

Geotieteiden valintakoe

1.6.2021 klo 15.00-18.00

Lue huolellisesti kaikki ohjeet läpi

Koe koostuu 2 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, valintakoejärjestelmän laskin sekä erillinen aineistotiedosto. Voit luonnostella vastauksiasi ruutupaperille. Ruutupaperille tekemiäsi merkintöjä ei huomioida arvostelussa.

Valintakokeen arviointi

Valintakoe (enimmäispistemäärä yhteensä 30 p) sisältää kaksi osaa. Valintakokeen ensimmäinen osa (tehtävä 1, 10 p) on karsiva tehtävä, josta saamiensa pisteiden perusteella hakijat asetetaan paremmuusjärjestykseen. Neljäkymmentäviisi (45) osasta parhaat pisteet saavuttanutta hakijaa etenee osan 2 arviointiin. Hakijat asetetaan lopulliseen valintajärjestykseen osan 2 yhteispisteiden perusteella (enintään 20 p).

Osa 1, tehtävä 1

Osassa 1 on kaksikymmentä monivalintakysymystä, joihin kaikkiin on neljä vastausvaihtoehtoa. Jokaiseen kysymykseen on vain yksi oikea vastausvaihtoehto, kolme muuta ovat väärä. Voit valita vain yhden vaihtoehdon. Vastausvaihtoehdot ovat satunnaisessa järjestyksessä.

Osa 1 on karsiva. Neljäkymmentäviisi (45) osasta parhaat pisteet saavuttanutta hakijaa etenee osan 2 arviointiin.

Tehtävä 1: monivalintakysymykset

Tehtävän 1 pisteytys:

Oikea vastaus: +0,5 pistettä

Väärä vastaus: -0,25 pistettä

Vastaamatta jätetty kysymys: 0 pistettä

Kysymys 1.1:

Alkuaineen X atomilla on järjestysluku (Z) 54 ja massaluku (A) 129, alkuaineen Y atomilla on järjestysluku 54 ja massaluku 133. Mikä seuraavista väittämähdistelmistä pitää paikkansa?

Vastausvaihtoehdot:

- a) **Alkuaineen X atomilla on ytimessään 54 protonia, alkuaineen Y atomilla on ytimessään 79 neutronia ja alkuaineet X ja Y ovat sama alkuaine.**
- b) Eri alkuaineiden atomeilla voi olla sama järjestysluku, alkuaineen X atomilla on 129 nuklidia ja alkuaineen Y atomilla on ytimessään 27 neutronia.
- c) Alkuaineen X atomilla on ytimessään 54 protonia ja 129 nuklidia ja alkuaineella Y on ytimessään 27 neutronia.
- d) Eri alkuaineiden atomeilla voi olla sama massaluku, alkuaineet X ja Y ovat eri alkuaine ja alkuaineella Y on ytimessään 79 neutronia.

Kysymys 1.2:

Oheiseen alkuaineiden jaksolliseen järjestelmään on korostettu kolme alkuainetta (10, 53 ja 54). Mikä seuraavista väittämistä pitää paikkansa?

1																	2
3	4											5	6	7	8	9	10
11	12											13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	*	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
87	88	**	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118

*	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
**	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

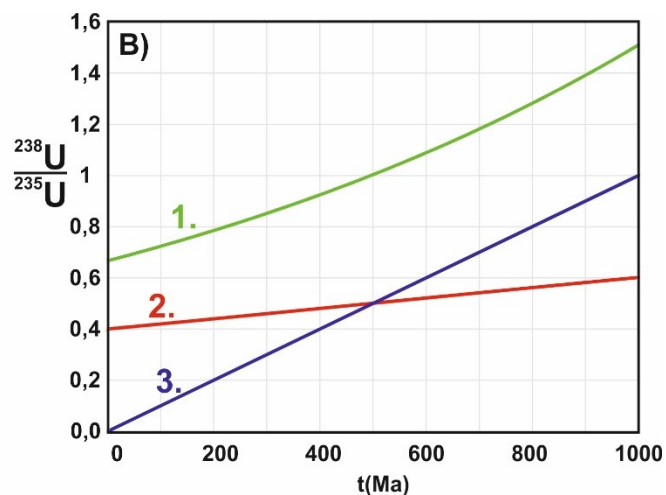
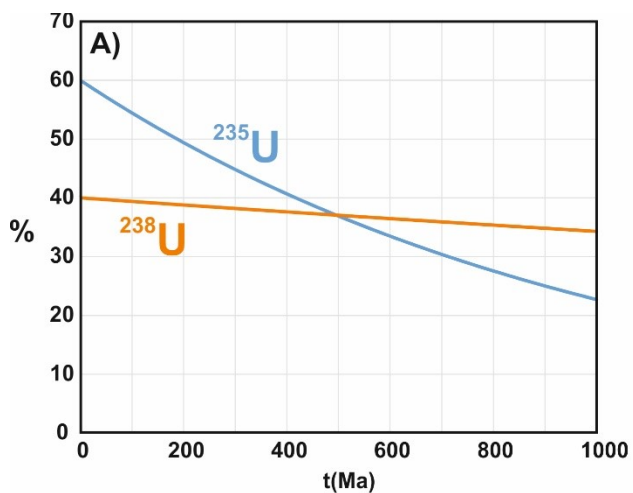
KUVA 1.2.

Vastausvaihtoehdot:

- a) Alkuaineet 10 ja 54 ovat kemiallisesti samankaltaisia, koska niiden atomien uloimpien elektronikuorten rakenteet ovat samankaltaiset.
- b) Alkuaineet 53 ja 54 ovat kemiallisesti samankaltaisia, koska niiden atomien uloimpien elektronikuorten rakenteet ovat samankaltaiset.
- c) Alkuaineet 10, 53 ja 54 ovat alkalimetalleja.
- d) Alkuaineet 53 ja 54 ovat jalokaasuja.

Kysymys 1.3

Uraani-238 isotoopin puoliintumisaika on 4500 miljoonaa vuotta (Ma) ja uraani-235 isotoopin puoliintumisaika 700 miljoonaa vuotta (Ma). Oheisessa kuvassa **A**) on esitetty uraanin radioaktiivisen hajoamisen seurauksena tapahtuva isotooppimäärien kehitys eräässä systeemissä miljardin vuoden aikana suhteessa lähtötilanteeseen (100 %). Lähtötilanteessa (t_0) uraanin isotooppikoostumus on 40 % uraani-238:aa ja 60 % uraani-235:tä. Mikä oheisessa kuvassa **B**) esitetyistä käyristä kuvaa kuvassa A) esitetyn tilanteen uraani-238/uraani-235 isotooppisuhteen kehitystä?



KUVA 1.3

Vastausvaihtoehdot:

- a) 1.
- b) 2.
- c) 3.
- d) Ei mikään käyristä 1, 2 tai 3.

Kysymys 1.4:

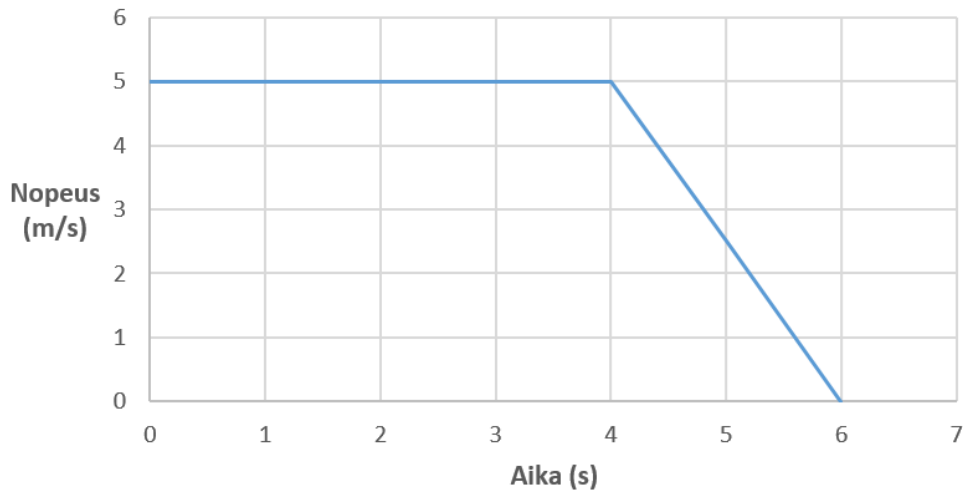
Newtonin gravitaatiolain mukaan kahden kappaleen (A ja B) välinen vetovoima F , voidaan laskea kaavasta $F = G(m_A m_B) / r^2$, jossa m_A = kappaleen A massa, m_B = kappaleen B massa, r = kappaleiden A ja B välinen etäisyys ja G = gravitaatiovakio ($6,67430 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$). Millä seuraavista muuttujien yhdistelmistä kappaleiden A ja B välinen vetovoima on suurin?

Vastausvaihtoehdot:

- a) $m_A = 10 \text{ kg}$, $m_B = 5 \text{ kg}$, $r = 20 \text{ m}$
- b) $m_A = 5 \text{ kg}$, $m_B = 10 \text{ kg}$, $r = 20 \text{ m}$
- c) $m_A = 100 \text{ kg}$, $m_B = 2,5 \text{ kg}$, $r = 25 \text{ m}$
- d) $m_A = 10 \text{ kg}$, $m_B = 5 \text{ kg}$, $r = 10 \text{ m}$

Kysymys 1.5:

Oheisessa kuvassa on esitetty kappaleen A nopeus (v) ajan (t) funktiona. Mikä on kappaleen A kulkema matka (x)?



KUVA 1.5.

Vastausvaihtoehdot:

- a) $x = 25$ m
- b) $x = 30$ m
- c) $x = 100$ m
- d) $x = 250$ m

Kysymys 1.6:

Mantereiset alueet alkoivat peittyä metsäkasvillisuudella noin 350 miljoonaa vuotta (Ma) sitten. Yksi metsäkasvillisuuden leviämisestä seuraava vaikutus, on maapallon albedon muuttuminen. Paljaan maan albedo on 0,4 ja metsän 0,15. Oletetaan, että valtameri peittää 70 % maan pinta-alasta (albedo 0,1) ja mantereet peittävät lopun 30 %. Valitse vaihtoehto joka pitää paikkansa.

Vastausvaihtoehdot:

- a) **Maan absorboima auringon säteily kasvoi n. 7 % paleotsooisella ajalla, n. 350 Ma sitten.**
- b) Maan absorboima auringon säteily kasvoi n. 30 % kambriaudella, n. 350 Ma sitten.

- c) Maan absorboima auringon säteily väheni n. 13 % neogeenikaudella, n. 350 Ma sitten.
- d) Maan absorboima auringon säteily väheni n. 24 %, varhaisproterotsooisella ajalla, n. 350 Ma sitten.

Kysymys 1.7:

Mikä alla mainituista ilmakehämme komponenteista pääasiassa määrittää säätilan vaihteluita.

Vastausvaihtoehdot:

- a) Happi, koska kasvit vapauttavat sitä fotosynteesin aikana. Happi myös sitoo UV-säteilyä stratosfäärissä ja siten lämmittää ilmakehää.
- b) Typpi, koska se yhdistyy ukonilmalla hapen kanssa muodostaen typpioksidia eli typpimonoksidia.
- c) Vesihöyry, koska se haihtuu valtameristä ja tiivistyy ilmakehässä toimien lämmön siirtäjänä eri leveysasteiden välillä.**
- d) Hiilidioksidi, koska sillä on kasvihuonekaasuna selkeästi ilmastoa lämmittävä vaikutus.

Kysymys 1.8:

Valitse seuraavista väittämistä se, joka pitää paikkansa.

- a) Rapautuminen on tärkein maapallolla vaikuttava eroosiovoima.
- b) Rakkakivikot ovat merkittävä eroosimuodostelma.
- c) Kalkkikivialueilla olevat tippukiviluolat ja karstimaat edustavat fyysikaalisen rapautumisen lopputuotteita.
- d) Veden sisältämät heikot hapot, kuten hiilihappo ovat tärkeitä tekijöitä kemiallisessa rapautumisessa.**

Kysymys 1.9:

Virtaava vesi muovaa maanpintaa jatkuvasti. Virtaus alkaa yleensä pintavirtauksena, mutta hyvin nopeasti vesi ohjautuu puroihin ja jokiin. Joen kompetenssi kuvaa sitä, kuinka isoja/painavia partikkeleita joki kykenee kuljettamaan suspensiossa. Kompetenssi on

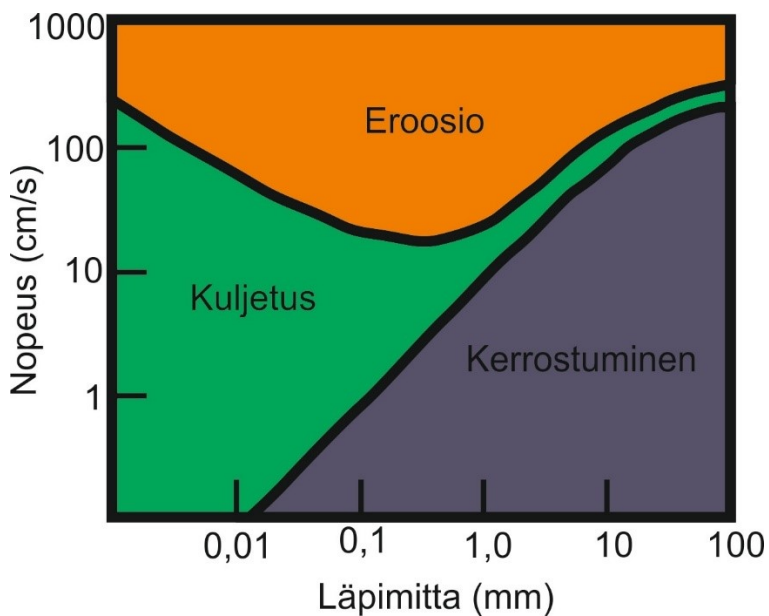
riippuvainen virran nopeudesta. Myös joen kyky erodoita alustaansa riippuu virran nopeudesta, mutta myös alustan raekoosta.

Oheisessa taulukossa on esitetty maalajien yksinkertaistettu raekokoluokitus ja kaaviossa kaksi käyrää:

a) ylempi käyrä kuvaa virtauksen miniminopeutta, jotta virta kykenee erodoimaan kyseisen raekoon omaavan sedimentin joen pohjasta.

b) alempi käyrä kuvaa virtauksen miniminopeutta, jotta kyseinen raekoko pysyy virtauksessa suspensiossa.

X-akselilla on kuvattu sedimentin raekoko.



KUVA 1.9.

TAULUKKO 1.9.

Lajite	Rakeiden keskimääräinen läpimitta d (mm)
savi	d < 0,002 mm
siltti	d 0,002–0,063 mm
hiekkä	d 0,063–2 mm
sora	d > 2 mm
moreeni	lajittumaton

Käytä hyväksesi taulukon ja kaavion tietoja ja valitse seuraavista väittämistä se, joka ei pidä paikkaansa.

Vastausvaihtoehdot:

- a) **Sekä soran kerrostuminen että erodoituminen vaatii suuren virtausnopeuden.**
- b) Virran nopeuden kasvaessa hiekka ja hiekkainen sora erodoituvat ja nousevat suspensioon ennen kuin hienolajitteinen savi.
- c) Hieno hiekka on kaikkein eroosioherkin maalajite virtaavassa vedessä. Tämän vuoksi sitä on harvoin virtaavan veden muodostamissa kerrostumissa. Sitä on kuitenkin runsaasti kerrostumissa, joissa virtausnopeus heikkenee nopeasti, esimerkiksi tulvatasangoilla.
- d) Savi ei kerrostu virtaavassa vedessä.

Kysymys 1.10:

Helsingin yliopiston seismologian instituutin ylläpitämä seismometri Hetan seismisellä asemalla (Enontekiö) rekisteröi lokakuussa 2020 maanjäristyksen (oheinen kuva). Maanjäristyksen tapahtuessa maankuoressa järistyspaikalta leviää useantyyppisiä seismisiä aaltoja. Aaltoliikkeet voidaan jakaa ns pitkittäisaalloiksi (P-aallot), poikittäisaalloiksi (S-aallot) sekä pinta-aalloiksi. Kokoonpuristuvuus ja tilavuuden muutokset tapahtuvat pitkittäisaallossa aallon etenemissuunnan mukaisesti ja poikittäisaalloissa kohtisuoraan etenemissuuntaan nähden. Aallon etenemisnopeus riippuu väliaineen ominaisuuksista; P-aallon nopeus (V_P) on tyypillisesti 5–8 km/s ja S-aallon nopeus (V_S) on 3,5–4,5 km/s. Aalto taittuu ja heijastuu, mikäli väliaineen tiheys tai viskositeetti muuttuu selvästi. Ensimmäisenä rekisteröintipaikalle tulee P-aalto (primary), jonka jälkeen tulee S-aalto (secondary) ja viimeisenä tulevat pinta-aallot.

Maanjäristyksen etäisyys rekisteröintipaikasta voidaan määrittää P- ja S-aaltojen avulla. Käytännössä paikannuksessa käytetään taulukoituja arvoja seismisille nopeuksille. Maanjäristyksen sijaintipaikka voidaan määrittää, mikäli tunnetaan etäisyys kolmesta pisteestä.

Maanjäristyksen etäisyyden määrittäminen havaintopaikasta:

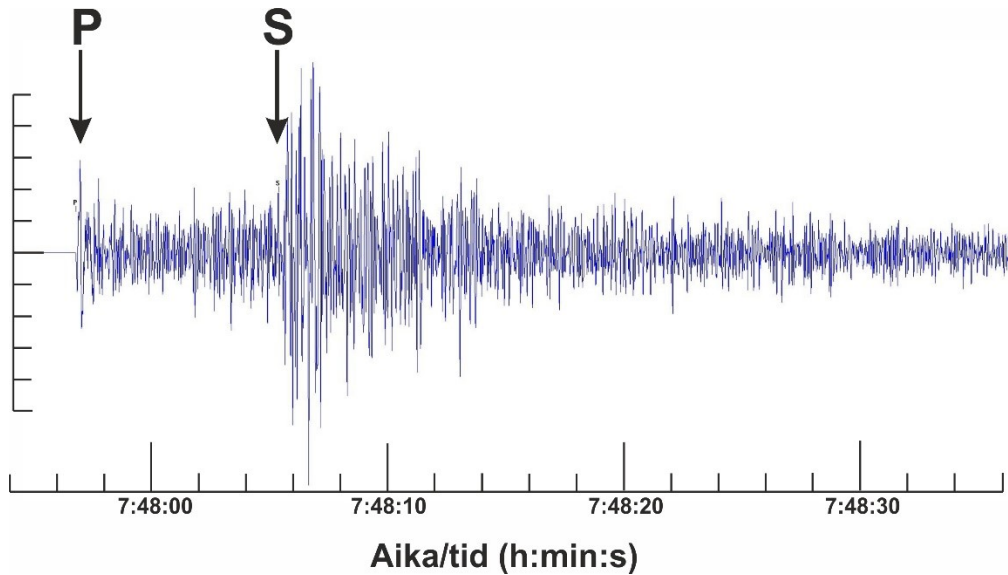
x = järistyksen ja havaintopisteen välinen matka (km)

P-aallon kuluaika $t_P = x/V_P$ (s)

S-aallon kulku-aika $t_S = x/V_S$ (s)

P- ja S-aaltojen kulku-aikojen erotus:

$$\Delta T = t_S - t_P = x/V_S - x/V_P = x(1/V_S - 1/V_P) \text{ (s)}$$



KUVA 1.10.

Missä maanjäristys tapahtui (oleta P-aallon nopeudeksi 6,5 km/s ja S-aallon nopeudeksi 4,0 km/s)?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Japanin itärannikolla tai San Andreas siirroksella USA:n länsiosassa.
- b) Algeriassa, lähellä Magran kaupunkia.
- c) Enontekiöllä Suomessa.**
- d) Perugiassa Keski-Italiassa.

Kysymys 1.11:

Millaisia olivat vanhimmat tunnetut eliöt maapallolla?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Valtamerissä eläneitä leviä.

- b) **Tumattomia bakteereja.**
- c) Valtamerissä eläneitä niveljalkaisia.
- d) Maalla eläneitä yksisoluisia sienieläimiä.

Kysymys 1.12:

Mitä "kambriikauden räjähdys" tarkoittaa?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Suurta meteoriittitörmäystä kambriikaudella.
- b) **Elämän monimuotoisuuden nopeaa lisääntymistä elämän alkuaikojen lopulla.**
- c) Hapellisen ilmakehän syntymistä maapallolle.
- d) Elämän leviämistä meristä mantereille.

Kysymys 1.13:

Mikä seuraavista väitteistä pitää paikkansa?

Vastausvaihtoehdot:

- a) **Maapallo on noin 4600 miljoonaa vuotta vanha.**
- b) Olet syntynyt mesotsooisella maailmankaudella.
- c) Matelijat hallitsivat maailmaa kenotsooisien maailmankauden lopulla.
- d) Prekambrin merikerrostumia luonnehtivat kovakuoristen selkärangattomien fossiilit.

Kysymys 1.14:

Kuinka nykyihminen kehittyi?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Evoluution kautta neandertalin ihmisestä.
- b) Ensimmäinen Euroopassa ja levisi sieltä Afrikkaan.
- c) **Kehitys alkoi Afrikassa siellä olleista varhaisen ihmisen populaatioista.**
- d) 65 000 vuotta sitten tapahtuneen joukkosukupuuton jälkeen.

Kysymys 1.15:

Kuinka lintujen evoluutio alkoi?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Nisäkkäiden eturaajojen kehittyessä siiviksi.
- b) Eläinten muuttuessa vaihtolämpöiseksi.
- c) Puissa eläneistä pienistä dinosauksista.**
- d) Joukkosukupuuton seurauksena.

Kysymys 1.16:

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus oli vuonna 1960 Mauna Loalla, Havaijilla tehdyissä mittauksissa 317 ppm (miljoonasosaa) ja 415 ppm vuonna 2021. Kuinka monta prosenttia hiilidioksidipitoisuus on kasvanut vuodesta 1960 vuoteen 2021?

Vastausvaihtoehdot:

- a) 40 %
- b) 31 %**
- c) 24 %
- d) 7 %

Kysymys 1.17:

Mauna Loalla, Havaijilla tehtyjen ilmakehän CO₂ -pitoisuusmittausten (vuosittainen keskiarvo) ja pitoisuuden vuosittaisen kasvun mittausdata on esitetty oheisessa taulukossa.

TAULUKKO 1.17.

Vuosi	Vuosittainen CO₂ -pitoisuuden keskiarvo, ppm	Vuosittainen CO₂ -pitoisuuden kasvu, ppm
2011	391,85	1,92
2012	394,06	2,65
2013	396,74	1,99
2014	398,87	2,22
2015	401,01	2,90
2016	404,41	3,03
2017	406,76	1,92
2018	408,72	2,88
2019	411,66	2,48

Mitä seuraavista voidaan päätellä mittausdatan perusteella?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Hiilidioksidin määrä ilmakehässä ei ole jatkuvassa nousussa.
- b) Hiilidioksidin pitoisuuden kasvussa ei ole vuosittaista globaalia vaihtelevuutta.
- c) Hiilidioksidin määrän kasvu on jatkunut päästöjen rajoitustoimista huolimatta.**
- d) Hiilidioksidin määrä laskee joidenkin vuosien välillä.

Kysymys 1.18:

Mitkä ovat harjun tuntomerkkejä?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Veden lajittelemat kerrokset.**
- b) Karkean aineksen, kuten soran rosoisuus.

- c) Moreenipeitteisyys jäätikön alla syntyneessä harjussa.
- d) Pitkänomaiset, usein kallioytimen taakse kerrostuneet selänteet.

Kysymys 1.19:

Mikä seuraavista väittämistä pitää paikkansa?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Jääkausien jaksoja on ollut aina Maapallon geologisessa historiassa.**
- b) Jääkausien syntyyn ei vaikuta maapallon kiertoradan muutos vaan auringon oma aktiivisuus.
- c) Jääkausien merkkejä ovat mm. silokalliot, harjujaksot ja jäännösvuoret.
- d) Jääkausien aikaiset mannerjäätiköt synnyttivät edustalleen hiidenkimuja.

Kysymys 1.20:

Mikä seuraavista väittämistä pitää paikkansa?

Vastausvaihtoehdot:

- a) Rapautuminen esiintyy aavikoilla kemiallisena rapautumisena johtuen suurista lämpötilaeroista.
- b) Rapautuminen voi olla kemiallista tai fysikaalista tai näiden yhdistelmä.**
- c) Rapautuminen synnyttää kemiallisena rapautumisena karstimaita jopa kulutusta kestäväälle kiteiselle kallioperälle.
- d) Fysikaalinen rapautuminen on nopeinta syvemmillä maan pinnasta.

Osa 2, tehtävä 2

Tutustu oheisessa PDF-tiedostossa olevaan aineistoon ja vastaa sen perusteella osan 2 kysymyksiin.

Pisteytys:

Tehtävä 2.A (maks. 5 pistettä)

Tehtävä 2.B (maks. 5 pistettä)

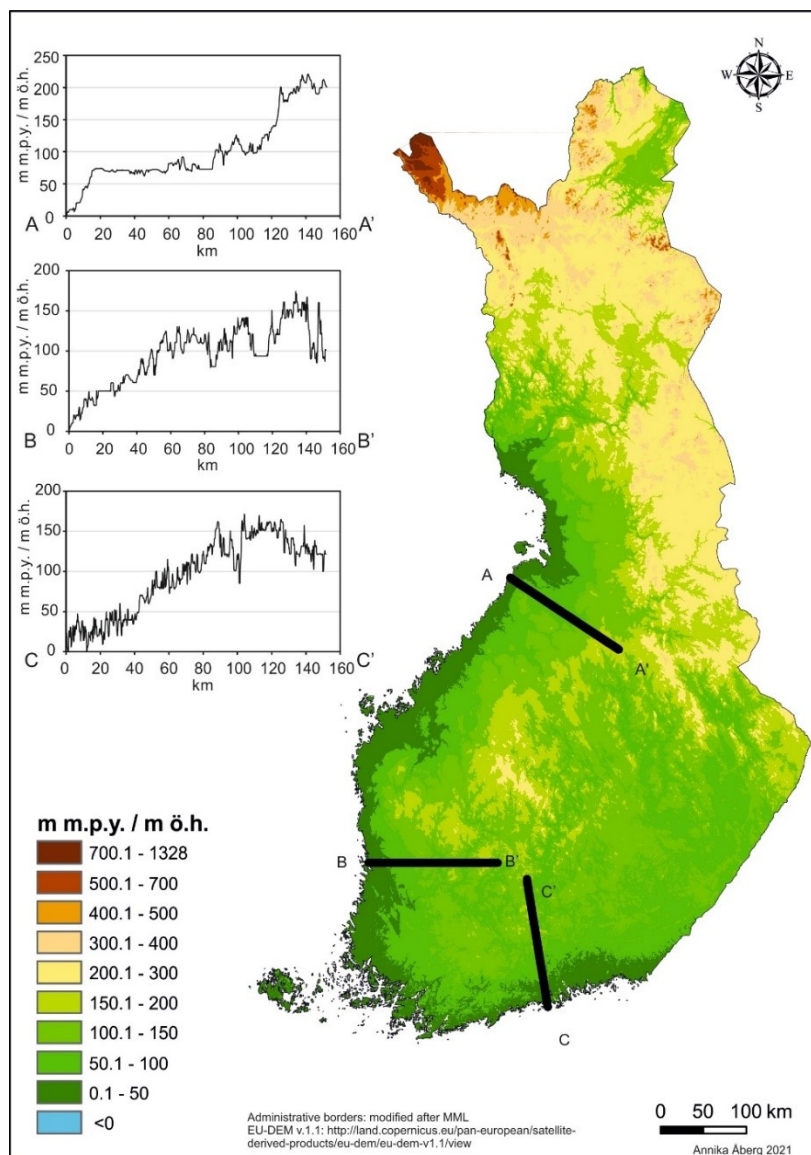
Tehtävä 2.A

Oheisessa kuvassa on esitetty Suomen korkeusvyöhykkeet sekä kolme erillistä korkeusprofiilia.

Millä etäisyydellä nykyisestä rantaviivasta kullakin korkeusprofiilin alueella (A, B, ja C) happamat sulfaattimaat ovat todennäköisiä? Perustele vastauksesi. (3 p)

Miksi happamat sulfaattimaat ovat iso ongelma nimenomaan Suomen länsirannikolla? Perustele vastauksesi. (2 p)

(Vastauksen pituus max 2000 merkkiä)



KUVA 2A.

Tehtävä 2.B

Pohdi peltojen ojituksen ympäristövaikutuksia vesistöihin happamien sulfaattimaiden riskialueilla. Kerro myös, miten näitä ympäristövaikutuksia voitaisiin ehkäistä tai korjata.

(Vastauksen pituus max 2000 merkkiä)

Osa 2, tehtävä 3

Tutustu oheisessa PDF-tiedostossa olevaan aineistoon ja vastaa sen perusteella osan 2 kysymyksiin.

Pisteytys:

Tehtävä 3.A (maks. 3 pistettä)

Tehtävä 3.B (maks. 7 pistettä)

Tehtävä 3.A

Oheisessa kuvassa näkyy rikkipitoisten maakerrosten kuivatuksen seurauksena muodostunut hapan sulfaattimaa -profiili peltomaassa.

Ilmoita viiden cm tarkkuudella a) pohjavedenpinnan taso, b) todellisen happaman sulfaattimaan ylä- ja alapinta ja c) potentiaalisen happaman sulfaattimaan ylä- ja alapinta. Perustele vastauksesi lyhyesti. (Vastauksen pituus max 2000 merkkiä)



KUVA 3A.

Markku Yli-Halla

Tehtävä 3.B

Tunnista ja nimeä oheisen taulukon arvojen perusteella kaksi aluetta A ja B, joilla voidaan happaman kuormituksen riski arvioida suurella todennäköisyydellä merkittäväksi sekä yksi alue C, jolla mahdollinen kuormitusriski voidaan arvioida kohtalaiseksi. Laske näille alueille A, B ja C kalkitustarve käyttäen neutraloimismassana kalsiumkarbonaattia (CaCO_3 ; $M = 100 \text{ g/mol}$). Oleta, että neutraloitavan maaperän tiheys, $\rho = 1 \text{ tonni/m}^3$ ja että happaman sulfaattimaakerroksen paksuus on 1 m. Tunnista ja nimeä lisäksi yksi kohde D, joka ei täytä happaman sulfaattimaan tunnuspiirteitä, eikä aiheuta happaman kuormituksen riskiä. Perustele valintasi A–D lyhyesti. (Vastauksen pituus max 2000 merkkiä)

TAULUKKO 3B.

Sedimenttimaan asiditeetti ja pH inkuboinnin jälkeen				
Alue	Näyte- profiilien lukumäärä	pH (vk 16), mediaani	Asiditeetti, mmol/kg	Rikkipitoisuus, mediaani %
Arpela	4	2,6	481	1,17
Järvineva	3	2,3	251	1,14
Karjoneva	4	2,5	178	0,79
Suksiaapa	3	3,2	155	0,55
Leväjänkkä	2	3,6	48	0,53
Jakosuo	5	3,4	11	0,03
Kuurnasuo	4	4,6	15	0,12
Hangassuo	5	3,0	226	0,67
Hautasuo	7	3,5	50	0,1
Hakasuo	7	3,1	60	0,09
Märssynneva	3	3,4	20	0,11
Kuuhkamonneva	4	3,2	54	0,18
Puuroneva	5	2,8	61	0,15
Laukkuvuoma	5	3,5	53	0,17
Ahmaneva	2	3,5	19	0,03
Heinineva	3	3,4	29	0,07

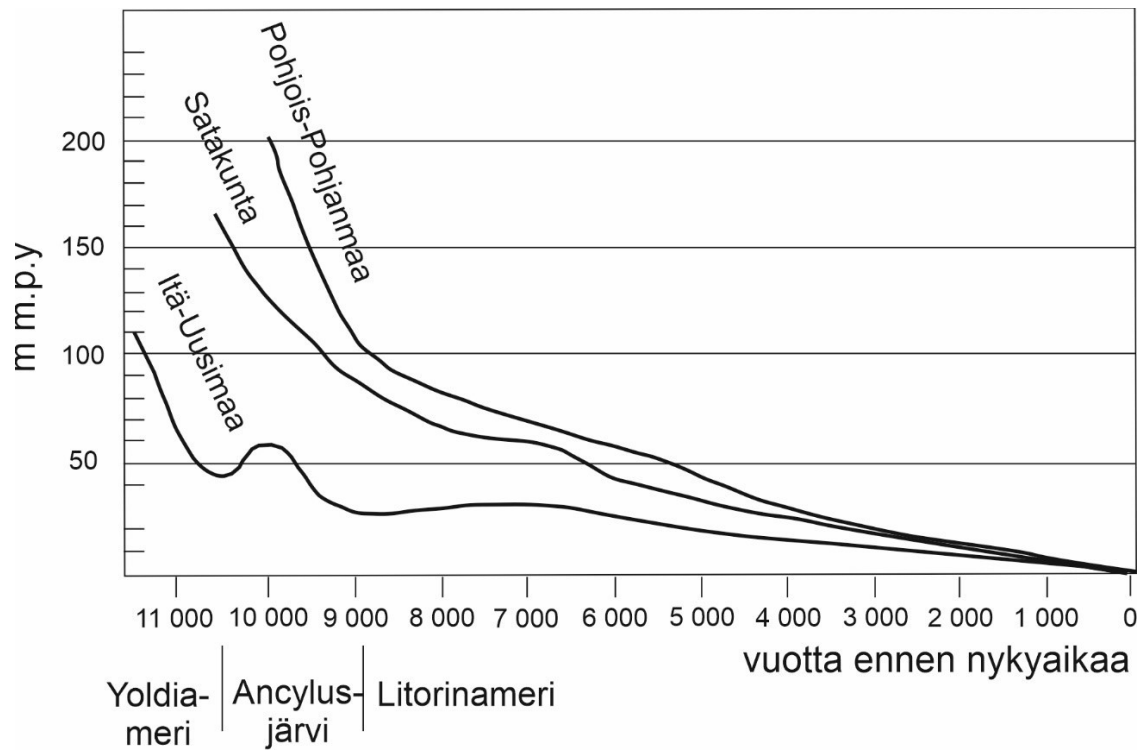
Lähde: Suomen ympäristökeskus

Aineisto

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

Itämeren vaiheet

Viimeisen jäätiköitymisen aikana Skandinavian mannerjäätikön paino aiheutti maankuoren painumisen. Jäätikön sulettua maankuori palautuu hitaasti, mitä kutsutaan glasioisostaattiseksi maankohoamiseksi. Suomessa maankohoaminen on ollut ja on edelleen suurinta Merenkurkun ja Perämeren alueella. Samaan aikaan maankohoamisen kanssa sulavilta mannerjäätiköiltä valui huomattavia määriä sulamisvesiä ja globaali valtameren pinta nousi. Nämä kaikki tekijät yhdessä ovat vaikuttaneet nykyisen Itämeren altaan historiaan (kuva 1). Jäätikön reunan ollessa Salpausselällä, eteläisen Suomen alue oli Baltian jääjärven alla. Jäätikön sulamisen jatkuessa ja keskilämpötilan noustessa avautui Keski-Ruotsista meriyhteys Atlanttiiin, syntyi Yoldiameri. Baltian jääjärven sekä Yoldiameren sedimenttien orgaanisen aineksen pitoisuus on hyvin matala. Maan edelleen kohottua meriyhteys hävisi ja suuri osa eteläisestä ja läntisestä Suomesta oli makeavetisen Ancylysjärven alla. Lämpötila oli jo kohonnut jääkauden lämpötiloista selvästi ja kasvillisuus levisi hitaasti vastapaljastuneelle maalle. Ancylysjärven kerrostuneiden sedimenttien orgaanisen aineksen pitoisuus onkin jo selvästi korkeampi kuin aiemmin kerrostuneiden sedimenttien. Ancylysjärven tuli kuitenkin vielä jäätikön viimeisiä sulavesiä ja metsät olivat vasta levittäytymässä Suomeen, mikä hillitsi vesistöihin valuvan orgaanisen aineksen määrää. Ancylysjärven sedimenteissä tavataan paikka paikoin tummia raitoja. Globaalin merenpinnan edelleen kohotessa syntyi Tanskan kautta jälleen meriyhteys. Tätä vaihetta kutsutaan Litorinameriksi. Litorinameri vaihtui nykyiseksi Itämereksi maan kohotessa. Litorina-merivaiheen aikana Suomen alue on kokenut jääkauden jälkeisen lämpömaksimin, jonka aikana kasvillisuus levisi voimakkaasti ja kasvillisuusvyöhykkeet olivat selvästi nykyistä pohjoisempina.



Kuva 1. Kuvassa on esitetty kolme rannansiirtymiskäyrää: Pohjois-Pohjanmaalta, Satakunnasta sekä Itä-Uudeltamaalta. Rannansiirtymiskäyrä kuvaa, millä korkeudella (m m.p.y.) muinainen rantaviiva on kyseisellä alueella nykyään. Mukailten Taipale ja Saarnisto 1991.

Happamat sulfaattimaat ja niiden aiheuttama ympäristöriski

Runsas ravinteiden (etenkin fosforin ja typen) valuminen vesistöihin aiheuttaa rehevöitymistä sekä Itämeressä että järvissä. Itämeri on luonnostaan herkästi rehevöityvä johtuen meren mataluudesta, muodosta, pienestä vesitilavuudesta sekä hitaasta veden vaihtuvuudesta. Rehevöityminen lisää vesistöissä levien määrää, mikä kuluttaa suuren osan vedessä olevasta hapesta ja seuraa happikato. Happikato ei ole vain Itämeren syvimpien pohjien ongelma. Sitä esiintyy myös saaristossa niinkin matalalla kuin 10–30 metrin syvyydessä ja jopa aivan matalissa merenlahdissa.

Ihminen on lisännyt ravinteiden kulkeutumista vesistöihin maa- ja metsätalouden, teollisuuden sekä yhdyskuntien jätevesien päästöillä. Happikato voi muodostua vesistöön myös luontaisesti. Tyypillisesti luontaista happikatoa tavataan syvänteissä, joissa vesi ei vaihdu sekä matalassa vedessä, jossa vuosittainen hautautuvan orgaanisen aineksen määrä on suuri. Otolliset olosuhteet tällaisen luontaisen hapettoman pohjan alueelle on suojaisilla matalilla rannikkoalueilla, jotka ovat esim. järviruo'on pitkäaikaisia kasvupaikkoja.

Hapettomissa olosuhteissa runsastuvat bakteerit, jotka käyttävät hengitykseensä hapen sijasta sulfaattia. Nämä bakteerit edelleen pelkistävät sulfaatin sulfiitiksi, joka esiintyy vesistöjen pohjasedimenteissä lähinnä rautasulfidina (FeS ja/tai FeS_2). Hapettoman vesistön pohjaan kerrostuvaa rautasulfidia sisältävää sedimenttiä kutsutaan sulfidisaveksi tai sulfidiliejuksi. Mikäli hapettomuus ei ole pysyvä tila vaan satunnaisesti esiintyvä, ilmenee se sedimentissä tummina sulfidiraitoina. Tällaisen sulfidiliejun löytyminen myöhemmin kertoo sedimentin kerrostumishetken happikadosta kyseisellä paikalla.

Mikäli tällainen hapettomassa ympäristössä syntynyt sedimentti altistuu ilmalle/hapelle (esim. maankohoamisen, ojituksen tai pohjaveden pinnan muutosten seurauksena), muodostuu rautasulfidista reaktiossa hapen ja veden kanssa rikkihappoa (H_2SO_4). Rikkihappo liuottaa haitallisia metalleja (mm. Ni, Cd, Co, Cu, U, Zn) ympäristöstään. Hapan metalleista väkevöitynyt vesi kulkeutuu vesistöihin aiheuttaen siellä kalakuolemia sekä muita ekologisia riskejä, estää maanviljelyn osalla maista sekä vaikuttaa alueelle mahdollisesti rakennettavien elementtien korroosiokestävyyteen.

Rikkipitoiset sedimentit ovat tyypillisesti kerrostuneet meren pohjalle. Niiden muodostuminen alkoi muinaisen Litorina-merivaiheen aikana 9000 vuotta sitten, ja niitä muodostuu yhä tänäkin päivänä. Suomessa niitä esiintyy pääosin Litorinameren alkuvaiheen aikana (8500–4500 vuotta sitten) kerrostuneissa sedimenttikerrostumissa, jolloin keskimääräinen kesälämpötila oli n. kaksi astetta nykyistä lämpimämpi.

Tyypillisimpiä sulfidipitoisten sedimenttien kerrostumisympäristöjä ovat merenpohjan sedimentaatioalueet, jokisuistot ja matalat merenlahdet:

- runsas biotuotanto johtaa veden rehevöitymiseen
- merenpohjan hapettomuus ja anaerobinen mikrobitoiminta
- meriveden sulfaatit pelkistyvät sulfideiksi
- sulfidit reagoivat raudan kanssa muodostaen rautasulfideja
- rautasulfidit saostuvat sedimentteihin ja muodostuu sulfidisavia.

Happamalla sulfaattimaalla tarkoitetaan sulfidirikipitoista (yleensä $S > 0,2 \%$) maaperää, jossa pH on sulfidien hapettumisen seurauksena pudonnut < 4 . Hapettumaton, pohjavedenpinnan alapuolinen sulfidikerros ei aiheuta haittaa ympäristölle, vaan pysyy muuttumattomana pH:n ollessa yleensä 6–7.

Todellisen happaman sulfaattimaan (THS) tärkein tunnusmerkki on maakerros, joka on happamoitunut sulfidien hapettumisen seurauksena. Tämän maakerroksen pH on < 4 , jopa < 3 . Kerrostumassa on myös punaisen- tai oranssinruskeita rautasaostumia (rauta- ja alumiinisulfaatteja kuten schwertmanniittia ja varsinkin vaaleankeltaista jarosiittia).

Potentiaalisella happamalla sulfaattimaalla (PHS) tarkoitetaan maaperää, jossa esiintyy sulfidirikipitoinen materiaali, ja joka voi muuttua todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi sulfidien hapettuessa. Potentiaalinen hapan sulfaattimaa sijaitsee hapettomassa tilassa pohjavedenpinnan alapuolella ja on yleensä liejupitoista savea tai silttiä. Väriltään maa on usein musta, sinisenmusta tai tummanharmaa, koska siinä esiintyy rikkiä rikkikiisun (FeS_2) ohella monosulfidina (FeS). Sulfidirikipitoinen materiaali voi pysyä maaperässä hapettomassa tilassa pohjavedenpinnan alapuolella ja hapettua sekä happamoitua pohjavedenpinnan laskiessa esimerkiksi maaperän kuivatustyön seurauksena.

Sulfaattimaiden esiintymisen ja ominaisuuksien kartoittaminen on tärkeää ehkäistäessä sulfaattimaiden aiheuttamia haittoja erityisesti voimakkaan maankäytön alueilla, kuten rannikkojen kaupungeissa ja Pohjanmaan pelto- ja turvetuotantoalueilla. Happaman sulfaattimaan riskinarvioinnissa käytetään mm seuraavia tutkimusmenetelmiä: maastossa mitattava maaperän (ja ojaveden) pH, sedimentin väri, haju sekä laboratoriossa määritettävät kokonaisrikkipitoisuus ($_{tot}S$), pH-inkubaatioarvo ja sen avulla määritettävä asiditeetti.

Happaman sulfaattimaan pääpiirteitä ovat:

- Maaperän pH on yleensä $> 6,0$ ja laskee inkubaatiossa < 4 .
- Väri on (rautasulfideista johtuen) musta tai tumman harmaa, erityisesti hienorakeisissa maalajeissa. Karkearakeisissa kerroksissa sulfidien olemassaoloa on usein vaikea arvioida värin perusteella.
- Rikki on sulfidimuodossa (FeS ja/tai FeS_2).
- Rikin haju on usein selvästi aistittavissa.
- Hienorakeisissa maalajeissa ja liejuissa rikkipitoisuus on yleensä korkeampi ($> 0,2 \%$) kuin karkearakeisissa maalajeissa, joissa rikkipitoisuus voi olla vain $0,01 \%$.

Rikkipitoisuus ja pH-inkubaatio

Tärkein yksittäinen happamien sulfaattimaiden tutkimuksissa näytteistä tehtävä analyysi on pH-inkubaatio, jonka perusteella voidaan tunnistaa sulfaattimaa ja arvioida sekä ennustaa maaperässä tapahtuvaa happamoitumista (Creeper et al. 2012). Inkubaatio vastaa kutakuinkin maaperässä luonnossa hapettumisen aikana tapahtuvaa pH-muutosta, ottaen huomioon maaperän luonnollisen puskurikyvyn. Inkubaation perusteella ei kuitenkaan voida arvioida suoraan maaperästä lähtevän happamuuskuormituksen määrää.

Inkubaatiossa maaperänäytteiden annetaan hapettua huoneilmassa 9–19 viikon ajan. Inkubaatio voidaan tehdä löyhästi suljetuissa muovipusseissa tai muovirasioissa. Näytteet tulee pitää inkubaation ajan ”luonnonkosteina” lisäämällä niihin tarvittaessa deionisoitua vettä. Näytteen pH mitataan alkutilanteessa ja hapetusjakson jälkeen. Inkubaation kesto on joko: i) Kunnes pH on <4 ja pudotusta on tapahtunut vähintään 0,5 yksikköä maastossa mitattuun pH-arvoon verrattaessa ja/tai ii) kunnes pH (<4) stabiloituu vähintään yhdeksän viikon ja korkeintaan 19 viikon jälkeen.

Sulfidipitoiset karkearakeiset maalajit (hieta ja hiekka) ja moreenit, joissa on rikkiä alle 0,2 %, aiheuttavat todennäköisesti suhteellisen pientä kuormitusta vastaanottavassa vesistöissä, mikäli pH laskee inkubaatiossa kolmen ja neljän välille, ja laskua on tapahtunut yli yhden yksikön verran ($\Delta\text{pH} >1$).

Mikäli pH laskee inkubaatiossa alle kolmeen, ja pudotusta tapahtuu yli yksikön ($\Delta\text{pH} >1$), voidaan happaman kuormituksen riski arvioida suurella todennäköisyydellä merkittäväksi.

Mikäli hienorakeisessa maassa pH laskee inkubaatiossa 3,5–4,0 välille, voidaan mahdollinen kuormitusriski arvioida kohtalaiseksi ja siten alhaisemmaksi, kuin maissa, joissa pH laskee alle 3,5. Matalampi riski perustuu arvioon rikkipitoisuudesta, joka on tyypillisesti tällaisissa hienorakeisissa maissa vain noin 0,2 %. Maltillinen pH:n lasku osoittaa myös, että maaperä pystyy puskuroimaan melko hyvin syntyneen happamuuden.

Asiditeettititraus inkuboidusta näytteestä

Inkuboidusta näytteestä titraamalla määritetty asiditeetti kuvaa sitä todellista happomäärää, joka maaperästä vapautuu sen hapettuessa optimiolosuhteissa tietyn ajan. Inkuboidun näytteen asiditeettia (mol/kg) voidaan käyttää maaperän neutralointiin tarvittavan kalkkimäärän arvioinnissa (Hadzic et al. 2014).

Neutralointilaskuissa käytettävät kaavat

Neutralointiin tarvittava materiaalmäärä:

$$m_1 = M \cdot a$$

, missä

m_1 = asiditeetin perusteella laskettu neutralointimateriaalitarve [g/kg]

M = neutralointimateriaalin moolimassa [g/mol]

a = asiditeetti [mol/kg]

Neutralointimateriaalin kulutus kuutiometrissä:

$$m_2 = m_1 \cdot \rho$$

, missä

m_2 = neutralointimateriaalitarve kuutiometrissä [kg/m³]

m_1 = asiditeetin perusteella laskettu neutralointimateriaalitarve [g/kg]

ρ = sedimentin tiheys [tonnia/m³]

Neutralointimateriaalin kulutus hehtaarilla:

$$m_3 = m_2 \cdot (k/0,1)$$

, missä

m_3 = neutralointimateriaalitarve hehtaarilla [tonnia/hehtaari]

m_2 = neutralointimateriaalitarve kuutiometrissä [kg/m³]

k = happaman sulfaattimaan syvyys [m]

Viitteet:

Creeper, N., Fitzpatric, R. & Shand, P. 2012. A simplified incubation method using chip-trays as incubation vessels to identify sulphidic materials in acid sulphate soils. Soil use and management. British Society of soil Science, 1- 7.

Hadzic, M., Postila, H., Österholm, P., Nystrand M., Pahkakangas, S., Karppinen, A., Arola, M., Nilivaara-Koskela, R., Häkkinen, K., Saukkoriipi, J., Kunnas, S. ja Ihme, R. 2014. Sulfaattimailla syntyvän happaman kuormituksen ennakointi- ja hallintamenetelmät – SuHE-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2014. 88 s

Taipale, K. ja Saarnisto, M, 1991. Tulivuorista jääkausiin: Suomen maankamaraan kehitys. WSOY, Porvoo, 416 s.

Arviointiperusteet

Tehtävä 2.A (maksimi 5 pistettä)

Aineistotekstissä kerrotaan, että rikkiä sisältävät sedimentit ovat tyypillisesti kerrostuneet meren pohjalle. Niiden muodostuminen alkoi muinaisen Litorina-merivaiheen aikana 9000 vuotta sitten, ja niitä muodostuu yhä nykyisin. Suomessa niitä esiintyy pääosin Litorinameren alkuvaiheen aikana (8500–4500 vuotta sitten) kerrostuneissa sedimenttikerrostumissa. Kuvasta 1 näkee, että Litorinamerta vastaava maanpinnan taso on Itä-Uusimaalla noin 30-25 metriä merenpinnan yläpuolella, Satakunnassa noin 80-40 metriä merenpinnan yläpuolella ja Pohjois-Pohjanmaalla noin 90-50 metriä merenpinnan yläpuolella. Kuvan 2a korkeusprofiileista voi nähdä, vastaava korkeustaso profiilin A kohdalla on noin 100-10 kilometrin päässä rantaviivasta, profiilin B kohdalla noin 50-20 kilometrin päässä rantaviivasta ja profiilin C kohdalla noin 40-30 kilometrin päässä rantaviivasta. Tämä on kolmen pisteen vastaus.

Pisteitä voi myös saada, vaikka ei olisi määrittänyt Litorinameren tasoa kuvan 1 avulla. Jos vastauksessa todetaan, että rikkiä sisältäviä sedimenttejä on kerrostunut niille korkeustasoille ja etäisyyksille, jotka ovat jääkauden jälkeen olleet Itämeren pinnan alapuolella, saa yksi tai kaksi pistettä riippuen vastauksen yksityiskohdista.

Jos vastauksessa ei ole ymmärretty rikkiä sisältävien sedimenttien synnyn yhteyttä maankohoamiseen ja Itämeren historiaan, saa nolla pistettä. Nollan saa myös, jos vastaa rikkiä sisältävien sedimenttien olevan sitä yleisimpiä mitä lähempänä nykyistä rantaviivaa ollaan.

Happamat sulfidimaat ovat suurin ongelma Suomen länsirannikolla, koska siellä maaston topografia on hyvin tasainen ja maasto on alavaa rannikolta kauas sisämaahan. Esimerkiksi profiilin A kohdalla maasto nousee yli 100 metrin tason vasta 90 kilometrin päässä rannikosta. Tästä syystä merenpohjaan kerrostuneita rikkiä sisältäviä sedimenttejä on laajalla alueella Länsi-Suomen rannikkoalueella. Itä-Uudellamaalla profiilin C kohdalla maasto nousee jyrkemmin sisämaahan päin ja rikkiä sisältäviä sedimenttejä on vain kapealla vyöhykkeellä. Tämä on kahden pisteen vastaus.

Tehtävä 2. B (maksimi 5 pistettä)

Mallivastaus:

Ojituksen seurauksena maa-aines tulee vuorovaikutukseen hapellisen ilmakehän kanssa. Usein myös pohjaveden pinta laskee.

Hapettuessaan (reagoidessaan hapen ja veden kanssa) rautasulfidista muodostuu rikkihappoa.

Maa-aineksen pH alenee ja rikkihappo liuottaa haitallisia metalleja ympäristöstä.

Metallipitoinen vesi aiheuttaa ympäristöongelmia mm. kalakuolemia, muita ekologisia riskejä sekä vaikuttaa alueen rakennettavuuteen, etenkin korroosionkestävyyteen.

Haittoja voidaan ehkäistä kartoittamalla riskialueita. Happamoitumisvaikutusta voidaan neutraloida kalkituksella. Mikäli alueella on potentiaalista hapanta sulfaattimaata (PHS), ei ojitusta tulisi suorittaa.

Tehtävä 3.A (maksimi 3 pistettä):

Arviointiperusteet:

a) 1p: pohjaveden pinnan taso on noin 60 cm syvyydessä (hyväksytty oikein perusteltuna 55-65 cm) Perustelu: Pohjaveden pinnan tason erottaa sen alla olevasta muuttumattomasta, tummasta sulfidirikkipitoisesta savimaasta, joka ei ole pohjaveden alla päässyt hapettumaan.

½p: syvyys oikein, perustelu väärin

b) 1p: todellisen happaman sulfaattimaan yläpinta on tasolla 0 cm profiilissa ja alapinta pohjaveden pinnan tasossa 60 cm. Hyväksytty perusteltuna yläpinta 0-15 cm ja alapinta pohjavesipinnan vastauksen mukaisena. Perustelu: Ylimpänä näkyvän muokauskerroksen alla on paksu maakerros, joka on happamoitunut sulfidien hapettumisen seurauksena. Kerroksessa näkyy oranssinruskeita ja ruosteenvärisiä saostumia. Tämä kerros on pohjaveden päällä ja on siksi hapettunut.

½p: vain toinen pinnoista on syvyydeltään oikein, perustelu oikein.

c) 1 p: potentiaalisen happaman sulfaattimaan yläpinta on 60 cm (pohjavedenpinnantas) ja alapinta kuvan profiilin pohjaan saakka. Hyväksyty perusteltuna yläpinta pohjavesipinnan vastauksen mukaisena ja alapinta syvyydellä 75-85 cm. Perustelu: Pohjavedenpinnan alapuolella on potentiaalinen hapan sulfaattimaa. Sen muodostaa musta, tumman harmaa sulfidirikkipitoinen maa, joka voi hapettua, jos joutuu pohjaveden pinnan yläpuolelle, mutta säilyy veden alla muuttumattomana.

½p: vain toinen pinnoista on syvyydeltään oikein, perustelu oikein.

Tehtävä 3.B (maksimi 7 pistettä)

Arviointiperusteet:

Alueiden luokittelu merkittävän ja kohtalaisen riskin kohteisiin tapahtuu inkubaation jälkeisen pH-arvon vertailulla. Arviointi perustuu aineiston kohtien:

*"Mikäli pH laskee inkubaatiossa **alle kolmeen**, ja pudotusta tapahtuu yli yksikön ($\Delta pH > 1$), voidaan happaman kuormituksen riski arvioida **suurella todennäköisyydellä merkittäväksi**.*

Mikäli hienorakeisessa maassa **pH** laskee inkubaatiossa **3,5–4,0** välille, voidaan mahdollinen kuormitusriski arvioida **kohtalaiseksi** ja siten alhaisemmaksi, kuin maissa, joissa pH laskee alle 3,5. Matalampi riski perustuu arvioon rikkipitoisuudesta, joka on tyypillisesti tällaisissa hienorakeisissa maissa vain noin 0,2 %."

perusteella tehtyyn luokitteluun, jonka mukaisesti suurella todennäköisyydellä merkittävän riskin kohteita A ja B (pH<3) ovat Arpela (2,6); Järvineva (2,3); Karjoneva (2,5); Puuroneva (2,8), kohtalaisen riskin kohteita C (pH 3,5–4) ovat Leväjänkkä (3,6); Hautasuo (3,5); Laukkuvuoma (3,5); Ahmaneva (3,5) ja ainoa riskittömäksi luokiteltava kohde D (pH>4) on Kuurnasuo (4,6).

pH-arvolla perusteltu oikea vastaus = 1 p; oikea vastaus = 0,5 p; enintään 4 pistettä.

Kalkitustarpeen laskennassa kullekin kohteelle (A, B ja C) oikeasta vastauksesta, joka on annettu joko $m_1(\text{g/kg}):n$, $m_2(\text{kg/m}^3):n$ tai $m_3(\text{t/ha}):n$ avulla oikeissa yksiköissä saa yhden pisteen. Jos laskujen välivaiheet on merkitty näkyviin ja laskujen periaatteet ovat oikein, mutta tulos väärin, on annettu 0,5 pistettä. Enintään 3 pistettä.

Sedimenttimaan asiditeetti ja pH inkuboinnin jälkeen								
Alue	Näyte- profiilien lukumäärä	pH (vk 16), mediaani	Asiditeetti, mmol/kg	Rikkipitoisuus, mediaani %		m1 (g/kg)	m2 (kg/m3)	m3 (t/ha)
Arpela	4	2,6	481	1,17	A/B	48,1	48,1	481
Järvineva	3	2,3	251	1,14	A/B	25,1	25,1	251
Karjoneva	4	2,5	178	0,79	A/B	17,8	17,8	178
Suksiaapa	3	3,2	155	0,55				
Leväjätkkä	2	3,6	48	0,53	C	4,8	4,8	48
Jakosuo	5	3,4	11	0,03				
Kuurnasuo	4	4,6	15	0,12	D			
Hangassuo	5	3,0	226	0,67				
Hautasuo	7	3,5	50	0,1	C	5,0	5,0	50
Hakasuo	7	3,1	60	0,09				
Märssynneva	3	3,4	20	0,11				
Kuuhkamonneva	4	3,2	54	0,18				
Puuroneva	5	2,8	61	0,15	A/B	6,1	6,1	61
Laukkuvuoma	5	3,5	53	0,17	C	5,3	5,3	53
Ahmaneva	2	3,5	19	0,03	C	1,9	1,9	19
Heinineva	3	3,4	29	0,07				