

31 Het elektrisch vermogen dat een windmolen kan leveren is sterk afhankelijk van de windsnelheid. Voor het vermogen geldt:

- $P = k \cdot v^3$
- P is het elektrisch vermogen van de windmolen in W.
 - k is een constante die afhangt van de eigenschappen van de windmolen.
 - v is de windsnelheid in m s^{-1} .

Uit deze formule volgt dat het elektrisch vermogen van de windmolen afneemt met 87,5% als de windsnelheid halveert.

- a Toon dit aan met een berekening.
- b Noem een eigenschap van een windmolen die van invloed is op de grootte van k . Onlangs zijn er plannen gelanceerd om voor de kust van Zeeland een zogenaamde valmeercentrale te bouwen. Zie figuur 8.32.

Een valmeercentrale is een kunstmatig eiland waarin een valmeer is gegraven, een meer waarvan het waterniveau veel lager is dan dat van de zee. Op de dijk rondom het valmeer staan windmolens. Bij voldoende wind pompen ze water uit het meer naar de zee.



Figuur 8.32

Bij weinig wind laat men zeewater door buizen in de dijk het meer in lopen. In die buizen zijn generatoren aangebracht, die door het langsstromende zeewater elektrische energie opwekken.

Het geplande valmeer krijgt een oppervlakte van 40 km^2 . Het waterniveau in het meer varieert tussen 32 en 40 m onder het zeeniveau. Om het water in het meer te laten dalen van het hoogste naar het laagste niveau, moet $3,3 \cdot 10^{11} \text{ kg}$ zeewater naar de zee worden gepompt.

- c Toon dat aan met een berekening.
- Op het eiland worden 75 windmolens geplaatst die elk een piekvermogen hebben van $50 \cdot 10^6 \text{ W}$.
- d Bereken hoeveel uur het minimaal duurt om het water in het meer van het hoogste naar het laagste niveau te brengen. Bereken eerst de toename van de zwaarte-energie van het weggepompte water.

Als het valmeer volloopt, leveren de generatoren samen een elektrisch vermogen van $1,5 \cdot 10^9 \text{ W}$. Per seconde stroomt er dan $4,75 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ water met een snelheid van 26 m s^{-1} door de turbines die de generatoren aandrijven.

- e Bereken het rendement waarmee de bewegingsenergie van het water wordt omgezet in elektrische energie.

Je kunt je afvragen wat het nut is van de valmeercentrale. De elektrische energie die de windmolens opwekken kun je ook rechtstreeks aan het elektriciteitsnet

8.5 Afsluiting

Opgave 31

- a Als v twee keer zo klein wordt, dan wordt v^3 acht keer zo klein. Uit $P = k \cdot v^3$ volgt dat P dan ook 8 keer zo klein wordt. Is de oorspronkelijke waarde 100%, dan blijft er $\frac{1}{8} \times 100\% = 12,5\%$ over. Het vermogen is dan met $100 - 12,5 = 87,5\%$ afgenomen.
- b De constante k hangt onder andere af van de grootte van de wieken, de vorm van de wieken en het rendement van de windmolen.
- c De massa van het verplaatste water bereken je met de formule voor de dichtheid. Het volume bereken je met de oppervlakte en het hoogteverschil h .

$V = A \cdot h$
 $A = 40 \text{ km}^2 = 40 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
 $h = 40 - 32 = 8 \text{ m}$
 $V = 40 \cdot 10^6 \times 8 = 3,2 \cdot 10^8 \text{ m}^3$

$\rho = \frac{m}{V}$
 $\rho = 1,024 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ (zie BINAS tabel 11)
 $1,024 \cdot 10^3 = \frac{m}{3,2 \cdot 10^8}$
 $m = 3,27 \cdot 10^{11}$
Afgerond: $m = 3,3 \cdot 10^{11} \text{ kg}$.

- d De tijd die het duurt om het water van het hoogste naar het laagste niveau te brengen, bereken je met het vermogen van de windmolens. De verandering van de zwaarte-energie bereken je met de formule voor zwaarte-energie. De hoogte bereken je uit het gemiddelde waterniveau.

Als het waterniveau daalt van 32 naar 40 m onder zeeniveau, ligt het zwaartepunt van het weggepompte water gemiddeld op 36 m onder zeeniveau.

$E_{zw} = m \cdot g \cdot h$
 $m = 3,3 \cdot 10^{11} \text{ kg}$
 $h = 36 \text{ m}$
 $E_{zw} = 3,3 \cdot 10^{11} \times 9,81 \times 36$
 $E_{zw} = 1,165 \cdot 10^{14} \text{ J}$

$E = P \cdot t$
 $P = 75 \times 50 \cdot 10^6 = 3,75 \cdot 10^9 \text{ W}$
 $1,165 \cdot 10^{14} = 3,75 \cdot 10^9 \times t$
 $t = 3,107 \cdot 10^4 \text{ s} = \frac{3,107 \cdot 10^4}{3600} = 8,632 \text{ uur}$

Afgerond: $t = 8,6 \text{ uur}$.

- e Het rendement bereken je met het geleverde en het nuttige vermogen. Het nuttige vermogen bereken je met de formule voor rendement. Het geleverde vermogen volgt uit de kinetische energie van het water dat de turbine in gaat. De kinetische energie bereken je met de formule voor kinetische energie. De massa die per seconde door de turbine stroomt, bereken je met de formule voor de dichtheid.

$\rho = \frac{m}{V}$
 $\rho = 1,024 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ (zie BINAS tabel 11)
 $V = 4,75 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

$1,024 \cdot 10^3 = \frac{m}{4,75 \cdot 10^3}$
 $m = 4,864 \cdot 10^6 \text{ kg}$

$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
 $v = 26 \text{ m s}^{-1}$
 $E_k = \frac{1}{2} \times 4,864 \cdot 10^6 \times 26^2$
 $E_k = 1,644 \cdot 10^9 \text{ J}$

Deze hoeveelheid kinetische energie gaat per seconde door de turbine en is gelijk aan het vermogen P_{in} .

$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$
 $P_{\text{nuttig}} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ W}$
 $\eta = \frac{1,5 \cdot 10^9}{1,644 \cdot 10^9} \times 100\%$

$\eta = 91,2\%$
Afgerond: $\eta = 91\%$.

- f Als er te weinig wind is, leveren de molens te weinig energie. Dan kunnen de generatoren de tekorten aanvullen.