

OSA III

9. Tuulivoimala (20 p.)

9.1. (5 p.)

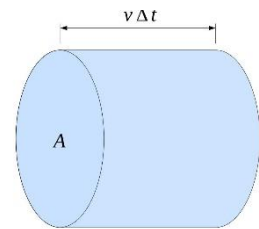
Tuulivoimalassa tuuli pyörittää turbiinia, johon on kytketty sähköä tuottava generaattori. Energian muuntumiset: tuulen liike-energia → turbiinin pyörimisliikkeen energia → generaattorin roottorin pyörimisliikkeen energia → sähköverkon välittämä energia. Osa energiasta muuntuu kitkan ja ohmisten häviöiden takia lämpöenergiaksi.

Vastauksessa on esitetty vähintään viisi energiavaihetta (5 p.).

9.2. (4 p.)

Pinta-alan A läpi ajassa Δt nopeudella v kulkeneen ilman tilavuus on $V = Av \cdot \Delta t$ ja massa $m = \rho V = \rho Av \cdot \Delta t$. Näin ollen ilmavirran liike-energian teho on

$$P_K = \frac{E_K}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}\rho Av\Delta t \cdot v^2}{\Delta t} = \frac{1}{2}\rho Av^3.$$



Ratkaisusta käy ilmi, miten massa on määritetty kuvitteellisen ilmatynnyrin avulla (2 p.).

Tehon lauseke on johdettu algebrallisesti oikein (2 p.).

9.3. (3 p.)

Betzin lain mukaan suurin teho saavutetaan, kun $v_2 = \frac{1}{3}v_1$. Tällöin

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{1}{4}\rho A \left(v_1 + \frac{1}{3}v_1\right) \left(v_1^2 - \left(\frac{1}{3}v_1\right)^2\right), \\ P_B &= \frac{1}{4}\rho A \left(v_1 + \frac{1}{3}v_1\right) \left(v_1 + \frac{1}{3}v_1\right) \left(v_1 - \frac{1}{3}v_1\right), \\ P_B &= \frac{1}{4}\rho A \frac{4}{3}v_1 \cdot \frac{4}{3}v_1 \cdot \frac{2}{3}v_1 = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \rho A v_1^3. \end{aligned}$$

Silloin

$$\frac{P_B}{P_K} = \frac{16}{27} \approx 0,59.$$

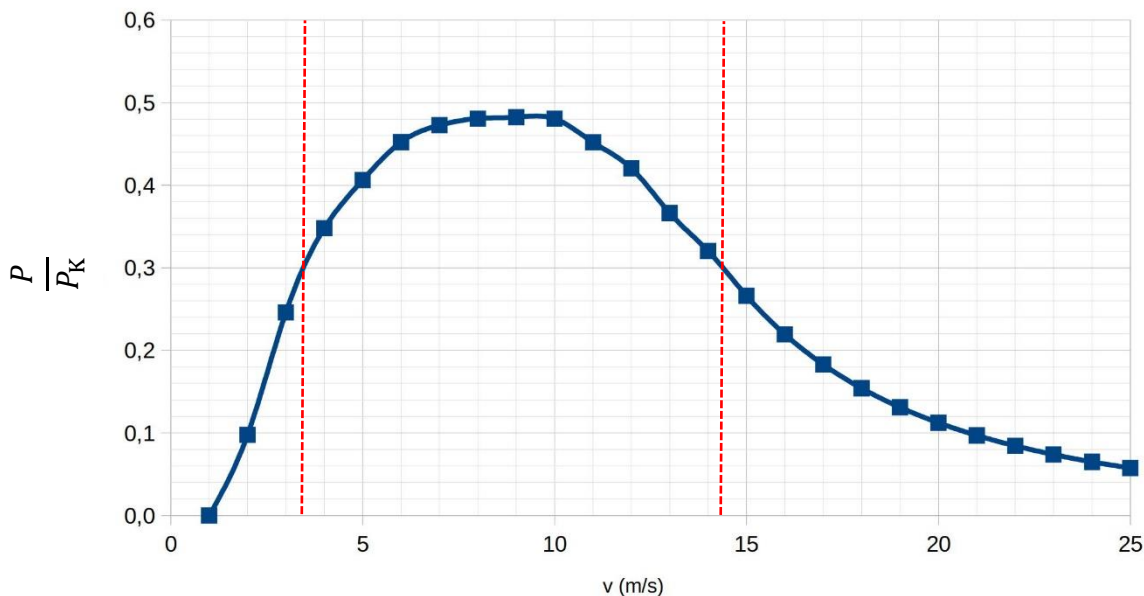
Betzin lain mukaisen tehon lauseke on saatettu algebrallisesti sievennettyyn muotoon (2 p.) ja sitä käyttäen on määritetty suurin teoreettinen hyötysuhde (1 p.).

9.4. (8 p.)

Turbiinin pyyhkäisemä pinta-ala on $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{71}{2} \text{ m}\right)^2 = 3959,19 \text{ m}^2$.

Ilman tiheys on $\rho = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Lasketaan näiden avulla ilmavirran tehot $P_K = \frac{1}{2} \rho A v^3$ eri nopeuksilla, luetaan todellisen sähkötehon P arvot annetusta tiedostosta, ja piirretään kuvaaja $\left(v, \frac{P}{P_K}\right)$.



(datan käsittely ja kuvaajan tuotto 6 p.)

Luetaan kuvaajasta, millä tuulen nopeuksilla todellinen hyötysuhde on 0,3 tai sitä suurempi. Kun tuulen nopeus on välillä 3,5 – 14,4 m/s, todellinen hyötysuhde on yhtä suuri tai parempi kuin 30 %.

Ratkaisussa on laskettu turbiinin pyyhkäisemä pinta-ala (1 p.), laskettu sitä käyttäen ilmavirran teho eri tuulennopeuksille ja tuotettu todellisen hyötysuhteen kuvaaja (5 p.). Kuvaajasta

vähennetään pisteitä, jos siinä väärää pisteitä tai pisteitä puuttuu, puuttuu tasoitus tai akseli-merkinnät ovat puutteelliset. Kuvaajasta on luettu oikein kysyty tuulennopeuden vaihteluväli (2 p.).

10. Grafeeni (20 p.)

10.1. (4 p.)

Kuvassa on määritelty neljästä hiiliatomista koostuva yksikkökoppi, jota kopioimalla voidaan kattaa koko pinta. Pintatiheys on näin ollen

$$\rho = \frac{m_{\text{koppi}}}{A_{\text{koppi}}} = \frac{4 \cdot 12 \text{ u}}{3a_0 \cdot \sqrt{3}a_0} = \frac{16 \text{ u}}{\sqrt{3}a_0^2}.$$

Yksi gramma grafeenia peittää pinta-alan

$$A = \frac{m}{\rho} = \frac{0,001 \text{ kg}}{16 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} \cdot \sqrt{3}(0,142 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2 \approx 1300 \text{ m}^2.$$

Ratkaisussa on osattu aineiston perusteella käyttää oikeaa grafeenin yksikköpinta-alaa (2 p.) ja ratkaista sitä käyttäen kokonaispinta-ala (2 p.).

10.2. (8 p.)

Tausta-aineiston mukaan grafeeni kestää 20 %:n venymisen alkuperäisestä pituudestaan, jolloin maksimaalisesti venyneen grafeenimaton pituus on $1,20 \cdot 4,0 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$. Tällöin maton pituus telineestä 1 tankoon on kuvan mukaisesti 2,4 m.

Grafeenin maksimaalinen vetolujuus eli maksimaalinen voima poikkileikkauksen pinta-alaa kohden on $P = 130 \text{ GPa}$, jolloin maksimaalinen jännitysvoima on

$$T_1 = T_2 = PA.$$

Maton poikkileikkauksen pinta-ala on $A = 1,0 \text{ m} \cdot 0,33 \text{ nm} = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$.

Kuvan perusteella voidaan määrittää kulma α .