

## Yo-tehtävä K2020/3:

### 3. Merenpinnan nousu 15 p.

Maapallon valtameret lämpenevät ilmastonmuutoksen seurauksena. Tämä aiheuttaa merenpinnan nousua, joka 2000-luvulla on ollut suuruudeltaan noin 3 millimetriä vuodessa. Yksi syy merenpinnan nousuun on veden lämpölaajeneminen.

Merien vuodessa keräämän lämpömäärän on arvioitu olevan noin  $1,3 \cdot 10^{22}$  J. Kuinka paljon merien keskimääräinen lämpötila kohoaa vuodessa? Entä kuinka suuri on lämpölaajenemisen aiheuttama merenpinnan korkeuden muutos vuodessa?

Meriveden ominaisuudet riippuvat paineesta, lämpötilasta sekä suolapitoisuudesta, joten käytetään taulukossa 3. A annettuja, keskiarvoistettuja arvoja.

Lasketaan ensin meriveden massa:

$$m = \rho V = \rho Ah \quad (\text{Keskimääräistä syvyyttä } h \text{ käytettäessä valtameret voidaan ajatella lieriöksi, jonka pohjan pinta-ala on } A \text{ ja korkeus } h.)$$

Merien vuoden aikana keräämä lämpömäärä on  $Q = cm\Delta T$ , missä  $\Delta T$  on meriveden vuotuinen lämpötilan nousu.

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{Q}{cm} = \frac{Q}{c\rho Ah} = \frac{1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}}{3960 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,6 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 \cdot 3700 \text{ m}} \approx 0,0024 \text{ K}$$

Suure	Keskimääräinen arvo
Merien pinta-ala	$3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2 = A$
Merien syvyys	3700 m = $h$
Meriveden tiheys	$1030 \text{ kg/m}^3 = \rho$
Tilavuuden lämpötilakerroin merivedelle	$1,37 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K}$
Ominaislämpökapasiteetti merivedelle	$3,96 \text{ kJ/(kg K)} = c$

Kertynyt lämpömäärä vuodessa:  $Q = 1,3 \cdot 10^{22} \text{ J}$

$$10^8 \text{ km}^2 = 10^8 \cdot (1000 \text{ m})^2 = 10^8 \cdot 10^6 \text{ m}^2 = 10^{14} \text{ m}^2$$

Huom. TI-Nspire:llä (tai SpeedCrunch:lla) yksiköitä ei tarvitse itse muuttaa:

$$\frac{1.3 \cdot 10^{22} \cdot \text{J}}{3.96 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1030 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3.6 \cdot 10^8 \cdot \text{km}^2 \cdot 3700 \cdot \text{m}} = 0.0023928 \cdot \text{K}$$

Vastaus: Merivesi lämpenee vuodessa n. 0,0024 °C.

Lämpeneminen aiheuttaa meriveden tilavuuden lämpölaajenemisen  $\Delta V = \gamma V \Delta T$ .

Merien pinta-ala ei juurikaan muutu, joten  $\Delta V = A \Delta h$ , missä  $\Delta h$  on kysytty merenpinnan nousu.

$$\Rightarrow \Delta h = \frac{\Delta V}{A} = \frac{\gamma V \Delta T}{A} = \frac{\gamma A h \Delta T}{A} = \gamma h \Delta T$$

$$\approx 1,37 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{K}} \cdot 3700 \text{ m} \cdot 0,0023938 \text{ K} \approx 0,0012 \text{ m} \approx 1,2 \text{ mm}$$

Suure	Keskimääräinen arvo
Merien pinta-ala	$3,6 \cdot 10^8 \text{ km}^2$
Merien syvyys	3700 m
Meriveden tiheys	$1030 \text{ kg/m}^3$
Tilavuuden lämpötilakerroin merivedelle	$1,37 \cdot 10^{-4} \text{ 1/K} = \gamma$
Ominaislämpökapasiteetti merivedelle	$3,96 \text{ kJ/(kg K)}$

Itse asiassa merenpinnan nousu  $\Delta h$  ei riipu merien syvyydestä  $h$ :

Aiemman perusteella:

$$\Delta T = \frac{Q}{c\rho Ah} \quad \text{ja} \quad \Delta h = \frac{\gamma V \Delta T}{A}$$

$$\Rightarrow \Delta h = \frac{\gamma V}{A} \frac{Q}{c\rho Ah} = \frac{\gamma Ah}{A} \frac{Q}{c\rho Ah} = \frac{\gamma Q}{Ac\rho}$$

$$\frac{1.38 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{\text{°K}} \cdot 1.3 \cdot 10^{22} \cdot \text{J}}{3.6 \cdot 10^8 \cdot \text{km}^2 \cdot 3.96 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \cdot 1030 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \quad 0.00122176 \cdot \text{m}$$

(Merien ei siis tarvitse lämmitä pohjaan asti. Riittää, jos lämpenemistä tapahtuu esimerkiksi muutamien satojen metrien syvyyteen asti.)