

MAATEADUSTE OLÜMPIAAD 2026

ÜLESANDED

Vastuste märkimiseks kasuta eraldiseisvat vastuste lehte.

ÜLESANNE 1 – Maasoojusenergia ja põhjaveevool (15p)

Põhja-Eestis soovitakse võrrelda kahte võimalikku lahendust koolimaja kütmiseks maasoojusega:

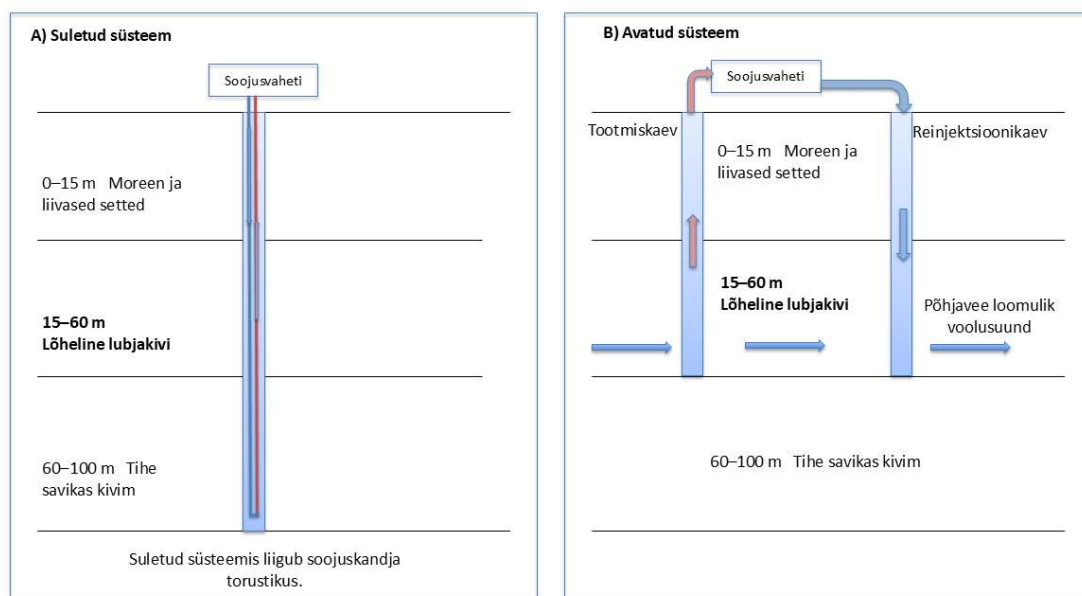
- suletud süsteemiga maasoojuspump, kus soojus võetakse puuraugust U-toruga soojuskande aine abil;
- avatud süsteemiga maasoojuspump, kus soojus võetakse põhjaveest ning jahutatud vesi juhitakse tagasi samasse veekihti.

Uuringualal on järgmine lihtsustatud geoloogiline läbilõige:

- 0–15 m: moreen ja liivased setted
- 15–60 m: lõheline lubjakivi, milles liigub põhjavesi
- 60–100 m: tihe savikas kivim, milles põhjavee liikumine on väga aeglane

Mõõtmised näitasid, et lubjakivis liigub põhjavesi piisavalt hästi, et avatud süsteemi puhul oleks võimalik pumbata 2,5 l/s vett. Põhjavee temperatuur on aastaringselt 7°C. Soojuspumba aurustis jahutatakse vesi 3°C võrra.

Vee tihedus on 1000 kg/m³ ja erisoojus 4200 J/(kg K).



Küsimused:

1.1 Avatud süsteemi soojusvõimsus

Arvuta, kui suur on avatud süsteemi kaudu põhjaveest kättesaadav soojusvõimsus (kW).

1.2 Kooli küttevajadus

Kui koolimaja soojusvajadus talvisel tipptunnil on 28 kW, kas sellest avatud süsteemist piisab hoone kütmiseks? Mitu puuraukude paari on vaja, et enrgiatarve tagada?

1.3 Suletud süsteemi hinnanguline võimsus

Eeldame, et samas piirkonnas annab 100 m sügavune suletud süsteemiga puurauk keskmiselt 45 W ühe puurmeetri kohta. Arvuta, kui suur oleks ühe 100 m suletud süsteemiga puuraugu hinnanguline soojusvõimsus (kW).

1.4 Puuraukude arv

Mitu 100 m suletud süsteemiga puurauku oleks vaja, et katta koolimaja 28 kW soojusvajadus? Vastus ümarda ülespoole täisarvuni.

1.5 Süsteemide võrdlus

Millise süsteemi soojusvõimsus ühe puuraugu kohta on kõrgem ja kui mitu korda?

1.6 Hüdrogeoloogiline sobivus

Selgita lühidalt, miks tuleb ka sellisel juhul hinnata, kas kasutatud vett on võimalik pikaajaliselt ja stabiilselt samasse veekihti tagasi juhtida.

Vasta 2–3 lausega ning arvesta nii hüdraulilisi, keemilisi kui ka süsteemi töökindlusega seotud tegureid.

ÜLESANNE 1 – LAHENDUS

1.1. Kasutame valemit $P = \rho \cdot c \cdot Q \cdot \Delta T$. $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $c = 4200 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$, $Q = 2,5 \text{ l/s} = 0,0025 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$. $P = 1000 \cdot 4200 \cdot 0,0025 \cdot 3 = 31\,500 \text{ W} = 31,5 \text{ kW}$.

1.2. Kuna $31,5 \text{ kW} > 28 \text{ kW}$, siis avatud süsteemist piisab koolimaja tipukoormuse katmiseks st piisab ühest puuraukude paarist.

1.3. $45 \text{ W/m} \times 100 \text{ m} = 4500 \text{ W} = 4,5 \text{ kW}$.

1.4. $28 / 4,5 \approx 6,22 \rightarrow$ ümardades üles saame 7 puurauku.

1.5. $31,5 / 4,5 = 7$. Avatud süsteemi hetkeline võimsus on 7 korda suurem.

1.6. sobivad õiged ideed:

- kasutatud vett peab saama tagasi juhtida st reinjektsioon peab olema piisav st piisav lähelikus, poorsus vms
- kaev võib ummistuda / kolmateeruda
- põhjaveežiim võib muutuda (alandus, voolukiirus vms)
- vee keemiline koostis võib tekitada probleeme (seda ka seoses veerežiimi muutusega)

Esialgne punktijaotus (kokku 15 p):

1.1 – 5 p

1.2 – 2p

1.3 – 1 p

1.4 – 1 p

1.5 – 2 p

1.6 – kuni 4 p

ÜLESANNE 2 – Gravimeetriline anomaalia (20p)

Geofüüsikalistes maavaraotsingutes kasutatakse sageli gravimeetriaat, mille abil mõõdetakse väga väikeseid muutusi Maa raskuskiirenduses. Kui maapõues leidub ümbritsevast kivimist tihedam keha, põhjustab see maapinnal positiivse gravitatsioonianomaalia.

Õpilane uuris vana geoloogilist aruannet, kus märgiti, et geograafilise punkti A lähedal asub maapinna all homogeenne sfääriline maagikeha (läbimõõt 3 km, tiheduskontrast ümbritsevaga $+0,3 \text{ g/cm}^3$). Täpse asukoha määramiseks tegi ta sirgjoonelisel profiilil gravimeetriga ühe mõõtmise: punktis A (koordinaat 0 km) mõõtis ta anomaaliaks $\Delta g_z = 5,06 \text{ mGal}$.

Lisaks on aruandest teada, et maksimaalne mõõdetud anomaalia väärtus (keha keskpunkti kohal) on $\Delta g_z = 7,08 \text{ mGal}$.

Abimaterjal:

Gravitatsioonikonstant: $G = 6.67430 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

$1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$.

Gravitatsioonianomaalia valem antud juhul on järgmine:

$$\Delta g_z = \frac{Gmz}{(x^2 + z^2)^{3/2}}$$

, kus x on mõõtepunkti horisontaalne kaugus keha keskpunkti projektsioonist maapinnale ja z on keha keskpunkti sügavus.

Küsimused:

2.1 Arvuta sfäärilise keha liigmass.

2.2 Kasutades mõõdetud ja aruandest teadaolevat anomaalia väärtust, arvuta keha keskpunkti sügavus ja asukoht profiilil (kaugus punktist A) ning määra keha ülemise piiri (lähim punkt maapinnale) sügavus.

ÜLESANNE 2 – LAHENDUS

Liigmass:

Tiheduskontrast on $\Delta \rho = 300 \text{ kg/m}^3$ - vaja teisendada ühik!

Sfääri ruumala: $V = (4/3)\pi r^3 = (4/3)\pi \cdot 1500^3 \approx 1.4137 \times 10^{10} \text{ m}^3$ (antud on sfääri läbimõõt 3 km siit raadius on 1500 m)

Liigmass: $m = V\Delta\rho \approx 1.4137 \times 10^{10} \cdot 300 \approx 4.2411 \times 10^{12} \text{ kg}$

Sügavuse Z arvutamine:

Sfääri puhul maksimum tekib otse keha keskpunkti kohal, st horisontaalne nihe on null.

Siis valem lihtsustub kujule:

$$\Delta g_{z,\max} = \frac{Gm}{z^2}$$

Sealt:

$$z = \sqrt{\frac{Gm}{\Delta g_{z,\max}}}$$

Kõigepealt:

$$Gm = (6.67430 \times 10^{-11})(4.2411 \times 10^{12}) \approx 283.03$$

Maksimumanomaalia SI ühikutes:

$$7.08 \text{ mGal} = 7.08 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

Asendame:

$$z = \sqrt{\frac{283.03}{7.08 \times 10^{-5}}}$$

$$z = \sqrt{3.9976 \times 10^6} \approx 1999.4 \text{ m}$$

Seega

$$z \approx 2000 \text{ m}$$

Anomaalia keskkoha kaugus punktist A:

Ülemise piiri määramine:

Z=2000 m, keha läbimõõt on 3 km seega raadius on 1500 m ehk siis $z_{\text{top}} = 2000 - 1500 = 500\text{m}$

Lõppvastused

Liigmass: 4.2411×10^{12} kg

Keskpunkti sügavus: 2km

Keskpunkti asukoht: 1km punktist A

Ülemine piir: 500 m

Esiagne punktiskeem (kokku 20)

- 2.1. Arvuta sfäärilise keha liigmass 6 p
- 2.2.
 - Keskpunkti sügavus 6p
 - Keskpunkti asukoht 6p
 - Ülemine piir 2p

ÜLESANNE 3 – Pilvede aluse kõrgus (10p)

Päikeselise suveilma hilisel hommikutunnil mõõdeti kastepunkti temperatuuriks 20°C ja õhutemperatuuriks 24°C. Tingimustes, kus küllastus pole veel tekkinud, langeb kastepunkti temperatuur 2°C/km kohta. Õhu adiabaatilisel tõusmisel langeb temperatuur õhukogumis kuivadiabaatilise gradiendi kohaselt 1°C/100 m. Kui kõrgelt algavad tekkinud pilved?

ÜLESANNE 3 – LAHENDUS

Pilved tekivad kõrgusel, kus õhu temperatuur ja kastepunkti temperatuur ühtlustuvad. Selleks peame vaatama, kui kiiresti need kaks näitajat tõustes muutuvad:

1. **Õhutemperatuuri langus:** Kuiv õhk jahtub adiabaatilisel tõusmisel **10°C/km** (ehk 1°C iga 100 meetri kohta).
2. **Kastepunkti langus:** Kastepunkt langeb tõusvas õhus aeglasemalt, antud juhul **2°C/km**.
3. **Temperatuuride vahe:** Maapinnal on õhu ja kastepunkti vaheline erinevus 24°C - 20°C = 4°C.

Kuna õhutemperatuur langeb kiiremini kui kastepunkt, siis mida kõrgemale õhumass tõuseb, seda väiksemaks see vahe jääb, kuni nad lõpuks kohtuvad.

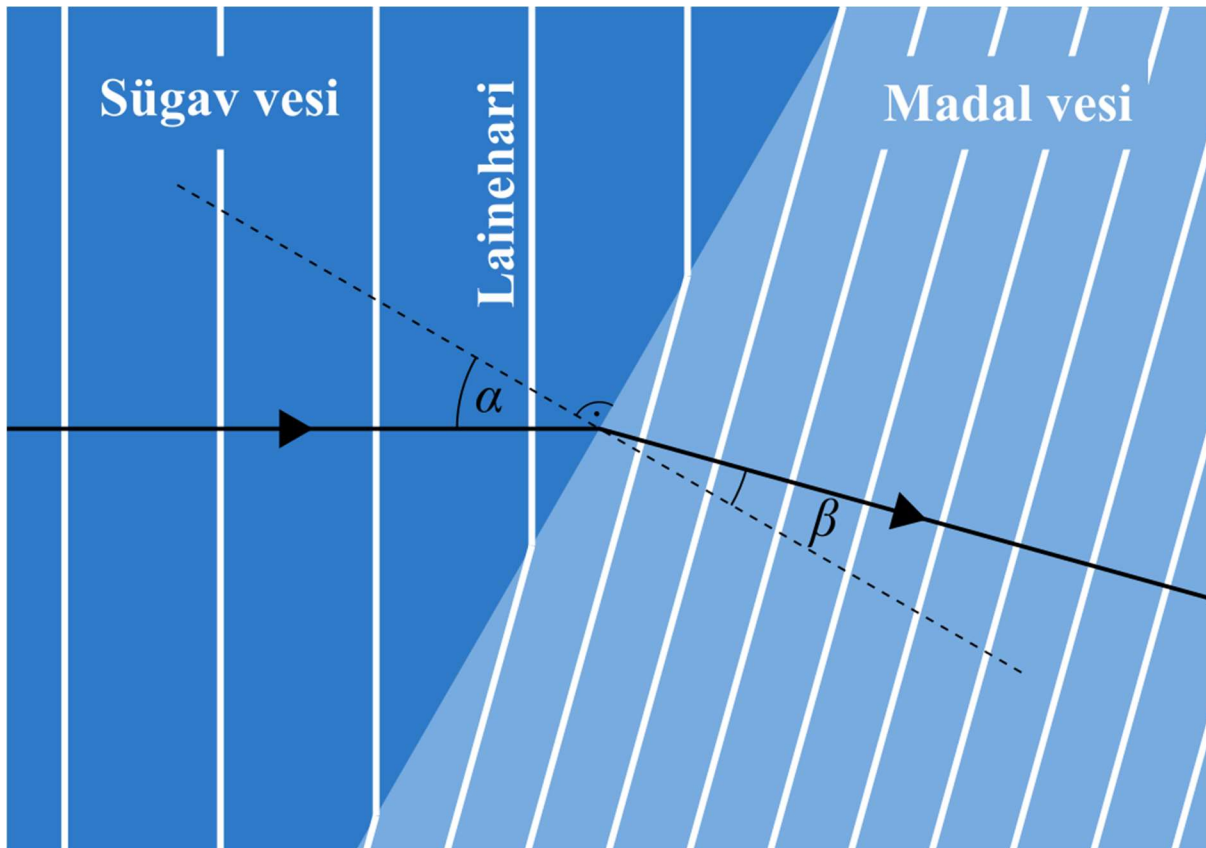
Vastus:

$$T_1 - \gamma_d * h = T_{d1} - \gamma_{dp} * h$$

$$h = \frac{T_1 - T_{d1}}{\gamma_d - \gamma_{dp}}$$

$h=4/(10-2)=0.5\text{km}$ e 500 m. **[10p]**

ÜLESANNE 4 – Lainete murdumine (15p)



Joonisel on kujutatud pealtvaates veelainete murdumist üleminekult sügavamast veest madalamasse vette. Laineharju kujutavad valged jooned ja nende liikumissuund on näidatud mustade nooltega. Lainete liikumiskiirus c on määratud vee sügavusega h vastavalt valemile $c = \sqrt{g * h}$, kus g on raskuskiirendus.

Osad 4.1 ja 4.2 on lahendatavad eraldi. Osa 4.2 arvutustes võib kasutada osas 4.1 esitatud murdumiseseadusest.

4.1 Näidake, et veelainete jaoks kehtib optikaga analoogne murdumiseseadus

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

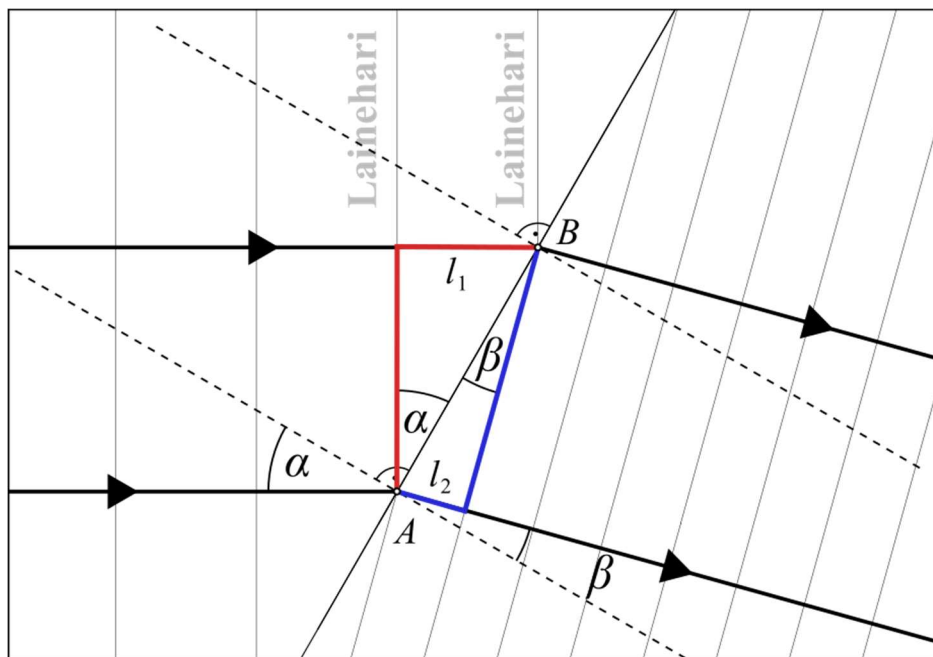
kus c_1 on lainete levimiskiirus sügavas vees ja c_2 on lainete kiirus madalas vees. Vastavad nurgad on näidatud joonisel.

4.2 On teada, et madala vee sügavus on $h_2=1,5$ m. Mis on vee sügavus h_1 joonisel kujutatud sügavamases osas? Jooniselt võib joonlauaga mõõta kaugusi. Joonise mõõtkava ei ole teada.

ÜLESANNE 4 – LAHENDUS

4.1 Vaatleme kahte järjestikust murdepunkti A ja B murdejoonel AB. Konstrueerime kaks täisnurkset kolmnurka (punaste ja siniste kaatetitega). Nendel kolmnurkadel on ühine hüpotenuus pikkusega L ; punases kolmnurgas on nurga α vastaskaatetiks lainepikkus l_1 sügavas vees ja sinises kolmnurgas on nurga β vastaskaatetiks lainepikkus l_2 madalas vees. Kolmnurkadest saame

$$\sin \alpha = \frac{l_1}{L}, \quad \sin \beta = \frac{l_2}{L} \quad \rightarrow \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1/\Delta t}{l_2/\Delta t} = \frac{c_1}{c_2},$$



Joonis 4.1. Lahendus osale 4.1

Kus Δt on ajavahemik, mis kulub murdepunkti A liikumiseks punkti B algsele asukohta (so horisontaalselt lainepikkuse l_1 võrra). Jagatis annab seega laine kiiruse: $l_1/\Delta t=c_1$. Samamoodi $l_2/\Delta t=c_2$. M.O.T.T. Sama tulemuse saab ka lainesagedust $f=c/l$ ja tingimust $f_1=f_2$ kasutades. [8p]

4.2 Seoste $l_1/l_2 = c_1/c_2$ ja $c = (gh)^{1/2}$ põhjal saame

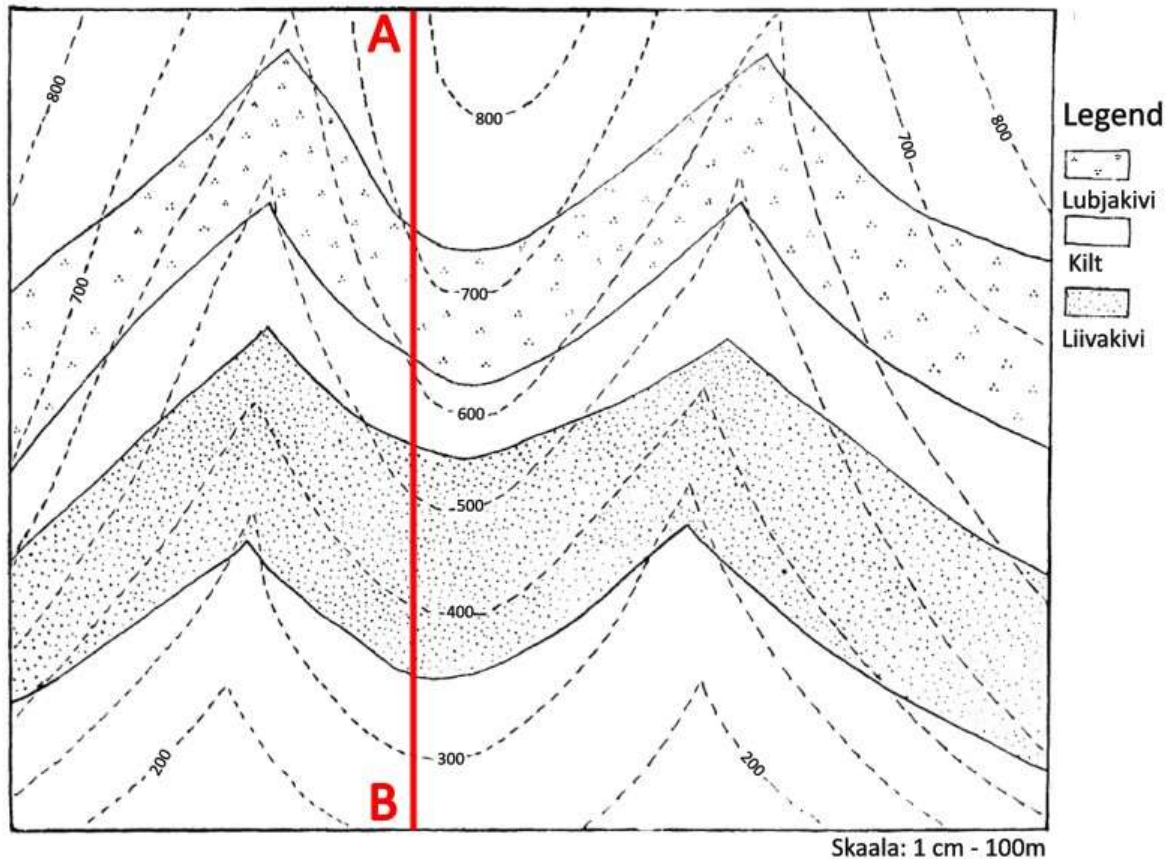
$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{c_1}{c_2} = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad \rightarrow \quad h_1 = h_2 \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^2,$$

Seega otsitava sügavuse määramiseks piisab kui leida joonise põhjal lainepikkuste suhe. Kõige täpsema tulemuse saame, kui mõõdame jooniselt nelja lainepikkuse summa (sügavas osas on meil kasutada viis laineharja) ja jagame selle vastava nelja lainepikkuse summaga madalas osas. Tulemuseks saame $h_2 = 1,5 \cdot (2,0)^2 = 6$ m. [7p]

Hindamine (4.2): korrektne lahendus ainult lainepikkuste mõõtmise abil – 7p, korrektne (aga ebatäpsem) lahendus kasutades nurki, kolmnurki, trigonomeetrilisi funktsioone – 5p.

ÜLESANNE 5 – Geoloogiline kaart (15p)

Geoloogilisel kaardil on kujutatud maapinnal avanevad kivimid. Samakõrgusjooned näitavad kõrgust üle merepinna.



5.1 Joonista geoloogiline läbilõige profiilist AB, eeldades paralleelseid ja kurrutamata kivimikihte.

5.2 Sellised kivimid on iseloomulikud

- A. sügavale merekeskkonnale.
- B. madalale merekeskkonnale.
- C. keskkonnale, kus esinevad nii madala kui ka sügava mere setted.

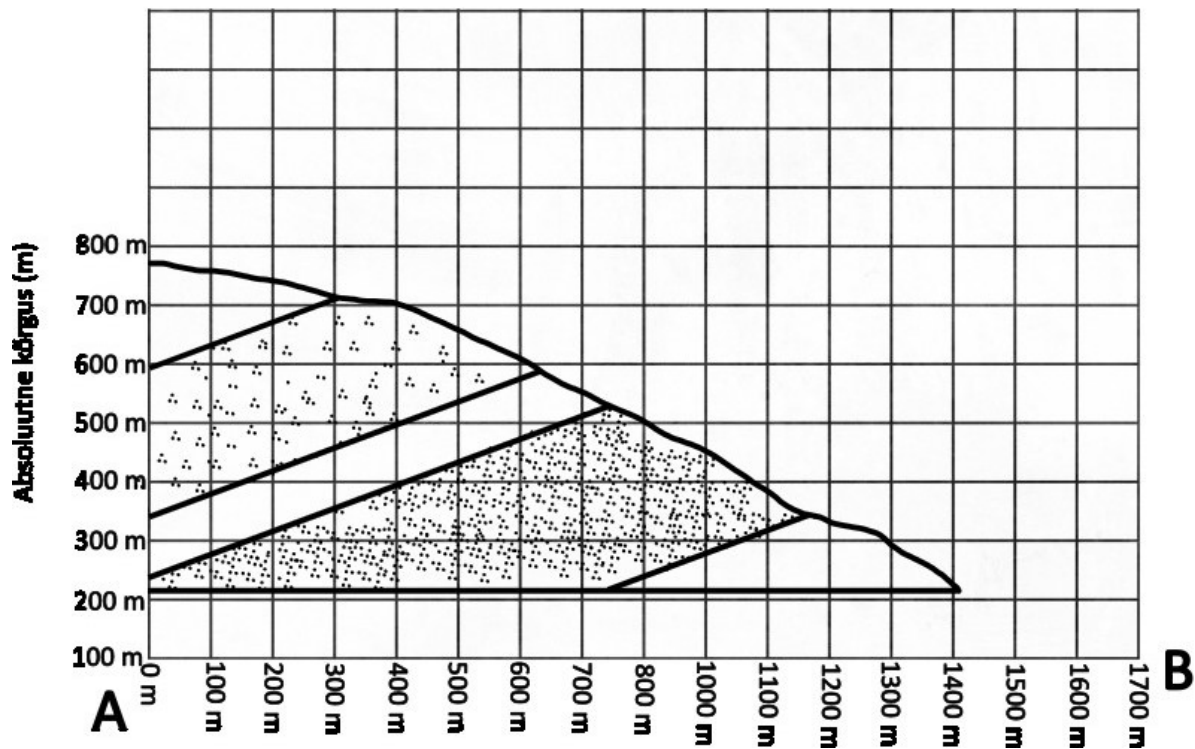
5.3 Kas selline geoloogiline kaart võiks kujutada mõnda Eesti piirkonda?

- A. Jah, Põhja-Eestis võib sellist geoloogilist ehitust kohata.
- B. Jah, Lõuna-Eestis võib sellist geoloogilist ehitust kohata.
- C. Ei.

5.4 Kas kivimikihid on kaldus?

- A. Ei.
- B. Jah, põhja suunas.
- C. Jah, lõuna suunas.

ÜLESANNE 5 – LAHENDUS



5.1 Profilli joonis (et punkte saada, peab olema midagi profiilisarnast joonistatud)

Kõrgused võivad olla nii absoluutsed või suhtelised.

Joonise suurus ei ole oluline, (kuid selle sisu peab olema selge ja arusaadav).

Esialgne indamisskeem:

- Teljed - telgedel on skaala, X teljel on distant, Y teljel on kõrgus. 2p
- Reljeef – vähemalt üldjoontes korrektne (võib esineda väikseid ebatäpsusi). 3p
- Kivimid – kivimite piirid ja asetus on vähemalt üldjoontes korrektsed ning eri kivimid on märgistatud tingmärkide või muud moodi arusaadaval viisil. 3p
- Reljeef – korrektne ilma vigadeta (täpsus mõistlikkuse piirides) kildide kallakus umbes 21 kraadi 2p
- Reljeefi pind on joonistatud vaba käega kumera joonega (mitte joonlauaga punkte ühendades) 1p
- Kivimid – kivimite piirid on korrektsed, tõmmatud joonlauaga ning iga piir ühel sirgjoonel 1p

5.2 C (1p)

5.3 A (1p)

5.4 B (1p)

ÜLESANNE 6 – Tehisintellekt (20p)

Bakalaureuse üliõpilane lasi AI-l kujundada sissejuhatava peatüki oma esseele. Kuna tal oli aega vähe, polnud tal mahti pikemalt oma ülesannet AI-le selgitada – ta palus “kirjutada lühidalt ja lähedalt maapõueprotsessidest”.

Analüüsi kriitiliselt allolevat teksti ja leidke kohad, mis ei tundu olevat teaduslikult täpsed. Märkige need lühidalt vastustelehel tabelisse (võib ka tekstis alla joonida ja numbrina tabelis esitada) ning kõrvale lisa lühiselgitusega, kuidas oleks korrektne.

Maapõue protsessid

Maapõue areng on keerukas protsess, mida juhivad peamiselt Maa välimise tuuma liikumised. Maakoor koosneb mitmest plastilisest kihist, mis ujuvad jäiga vahevöö peal ning liiguvad kiiresti, keskmiselt mitu meetrit aastas. Nende liikumiste tulemusel tekivad mitmesugused deformatsioonid, näiteks kurrutus ja murranguprotsessid.

Kurrutus toimub peamiselt siis, kui kivimid purunevad rabadalt kõrge temperatuuri ja madala rõhu tingimustes. Murrangurikked seevastu tekivad siis, kui kivimid käituvad plastiliselt ning voolavad aeglaselt ilma purunemiseta.

Normaalmurrangud (*normal fault*) tekivad kokkusurumise tingimustes, kui kivimikihid surutakse üksteise vastu, samas kui pöördrikked (*reverse faults*) tekivad laienemise, laialivenituse käigus. Nihkerikked (*strike-slip faults*) tekivad ainult ookeanide keskahelikel ning neid ei esine mandritel.

Magmaline tegevus on seotud peamiselt settekivimite sulamisega madalatel temperatuuridel (~300°C). Magma liigub ülespoole, kuna see on alati tihedam kui ümbritsev kivim. Kui magma tardub maapõues, tekivad vulkaanilised kivimid nagu graniit ja gabro. Kui magma jõuab maapinnale, moodustuvad plutoonilised kivimid nagu basalt.

Metamorfism toimub peamiselt maapinna lähedal madalatel temperatuuridel ja rõhkudel, kus kivimid moonduvad. Metamorfsete kivimite ehk moondekivimite teke ei muuda kivimi mineraalset koostist, vaid ainult kivimi keemilist koostist. Näiteks marmor tekib liivakivist. Peridotiit on kõige laiemalt esinev metamorfne kivim.

Geoloogilised protsessid toimuvad väga kiiresti, tavaliselt mõne aasta kuni aastakümne aasta jooksul. Seetõttu on võimalik jälgida mäestike teket inimelu jooksul.

ÜLESANNE 6 – LAHENDUS

HINDAMINE:

- ÕIGE VALEVÄITE LEIDMINE – 0,5 P
- VALEVÄITE KORRIGEERIMINE – 0,5 P
- KOKKU KUNI 20 P

Maapõue areng on keerukas protsess, mida juhivad peamiselt **Maa välimise tuuma liikumised**. Maakoor koosneb **mitmest plastilisest kihist, mis ujuvad jäiga vahevöö** peal ning liiguvad kiiresti, **keskmiselt mitu meetrit aastas**. Nende liikumiste tulemusel tekivad mitmesugused deformatsioonid, näiteks kurrutus ja murranguprotsessid.

Kurrutus toimub peamiselt siis, kui kivimid **purunevad rabadalt kõrge temperatuuri ja madala rõhu tingimustes**. Murrangurikked seevastu tekivad siis, kui kivimid käituvad **plastiliselt ning voolavad aeglaselt** ilma purunemiseta.

Normaalmurrangud (*normal fault*) tekivad **kokkusurumise tingimustes**, kui kivimikihid surutakse üksteise vastu, samas kui pöödrikked (*reverse faults*) tekivad **laienemise, laialivenituse käigus**. Nihkerikked (*strike-slip faults*) tekivad **ainult ookeanide keskahelikel ning neid ei esine mandritel**.

Magmaline tegevus on seotud peamiselt settekivimite sulamisega **madalatel temperatuuridel (~300°C)**. Magma liigub ülespoole, kuna see on **alati tihedam** kui ümbritsev kivim. Kui **magma tardub maapõues, tekivad vulkaanilised kivimid** nagu **graniit ja gabro**. Kui **magma jõuab maapinnale, moodustuvad plutoonilised** kivimid nagu basalt.

Metamorfism toimub peamiselt maapinna lähedal **madalatel temperatuuridel ja rõhkudel**, kus kivimid moonduvad. Metamorfsete kivimite ehk **moondekivimite teke ei muuda kivimi mineraalset koostist, vaid ainult kivimi keemilist koostist**. Näiteks **marmor tekib liivakivist. Peridotiit on kõige laiemalt esinev metamorfne kivim**.

Geoloogilised protsessid toimuvad **väga kiiresti, tavaliselt mõne aasta kuni aastakümne aasta jooksul**. Seetõttu on võimalik jälgida **mäestike teket inimelu jooksul**.

	MIS ON VALESTI	KUIDAS PEAKS OLEMA
1	Maa välimise tuuma liikumised juhivad maapõue protsesse	protsesse juhivad vahevöö konvektsioonivoolud, sulamine jm
2	Maakoor ujuvad jäiga vahevöö peal	laamad liiguvad plastilisel astenosfääril
3	Liikumiskiirus mitu meetrit aastas	cm/aastas (u 1–10 cm/a)
4	Kurrutus toimub rabeda purunemisega	kurrutus toimub plastilise deformatsioonina
5	Rikked tekivad plastilisel voolamisel	rikked tekivad rabeda purunemise tulemusel
6	Normaalrikked tekivad kokkusurumisel	normaalrikked tekivad venitusel
7	Pöödrikked tekivad laienemisel	pöödrikked tekivad kokkusurumisel
8	Nihkerikked ainult ookeanides	esinevad nii ookeanides kui mandritel
9	Magma tekib settekivimite sulamisel ~300°C	magma tekib kõrgel temperatuuril (700–1300°C), enamasti vahevöös või alumises koores
10	Magma on alati tihedam	magma on tavaliselt väiksema tihedusega → tõuseb
11	Tardub maapõues ei ole vulk	plutooniline
12	Maapinnal ei ole plutoonilised	vulkaanilised
13	Graaniit on vulkaaniline kivim	graniit on plutooniline kivim
12	Basalt on plutooniline kivim	basalt on vulkaaniline kivim
14	Metamorfism toimub madalal temperatuuril	toimub kõrgel temperatuuril ja rõhul
15	ei muuda kivimi mineraalset koostist	mineraalne koostis muutub
16	vaid ainult kivimi keemilist koostist	Keemiline ei muutu
17	Marmor tekib liivakivist	marmor tekib lubjakivist
18	Peridotiit kui metam kiv	On tardkivim
19	Protsessid toimuvad aastakümnetega	toimuvad miljonite aastate jooksul
20	Inimeleu jooksul mäestike teket vaadelda	miljonite aastate jooksul