)
3. Vapauttaako plagioklaasin rapautuminen alumiinia veteen? (0,5 pistettä)
4. Miten rikin hapetusluku muuttuu, kun pyriitti rapautuu? (1 piste)
5. Mistä mineraalista nikkeliä voi vapautua ympäristöön? (0,5 pistettä)
6. Vertaile paikkoja 3 (Pyhäsalmi), 4 (Jyväskylä) ja 5 (Kotka). Selitä omin sanoin, miksi näiden paikkojen purovesien nikkeliipitoisuudet eroavat toisistaan. Käytä kokonaislauseita. (5 pistettä)

Osa 2, tehtävä 3

Kokeen toinen osa perustuu aineistoon ja sisältää kolme kysymyspakettia. Tutustu oheisessa PDF-tiedostossa olevaan aineistoon ja vastaa sen perusteella tehtävien 2A, 2B ja 3 kysymyksiin.

Kokeen toisesta osasta voit saada yhteensä 20 pistettä: 2A (8 p), 2B (8 p) ja 3 (4 p).

Tehtävä 3

Vastaa kaikkiin seuraaviin kysymyksiin (numeroi vastauksesi). Perustele vastauksesi kokonaisiin lausein.

1. Ottaen huomioon Pyhäsalmen kiisumineraalien koostumuksen (taulukko 2), mitä metalleja Pyhäsalmen kaivannaisjätteistä saattaisi ainakin liueta? (1 pistettä)
2. Mikä / mitkä alkuaineet järivedessä eivät ole kuvan 6 perusteella (pelkästään) kaivosalueelta peräisin? Perustele vastauksesi. (1,5 pistettä)
3. Valitse kuvan 6 perusteella 2–4 mielestäsi metsäojoaan huonoiten pidättyvää alkuainetta, ja perustele valintasi? (1,5 pistettä)

Aineisto

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

Kiisumalmien esiintyminen Suomessa

Suomen kallioperä koostuu eri *yksiköistä* (kuva 1), jotka muodostuivat eri aikoina Suomen 3000 miljoonaa vuotta pitkässä geologisessa historiassa, ja ne ulottuvat osittain Suomen rajojen ulkopuolelle. Nämä yksiköt koostuvat eri kivilajeista. Yksikköjen nimet, sekä geologiset *Eonit*, jolloin ne muodostuivat, näkyvät taulukosta 1. Yksinkertaistettu geologinen aikataulu näkyy kuvasta 2.

Yksiköiden sisältä löytyy eri *vyöhykkeitä*, joissa tiettyjä *kivilajeja* esiintyy. Kivilajit puolestaan koostuvat *mineraaleista*, ja mineraalit sisältävät *alkuaineita*, kuten piitä, happea, rautaa, kuparia, nikkeliä, kultaa, jne. Yksi kivilaji koostuu tavallisesti muutamasta päämineraalista

sekä lisämineraaleista, jotka itse sisältävät useita alkuaineita (taulukko 2). Alkuaineiden pitoisuus eri mineraaleissa vaihtelee huomattavasti.

Suomen kallioperässä esiintyy runsaasti alkuaineita akkujen ja muun teollisuuskäytön tarpeisiin. Suuri osa taloudellisesti tärkeistä alkuaineista esiintyy sulfidi- (*kiisu*)-*mineraaleissa*. Kiisumineraaleissa metalli on sitoutunut rikkiin (S) sulfidiksi, eli rikin hapetusluku on negatiivinen (-2 tai -1), kun taas metallien hapetusluku samassa mineraalissa on positiivinen (+1 tai +2). Rauta on yleisin metalli, joka esiintyy kiisumineraaleissa (muodostaen *pyriittiä*), mutta myös nikkeli (Ni), kupari (Cu), ja sinkki (Zn) ovat tärkeitä kiisuja muodostavia metalleja tai kiisuissa esiintyviä metalleja Suomen kallioperässä (taulukko 3).

Suomessa kiisumineraaleja esiintyy esimerkiksi Svekofennisen orogeenin ja Karjalan provinssin yksiköissä (kuva 1). Liuskekiviä (*metamorfoituneita* vulkaanisia- ja sedimenttikiviä) esiintyy runsaasti *Porin-Vammalan vyöhykkeessä*, *Laatokan-Raahen vyöhykkeessä* sekä *Kainuun-Outokummun vyöhykkeessä* ja ne sisältävät paikoin paljon kiisumineraaleja. Tämän vuoksi monet Suomen tärkeimmistä kaivoksista ovat keskittyneet näille alueille niin menneisytydessä kuin nykyäänkin. Kiisumineraalien jakauma on kuitenkin kussakin vyöhykkeessä hyvin heterogeeninen ja malmiesiintymien löytäminen vaatii intensiivistä geologista tutkimusta ja etsintää.

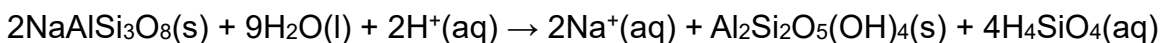
Maankamaran vaikutus ympäristökemiaan

Kallioperä hajoaa pienempiin partikkeleihin *fyysisen rapautumisen* kautta. Siksi kallioperän kemiallinen koostumus heijastuu yllä olevassa *moreenissa* (kuva 3). Moreenin koostumuksen perusteella on siis mahdollista kartoittaa peruskallion kemiallisia ominaisuuksia. 1980–1990 luvulla tehdyssä Suomen geokemian Atlas- hankkeessa moreeninäytteitä kerättiin läpi Suomen (1 näyte/ 4km²) ja niiden kemiallinen koostumus (alkuaineiden määrät) määritettiin. Moreenissa esiintyvän nikkelin pitoisuuskartta näkyy esimerkiksi kuvasta 4.

Moreenin päälle on kertynyt Etelä- ja Länsi Suomessa savi- ja silttikerrostumia geologisesti nuorempien vaiheiden aikana, jolloin nämä alueet olivat vielä veden alla (kuva 4). Savi- ja silttisedimentit sisältävät myös kiisumineraaleja, mutta verrattuna kallioperän *malmeihin*, ne eivät ole keskittyneet esiintymiksi eivätkä siksi ole taloudellisesti merkittäviä/hyödynnettävissä.

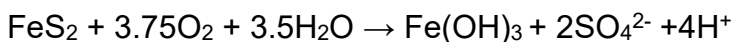
Kemiallinen rapautuminen voi vapauttaa moreenista sekä savi- ja silttikerrostumista alkuaineita pohjaveteen ja lopulta pintaveteen. Kemiallisessa rapautumisessa tietyt mineraalit *hydrolisoituvat* (hajoavat reaktiossa veden kanssa), tai *hapettuvat* (reagoivat ilmakehän hapen kanssa). Näiden prosessien seurauksena osa mineraalien alkuaineista liukenee veteen, kun taas osa saostuu *sekundäärisiin mineraaleihin*, kuten savi- tai oksidimineraaleihin (yhtälöt 1–2).

Yhtälö 1: Plagioklaasin (*albiitin*) hydrolisaatio



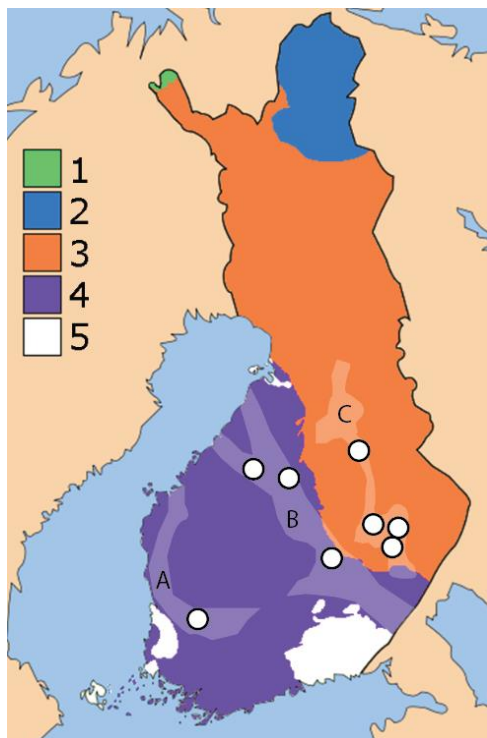
albiitti + vesi + vety ioni → natrium ioni + kaoliniitti (savi) + piihappo

Yhtälö 2: Pyriitin hapetus

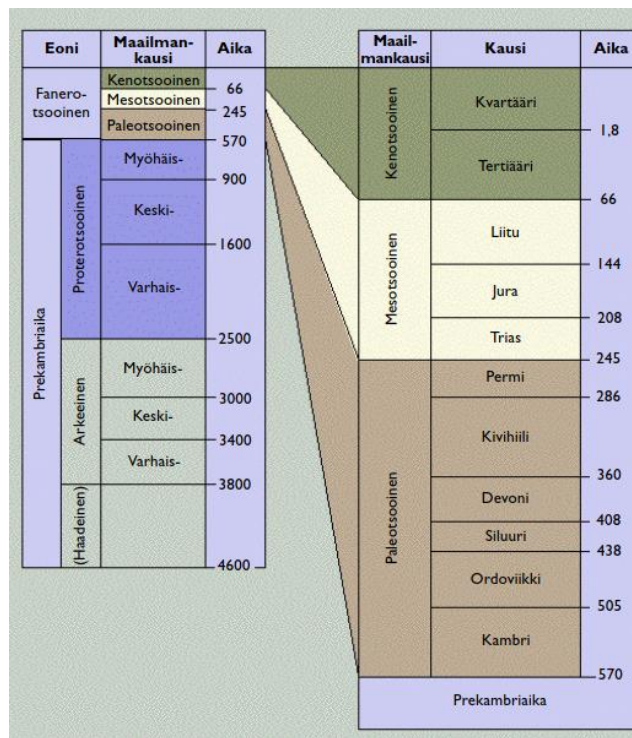


pyriitti + happi + vesi → rautaoksidi + sulfaatti ioni + vety ioni

Kemiallinen rapautuminen vaikuttaa siis alkuaineiden pitoisuuksiin vesistöissä, ja siksi veden luonnolliset kemialliset ominaisuudet vaihtelevat alueittain. Myös kiisumineraalit vapauttavat ympäristöön luontaisen rapautumisen kautta alkuaineita, kuten esimerkiksi nikkeliä (kuva 4). Tämä seikka pitää ottaa huomioon, kun arvioidaan ihmistoiminnan mahdollisia vaikutuksia vesistöihin.



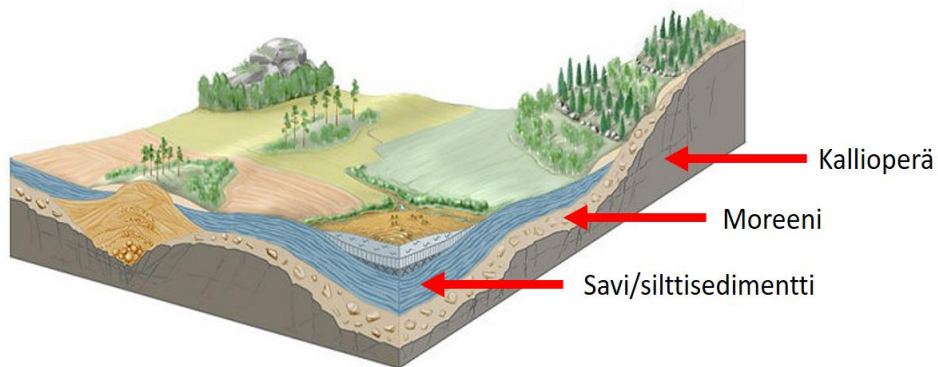
Kuva 1. Suomen kallioperän pääyksiköt (1–5, selitys taulukossa 1). *Liuskekivi*-vyöhykkeet Etelä- ja Keski-Suomessa, joissa kiisumineraaleja esiintyy runsaasti, näkyvät vaaleammissa värisävyissä: A=Porin-Vammalan vyöhyke, B=Laatokan-Raahen vyöhyke, C=Kainuun-Outokummun vyöhyke. Valkoiset pisteet: tärkeitä kaivoistoiminnan sijainteja (vuosina



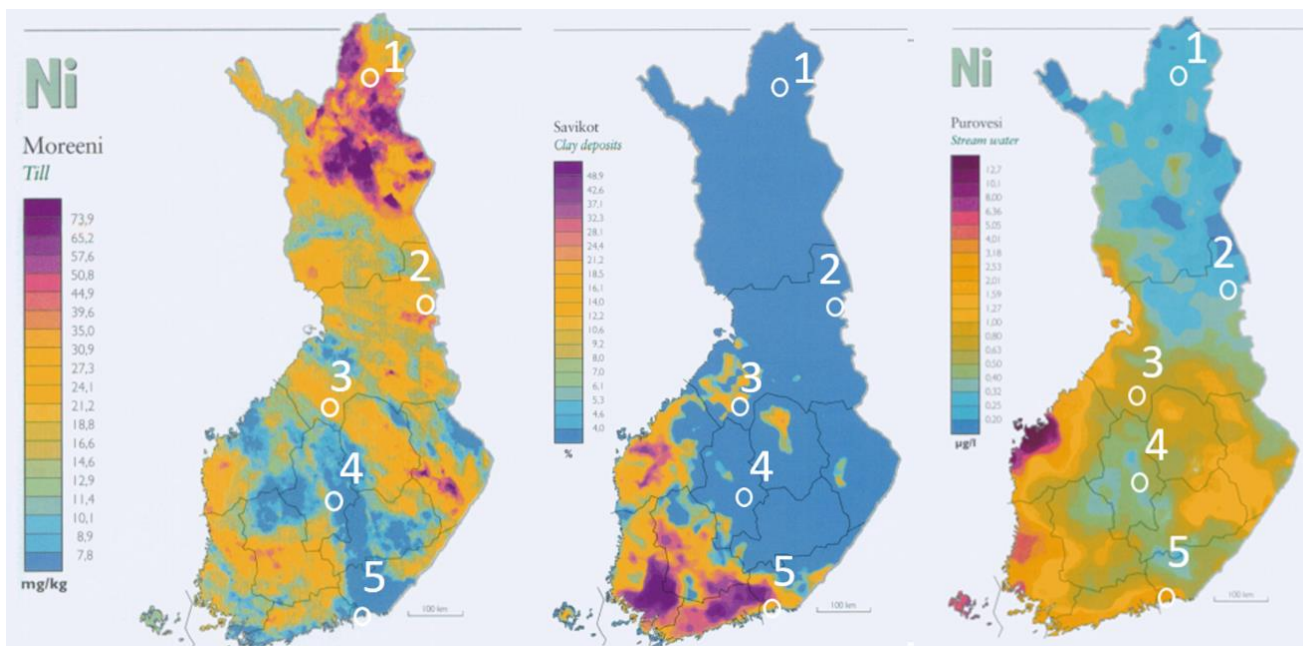
Kuva 2. Geologinen aikataulu Tarbuckin ja Lutgensin (1996) mukaan, *Suomen Kallioperä - 3000 vuosimiljoonaa* -kirjasta, Lehtinen et al. 1998. Aikayksikkö on miljoonaa vuotta.

Koodi kuvassa 1	Yksikön nimi	Eoni
1	Kaledonisia liuskepatjoja	fanerotsooinen
2	Kuolan provinssi	arkeinen + proterotsooinen
3	Karjalan provinssi	arkeinen + proterotsooinen
4	Svekofenninen orogeeni	proterotsooinen
5	Rapakivigraniitti	proterotsooinen

Taulukko 1. Suomen kallioperän yksikköjen nimet ja Eonit, jolloin yksiköt muodostuivat.



Kuva 3. Lämpileikkaus Etelä-Suomen *maankamarasta* (kallioperä + maaperä). Maaperä koostuu moreenista sekä muusta materiaalista kuten savi/silttsedimenteistä. *docplayer.fi*, H. Kutvonen, GTK



Kuva 4. Moreenin hienoaineksen Ni -pitoisuus (mg/kg) (vasemmalla). Savi- ja silttsedimenttien keskimääräinen osuus pinta-alasta (keskellä), ja puroveden Ni -pitoisuus (µg/L) (oikealla). Kaikki tiedot *Suomen Geokemian Atlas*-hankkeesta, Lahermo et al. 1996 (GTK). Paikat 1–5 seuraavasti: 1: Inari, 2: Saarikylä, 3: Pyhäsalmi, 4: Jyväskylä, 5. Kotka

Kivilaji	Esimerkkimineraalija	Mineraalien koostumus	Esimerkksijainti (koodi kuvasta 4)	Ni moreeni (mg/kg)	Ni purovesi (µg/L)

Granuliitti	pyrokseeni	$\text{Ca,Na(Si,Al)}_2\text{O}_6$	1.Inari	29	0.2
	plagioklaasi	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$			
	ortoklaasi	KAlSi_3O_8			
	granaatti	$\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$			
Vihreäkivi*	kloriitti	$(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6$	2.Saarikylä	27	0.3
	plagioklaasi	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$			
	sarvivälke	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Mg})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$			
	epidootti	$\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Fe,Al})(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$			
Liuskekivi*	sarvivälke	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Mg})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$	3.Pyhäsalmi	30	1.5
	plagioklaasi	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$			
	pyriitti	FeS_2			
	kuparikiisu	CuFeS_2			
	sinkkivälke	$(\text{Zn,Fe})\text{S}$			
	pentlandiitti	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$			
Granodioriitti	plagioklaasi	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	4.Jyväskylä	7	0.4
	kvartsi	SiO_2			
	sarvivälke	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Mg})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$			
	biotiiitti	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$			
Rapakivigraniitti	ortoklaasi	KAlSi_3O_8	5.Kotka	6	2.5
	plagioklaasi	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$			
	kvartsi	SiO_2			
	biotiiitti	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F,OH})_2$			

Taulukko 2. Esimerkkejä Suomessa esiintyvistä kivilajeista, niiden mineraaleista ja mineraalien tyypillisestä kemiallisesta koostumuksesta. Esimerkkisijainnit, joissa näitä kivilajeja esiintyy, vastaavat kuvaa 4. Kallioperän päällä olevan moreenin sekä puroveden Ni -pitoisuudet on annettu kuvan 4 karttojen perusteella. *Liuskekivien ja vihreäkivien koostumukset vaihtelevat paljon. Taulukossa on näiden osalta esitetty yksinkertaistettuja esimerkkejä.

Kiisumineraali	Kemiallinen koostumus	Metallit	Käyttö
pyriitti	FeS_2	rauta (Fe)	terästeollisuus, rakennusteollisuus
kuparikiisu	CuFeS_2	kupari (Cu)	elektroniikkateollisuus
sinkkivälke	ZnS	sinkki (Zn)	galvanointi, metalliseokset
lyijyhohde	PbS	lyijy (Pb)	tuliaseet, bensiinin lisäaineena
pentlandiitti	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$	nikkeli (Ni)	akut, katalyytit, metalliseokset

Taulukko 3. Tärkeimmät Suomessa esiintyvät kiisumineraalit, niiden kemiallinen koostumus ja esimerkkejä mineraaleista saatujen metallien historiallisesta käytöstä.

Sulfidimalmikaivosten ympäristövaikutukset

Kaivoksilla on aina ympäristövaikutuksia. Geotieteellistä asiantuntemusta ja osaamista tarvitaan paitsi malmien hyödyntämisessä, myös kaivosten ympäristöhaittojen hallinnassa. Ympäristöhaitat on kyettävä pitämään hallinnassa ja vaikutusten tulee tarkan ympäristölainsäädännön mukaisesti olla hyväksyttäviä. Metallimalmikaivosten osalta etenkin sulfidimalmikaivoksista saattaa aiheutua metallikuormitusta ympäristöön. Kaivosalueiden suurimmat haasteet liittyvät pääasiassa kaivannaisjätealueilla muodostuvien valumavesien aiheuttamaan ympäristökuormitukseen. Ekosysteemeille aiheutuvan kuormituksen ohella haittavaikutukset voivat kohdentua myös paikallisten asukkaiden ja alueella aikaa viettävien ihmisten terveyteen.

Louhinnan ohessa syntyy nk. *sivukiveä*, kun varsinaista hyödynnettävää malmin ympäröivä jatkoprosessiin kelpaamaton kivimateriaali louhitaan ja poistetaan malmin saavuttamiseksi. Sivukivi on siis luonnollista kiviainesta, joka sisältää usein jonkin verran, mutta ei tarpeeksi sulfidimineraaleja hyödynnettäväksi. Malmin prosessoinnissa arvometallit erotetaan malmimineraaleista *rikastamalla*. Rikastuksen sivutuotteena syntyy vesipitoista *rikastushiekkaa*, joka koostuu metallien erotuksesta jäljelle jääneestä mineraaliaineksesta. Koska erotusprosessi on harvoin täydellinen, rikastushiekka sisältää usein edelleen metalleja sekä toisinaan myös rikastuskemikaalijäämiä. Rikastushiekka läjitetään yleensä padottuihin altaisiin rikastamon lähistölle, ja sivukivi läjitetään kasoiksi louhoksen viereen. Sivukiveä voidaan sen ominaisuuksista riippuen käyttää rakentamiseen, ja sillä täytetään usein käytöstä poistuneet kaivostunnelit ja toiminnan päätyttyä myös louhos. Rikastushiekka-altaat ja sivukivikasat, joiden materiaalia ei voida käyttää esim. rakentamisessa, muodostavat kaivannaisjätealueita.

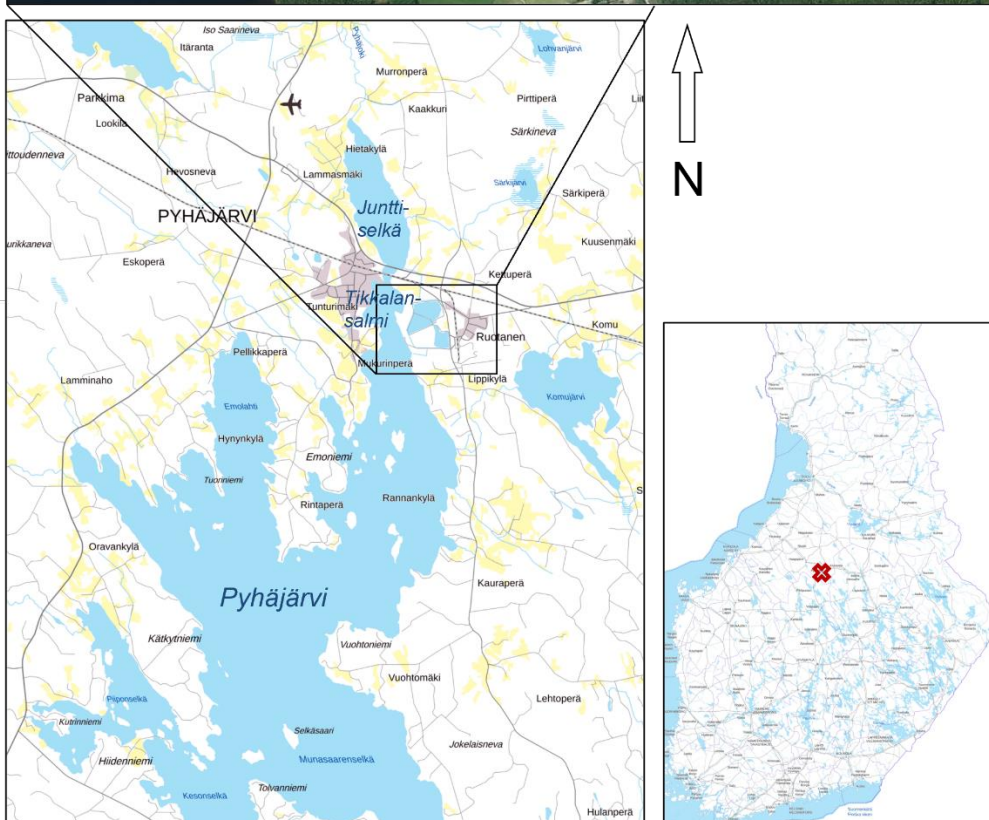
Kun jätealueiden sivukiven tai rikastushiekan sulfidimineraalit ovat kosketuksissa hapen kanssa, ne alkavat rapautua luontaisesti. Sulfidimineraalien hapettuessa jätemateriaalissa olevaan huokosveeteen vapautuu sulfaattia, vetyioneja (happoa) ja metalleja (sama reaktio kuin yhtälössä 2). Jätealueiden suotovesien happamuus riippuu happoa tuottavien (sulfidit) ja neutraloivien mineraalien (karbonaatit) suhteesta jätemateriaalissa, sekä hapen ja veden pääsystä kosketuksiin jätteen kanssa. Hapen suotovesi liuottaa tehokkaasti jäteaineksen metalleja, jolloin metalleja päätyy suoto- ja valumavesiin liuenneessa muodossa. Sulfidimalmikaivoksista syntyvien kaivannaisjätealueiden suotovedet ovat usein happamia (nk. *hapan kaivosvalunta*), ja ympäristövaikutusten minimointi perustuu suoto- ja valumavesien hyvään hallintaan kaivosalueella sekä ympäristön pohja- ja pintavesien virtausolosuhteiden tuntemiseen.

Pyhäsalmen kaivosalue Pyhäjärven rannalla koostuu kaivosrakennuksista, maanalaisesta kaivoksesta, avolouhoksesta, rikastamosta ja kokonaisuudessaan neljästä rikastushiekka-altaasta (A–D) sekä sivukivikasoista (kuva 5). Vuonna 2008 arvioitiin, että Pyhäsalmen kaivoksen rikastushiekka-allas B:n länsireunalta suotautui vettä jätealtaalta padon ja maapohjan läpi altaan ulkopuolelle noin 3,3–5,7 l/vrk patometriä kohden. Pato on n. 750 m pitkä (kuva 5, punainen katkoviiva). Suotovedet pyritään keräämään jätealueen ympärysojaan, josta ne pumpataan takaisin rikastushiekka-alueelle puhdistettavaksi. Puhdistuksen jälkeen vedet lasketaan Pyhäjärveen, jossa purkuvesi sekoittuu järviveteen. Vuonna 2008 arvioitiin, että osa vedestä suotautui kuitenkin maaperässä ympärysojan ohi metsäalueelle, kerääntyi metsäoijiin ja valui Pajulahteen (kuva 5, punaiset nuolet). Suoto- ja valumavesien liuenneet metallit saostuvat ja

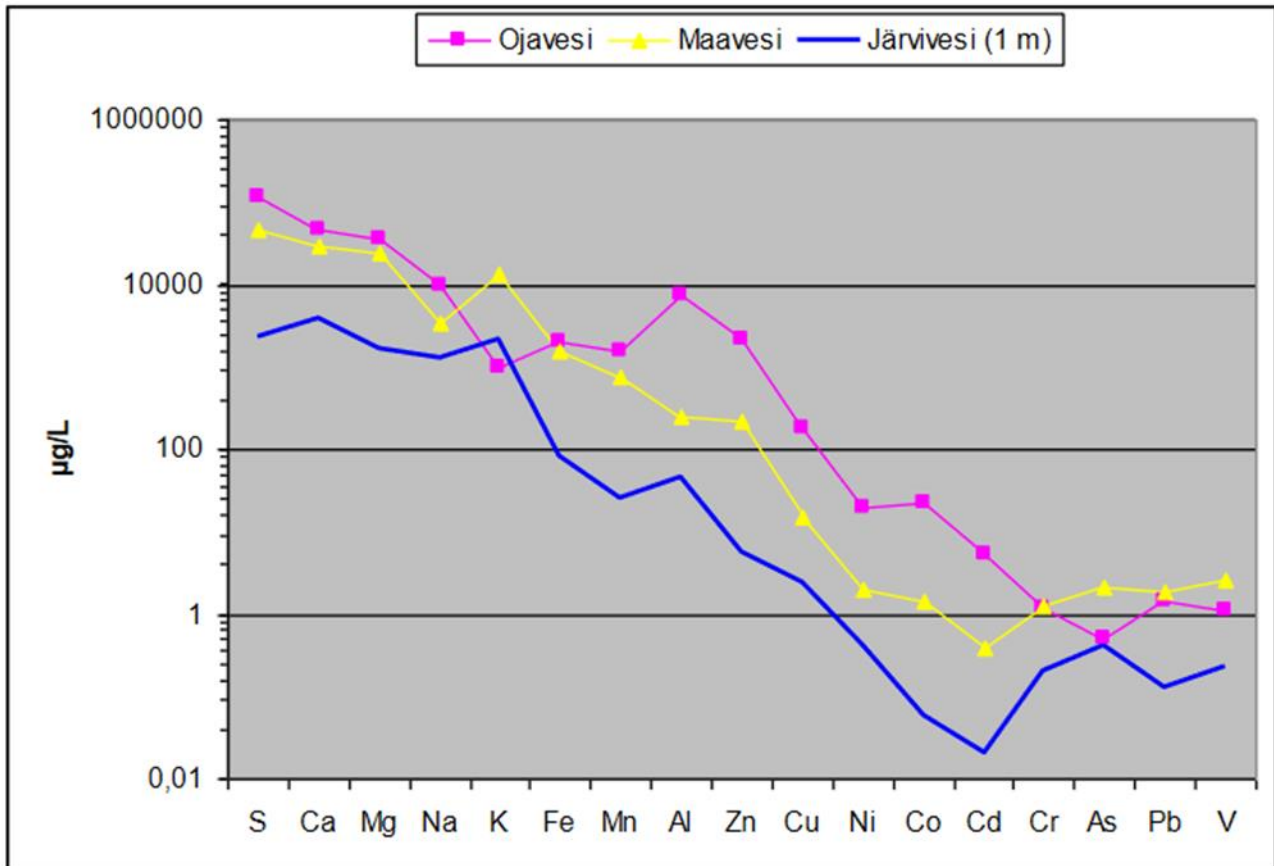
pidättyvät usein ojien pohjasedimenttiin ja erityisesti kosteikkoalueille olosuhteiden ollessa otolliset (kuva 6). Kosteikkoalueita käytetäänkin usein passiivisina ”biopuhdistamoina” kaivosympäristöjen valumavesille.

Vesistöjen vedenlaatuun vaikuttavat useat tekijät. Vesistön koko, veden määrä ja sen vaihtuvuus vaikuttavat vesistön kykyyn neutraloida ja laimentaa siihen mahdollisesti päätyvää kuormitusta. Vesistön ravinteikkaus, sitä ympäröivät luontotyypit sekä alueen

kallio- ja maaperä vaikuttavat veden luontaiseen kemialliseen koostumukseen. Maankäyttö (maa- ja metsätalous), teollisuus (esim. turve- ja raaka-ainestuotanto) ja yhdyskunnat aiheuttavat haja- ja pistekuormitusta, ja on tapauskohtaista, miten vesistö kestää kuormitusta. Pyhäjärven ekologinen tila on vuonna 2022 arvioitu hyväksi/erinomaiseksi ja Junttiselän välttäväksi (SYKE 2022). Ihmistoiminnasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia voidaan tutkia esimerkiksi vesinäytteiden avulla. Vertailemalla metsäojan, kosteikkoalueen ja järven vesiä keskenään (kuva 6), voidaan seurata suotovesien leviämistä ja arvioida kaivosalueen aiheuttamaa ympäristökuormitusta, kun oletetaan että metsäojan veden kemiallinen koostumus heijastaa jätealueen suotovesiä.



Kuva 5: Pyhäsalmen kaivos, Pyhäjärvi. Kaivospiiri koostuu rikastushiekkajätealtaista (A-D), sivukivikasoista, rikastamosta ja avolouhoksesta. B-altaan padon (punainen katkoviiva) läpäisevä suotovesi kerääntyy pääosin jätealueen ympärysojaan, mutta osa siitä suotautuu metsäalueelle (punaiset nuolet) ja kerääntyy metsäoijiin, joissa suotovesi virtaa Pajulahteen kosteikkoalueen läpi.



Kuva 6: Alkuainepitoisuuksien jakautuminen vuonna 2008 Pajulahteen laskevassa ojassa, Pajulahden kosteikon maavedessä ja järvivedessä (1 m syvyydessä), Pyhäsalmen kaivosalue, Pyhäjärvi. Näytepisteet kuvassa 1, värit vastaavat toisiaan. Räisänen 2015.

Viitteet:

Räisänen 2015, Geologian tutkimuskeskuksen arkistoraportti 59/2015, Kuopio.

<https://docplayer.fi/63047231-Rikastushiekka-altaan-suotovesivaikutukset-pajulahden-ja-vanharannan-valisella-maa-ja-vesialueella-vuosina-2006-ja-2007-pyhajarvi.html>

Lahermo, P.; Väänänen, P.; Tarvainen, T. ja Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas, Osa 3: Ympäristögeokemia - purovedet ja sedimentit. Geologian tutkimuskeskus, Erikoisjulkaisut - Special Publications, Vol. 20. 149 s. E-julkaisu:

https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_020.pdf

Lehtinen Martti, Nurmi Pekka ja Rämö Tapani (toim.) 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s. E-julkaisu:

<https://www.geologinenseura.fi/fi/seura/julkaisut/suomen-kalliopera>

SYKE (Suomen ympäristökeskus), Vesikartta, Vesien tila

<https://paikkatieto.ymparisto.fi/vesikartta>

Arvosteluperusteet

Tehtävä 2.A (maksimi 8 pistettä)

Vastaa kaikkiin seuraaviin kysymyksiin (numeroi vastauksesi).

1. Missä geologisessa yksikössä esiintyvät Suomen nuorimmat kivet? (0,5 pistettä)
Kaledonisissa liuskepatjoissa
2. Mikä on rapakivigraniittiyksikön maksimi- ja minimi-ikä taulukon 1 ja kuvan 2 tietojen perusteella? (0,5 pistettä)
Maksimi 2500 miljoonaa vuotta sitten (0,25 p.) ja minimi 570 miljoonaa vuotta sitten (0,25 p.)
3. Mikä kivilaji sisältää kiisumineraaleja *Laatokan-Raahen* vyöhykkeessä? (1 piste)
Liuskekivi
4. Mikä mineraali esiintyy kaikissa listatuissa kivilajeissa? (0,5 pistettä) **Plagioklaasi**
5. Mikä rautaa sisältävä mineraali esiintyy granuliitissa? (0,5 pistettä) **Granaatti**
6. Selitä omin sanoin, miksi Ni-Cu-kaivos perustettiin Pyhäsalmeen. Käytä kokonaislauseita. (5 pistettä)

Pistemäärä annetaan vastauksen loogisen rakenteen ja tosiasioiden oikeellisuuden perusteella. Mallivastaus sisältää seuraavat seikat järjestettynä sillä tavalla, että kokonaisuus on johdonmukainen ja näyttää selvästi, että hakija on ymmärtänyt annettua materiaalia:

- Ni-Cu tarvitaan eri teollisuuden tarkoituksiin (elektroniikkateollisuus, akkuteollisuus, metalliseokset, katalyytit).
- Ni-Cu esiintyvät sulfidimineraaleissa (esim. pentlandiitti, kuparikiisu).
- Nämä mineraalit esiintyvät liuskekivissä.
- Liuskekivet esiintyvät runsaasti Pyhäsalmen alueella, joka on osa Laatokan-Raahen vyöhykettä Svekofennisen orogeenin yksikössä.
- Pyhäsalmen alueella Ni-Cu on havaittu myös kallioperän yllä olevassa moreenissa, mikä heijastaa kallioperän rapautumista.
- Muu järkevä perustelu, esim. taloudellisesti kannattava.

Esimerkkejä vääristä perusteluista:

- Kaivos on sijoitettu Pyhäjärven alueelle ympäristövaikutusten rajoittamiseksi, esim. järven koon tai kosteikkojen läsnäolon takia.
- Kaivos on sijoitettu Pyhäjärven alueelle savikkojen puutteen takia.

Tehtävä 2B. (maksimi 8 pistettä)

Vastaa seuraaviin kysymyksiin (numeroi vastauksesi). Perustele vastauksesi kokonaislausein.

1. Millä nimellä kutsutaan alinta maaperäkerrosta, joka on kallioperän päällä? (0,5 pistettä)
Alin maaperäkerros, joka verhoaa yleisesti kallioperää, on nimeltään moreeni.

2. Miksi savi- ja silttisedimenttejä esiintyy Etelä- ja Länsi-Suomessa? (0,5 pistettä)
Savi- ja silttisedimenttejä esiintyy Etelä- ja Länsi-Suomessa, koska alue oli geologisessa lähihistoriassa veden alla.
3. Vapauttaako plagioklaasin rapautuminen alumiinia veteen? (0,5 pistettä)
Plagioklaasin rapautuminen ei vapauta alumiinia veteen (0,25 p.), vaan alumiini pysyy kiinteässä faasissa kaoliniitissa (0,25 p.)
4. Miten rikin hapetusluku muuttuu, kun pyriitti rapautuu? (1 piste)
Pyriitin rapautuessa rikin hapetusluku kasvaa (0,5 p.) -1:stä (0,25 p.) +6:een (0,25 p.)
5. Mistä mineraalista nikkeliä voi vapautua ympäristöön? (0,5 pistettä)
Nikkeliä voi vapautua pentlandiitistä, jonka rakenteessa nikkeli esiintyy.
6. Vertaile paikkoja 3 (Pyhäsalmi), 4 (Jyväskylä) ja 5 (Kotka). Selitä omin sanoin, miksi näiden paikkojen purovesien nikkeliipitoisuudet eroavat toisistaan. Käytä kokonaislauseita. (5 pistettä)

Pistemäärä annetaan vastauksen loogisen rakenteen ja tosiasioiden oikeellisuuden perusteella. Mallivastaus sisältää seuraavia asioita, järjestettynä niin, että kokonaisuus on johdonmukainen ja näyttää selvästi, että hakija on ymmärtänyt annettua materiaalia:

- Pyhäsalmen (3) ja Kotkan (5) puroveden Ni-pitoisuudet ovat korkeampia kuin Jyväskylän (4) alueella.
- Pyhäsalmen alueella moreenin Ni-pitoisuus on suhteellisen korkea. Nikkeli vapautuu kemiallisessa rapautumisessa moreenista veteen.
- Korkeat Ni-pitoisuudet moreenissa johtuvat alla olevan kallioperän koostumuksesta (Ni-pitoisia mineraaleja liuske kivissä).
- Kaivostoiminta voi vaikuttaa Pyhäsalmen puroveden Ni-pitoisuuteen.
- Kotkan alueella on suhteellisen paljon savikerrostumia. Savi sisältää nikkeliä, siksi nikkeli vapautuu kemiallisessa rapautumisessa savesta veteen.
- Jyväskylässä moreenin Ni-pitoisuus on alhainen, sekä savikkojen määrä on vähäinen. Siksi vähemmän nikkeliä vapautuu veteen kemiallisessa rapautumisessa.

Esimerkkejä vääristä perusteluista:

- Rapakivestä vapautuu nikkeliä Kotkan alueella.
- Nikkeli on kasaantunut Kotkan alueelle valuma-alueelta.
- Puroveden nikkeli tulee merivedestä.
- Jyväskylässä ei ole moreenia.
- Jyväskylän alueella on paljon järviä, jotka laimentavat Ni-pitoisuudet purovedessä.

Tehtävä 3. (maksimi 4 pistettä)

Vastaa kaikkiin seuraaviin kysymyksiin (numeroi vastauksesi). Perustele vastauksesi kokonaislausein.

1. Ottaen huomioon Pyhäsalmen kiisumineraalien koostumuksen (taulukko 2), mitä metalleja Pyhäsalmen kaivannaisjätteistä saattaisi ainakin liueta? (1 pistettä) Mallivastauksessa luetellaan oikeat alkuaineet: **Fe (0,25 p.), Cu (0,25 p.), Zn (0,25 p.), Ni (0,25 p.)**. Väärät alkuaineet vähentävät pisteitä -0,25 p kuitenkin niin, että vastauksen kokonaispisteet eivät voi mennä miinukselle.
2. Mikä / mitkä alkuaineet järivedessä eivät ole kuvan 6 perusteella (pelkästään) kaivosalueelta peräisin? Perustele vastauksesi. (1,5 pistettä)

Tarkoitettujen aineiden (**K ja/tai As**) nimeämisestä annetaan 0,5 p. Mikäli valinta sisältää kyseisten aineiden ohella myös muita, annetaan 0,25 p. Perustelusta annetaan 1 piste perustelun ymmärrettävyyden ja oikeellisuuden perusteella riippumatta aineista, joiden valintaa perustellaan. Perustelun pohjana oltava:

- **Ojaveden ja järiveden pitoisuuksien vertailu** siten, että mikäli **järvivedessä on ojavettä enemmän** / sama määrä jotakin ainetta, on sen selvästi tultava myös muualta, kuin vain kaivosalueelta.

Mikäli perustelun systematiikka on oikea, mutta kuvaa on tulkittu väärin tai perustelu on muuten lopputuloksessaan virheellinen / epäjohdonmukainen, annetaan perustelusta 0,25–0,5 p. esimerkiksi:

- Mikäli ojavettä ja kosteikkoalueen vettä vertaillaan keskenään, saa pisteistä vain osan, sillä tehtävässä kysyttiin nimenomaisesti järiveden kompositiosta.
- Mikäli perustelu ja lopputulema on virheellinen, mutta vastauksessa osoitetaan selväsanaisesti annetun materiaalin ja prosessin ymmärtämistä, saa osan perustelun pisteistä.

Esimerkkejä vääristä perusteluista:

- Aineet a ja b koska niiden pitoisuudet ovat korkeimmat / matalimmat.
- Aineet a ja b koska Pyhäsalmen kallioperän mineraalit eivät sisällä näitä aineita tau-lukon 2 mukaan.

3. Valitse kuvan 6 perusteella 2–4 mielestäsi metsäojaan huonoiten pidättyvää alkua-
nnetta, ja perustele valintasi? (1,5 pistettä)

2–4 tarkoitettujen aineiden (**Cr, Pb, Fe, Ca, Mg**) nimeämisestä annetaan 0,5 p. Mikäli valinta sisältää vain yhden aineen tai kyseisten aineiden ohella myös muita, annetaan 0,25 pistettä. Perustelusta annetaan 1 piste perustelun ymmärrettävyyden ja oikeellisuuden perusteella riippumatta aineista, joiden valintaa perustellaan. Perustelun pohjana oltava:

- **Ojaveden ja kosteikkoalueen pitoisuuksien vertailu** siten, että mitä vähemmän aineen pitoisuus on pienentynyt ojavedestä kosteikkoon mentäessä (eli **mitä pie-nempi ojan ja kosteikon välinen ero on**), sitä huonommin aineen voidaan olettaa pidättyneen ojaveden pohjasedimenttiin.

Mikäli perustelun systematiikka on selvästi oikea mutta kuvaa on tulkittu väärin tai perustelu on muuten lopputuloksessaan virheellinen / epäjohdonmukainen, annetaan perustelusta 0,25–0,5 p.:

- Mikäli päädytään aineisiin, joiden määrä on kasvanut kosteikkoon mentäessä (K, As, V), saa vain osan pisteistä. Jos aineen pitoisuus kosteikkoalueella on korkeampi kuin ojavedessä, on ainetta tultava kosteikkoon myös muusta lähteestä, eikä tällöin voida tehdä päätelmiä ojan pidätyskyvystä.
- Mikäli vastauksen lopputulema on virheellinen, mutta vastauksessa osoitetaan selväsanaisesti annetun materiaalin ja prosessin ymmärtämistä, saa osan perustelun pisteistä.

- Mikäli ojavettä ja järvivettä vertaillaan keskenään, ei perustelusta saa pisteitä, sillä tällöin ei huomioida järvivedessä joka tapauksessa tapahtuvaa laimenemista, eikä voida eritellä kosteikkoalueen ja ojan pidätyskykyjä toisistaan.

Esimerkkejä vääristä perusteluista:

- Aineet a ja b koska niiden pitoisuudet ovat korkeimmat / matalimmat (ojavedessä / kosteikossa / järvivedessä).
- Aineet a ja b koska ne ovat myrkyllisiä vesiekosysteemeille.