

ENERGIA VETRA

V celom texte hovoríme o veterných elektrárňach s horizontálnou osou (tie sú aj na ilustračných obrázkoch). Existujú aj veterné elektrárne s vertikálnou osou.

Vzťah pre energiu vetra, ktorý prechádza po čas t rýchlosťou v kolmo na plochu tvaru kruhu s polomerom r , je

$$E = \frac{\pi}{2} \cdot r^2 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot t,$$

kde ρ je hustota vzduchu. (Je to kinetická energia, ktorej veľkosť je $\frac{1}{2}mv^2$, kde m je hmotnosť vzduchu. V našom prípade hmotnosť vypočítame ako objem V krát hustota ρ , pričom objem je objem valca s podstavou πr^2 a výškou $v \cdot t$.) Z tejto energie veterná elektráreň využije len časť. Veľkosť tejto časti vyjadruje súčiniteľ účinnosti, ten je približne 0,4 až 0,5. Pre súčiniteľ účinnosti 0,4 a hustotu $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ má vzorec pre výkon veternej elektrárne tvar

$$\begin{aligned} P &= 0,4 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot r^2 \cdot \rho \cdot v^3 = 0,4 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \rho \cdot v^3 = \left(0,4 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot 1,225\right) \cdot D^2 v^3 = \\ &= 0,192\,422 \dots \cdot D^2 v^3 \cong 0,2 \cdot D^2 v^3. \end{aligned}$$

V texte vyjadrujeme množstvo energie v kWh (kilowatthodinách). Žiaci sa už pravdepodobne stretli s jednotkou joule (J), ktorá je v rámci sústavy SI odvodenou jednotkou. Medzi joulom a kilowatthodinou platí vzťah

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}.$$

Tému možno rozdeliť na tri časti:

- Úlohy 1 a 2 overujú, či žiak pochopil pojmy výkon a množstvo energie.
- Úlohy 3 – 5 sa sústreďujú na vzorec $P = 0,2 \cdot v^3 \cdot D^2$ na výpočet výkonu veternej elektrárne.
- Úlohy 6 a 7 simulujú (veľmi zjednodušený) postup rozhodovania o ekonomickej výhodnosti budovania veternej elektrárne. Úloha 6 je komplexná, odporúčame najprv v skupinách alebo spoločne s celou triedou prediskutovať postup riešenia. Výpočty sú pomerne zdĺhavé, žiaci by mali použiť vhodný softvér, napr. EXCEL. Úlohu 7 možno modifikovať, ak do úvah zahrnieme aj odhadované ročné náklady na prevádzku veternej elektrárne. Učiteľ môže buď po diskusii so žiakmi dohodnúť nejakú ročnú sumu (nie je podstatné, či je reálna), alebo nechať žiakov, aby sa pokúsili v dostupných zdrojoch takýto údaj zistiť (druhá možnosť je podľa našich skúseností dosť náročná). Podľa informácií ZSE sa investičné náklady na výstavbu veternej elektrárne odhadujú na 914 €/kW. Prevádzkové náklady počas doby životnosti turbíny sa odhadujú na 1,2 centu €/kWh.

1. 1 kWh (1 000 Wh)

40 minút je $\frac{40}{60} = \frac{2}{3}$ hodiny. Pri výkone 1 500 W sa za $\frac{2}{3}$ hodiny spotrebuje $1\,500 \cdot \frac{2}{3} = 1\,000 \text{ Wh} = 1 \text{ kWh}$ elektrickej energie.

Poznámka. Skúsenejšie gazdinky (a možno aj gazdovia) možno upozornia na to, že pred pečením treba sporák predhriať na určenú teplotu, čím sa tiež spotrebuje elektrická energia. V otázke sa pýtame len na množstvo energie spotrebované pri samotnom pečení.

2. 545 Wh

$$3,5 \cdot 95 + 2,5 \cdot 85 = 545 \text{ Wh}$$

3. 106 kW

$$P = 0,2 \cdot 5^3 \cdot 65^2 = 0,2 \cdot 125 \cdot 4\,225 = 105\,625 \text{ W} = 105,625 \text{ kW} \approx 106 \text{ kW}$$

4. pri rýchlosti 11 m/s

Riešením rovnice $1\,000\,000 = 0,2 \cdot v^3 \cdot 65^2$ dostaneme $v^3 = \frac{1\,000\,000}{0,2 \cdot 65^2} = 1\,183,43\dots$, odtiaľ

$$v = 10,577\dots \cong 11 \text{ m/s}.$$

5. približne o 73 %



Uvedieme dve riešenia:

1. Ak do vzorca $P = 0,2 \cdot v^3 \cdot D^2$ namiesto pôvodnej hodnoty rýchlosti v dosadíme hodnotu o 20 % väčšiu, teda číslo $1,2v$, dostaneme nový výkon

$$P_n = 0,2 \cdot (1,2v)^3 \cdot D^2 = 0,2 \cdot (1,728 \cdot v^3) \cdot D^2 = 1,728 \cdot (0,2 \cdot v^3 \cdot D^2) = 1,728 \cdot P.$$

Z rovnosti $P_n = 1,728 \cdot P$ vyplýva, že číslo P_n je 172,8 % z čísla P , teda je o $72,8 \approx 73$ % väčšie.

2. Z formulácie otázky vyplýva, že odpoveď by nemala závisieť od konkrétnej rýchlosti vetra ani priemeru turbíny, len od pomeru medzi novou a pôvodnou rýchlosťou vetra. Stačí preto vypočítať výkon pre nejakú konkrétnu rýchlosť vetra (napr. 5 m/s) a rýchlosť o 20 % vyššiu (t.j. 6 m/s) pri rovnakej veľkosti priemeru turbíny (napr. 10 m). Ak do vzorca

$$P = 0,2 \cdot v^3 \cdot D^2$$

dosadíme najprv $v = 5$, $D = 10$, a potom $v = 6$, $D = 10$, dostaneme

$$P(5,10) = 2\,500, \quad P(6,10) = 4\,320.$$

Z výsledku delenia

$$\frac{4\,320}{2\,500} = 1,728$$

vyplýva, že číslo 4 320 je 172,8 % z čísla 2 500, je teda o $72,8 \approx 73$ % väčšie.

6. približne 699 MWh

Pre každú z rýchlostí $v = 3, 4, \dots, 14$ m/s treba vypočítať výkon $P = 0,2 \cdot v^3 \cdot 50^2$. Tento výkon sa vynásobí počtom hodín, ktorý na jednotlivé rýchlosti vetra pripadá za rok, teda $8\,760 \cdot \frac{h_v}{100}$, kde h_v je hodnota, ktorá v grafe rozdelenia rýchlostí vetra prislúcha rýchlosti v . Získané výsledky sa potom sčítajú. Presná hodnota súčtu je 699 026 100 Wh. Odporúčame na tieto výpočty použiť vhodný softvér, napr. EXCEL.

7. približne 19 rokov

Pri ročnej výrobe 699 MWh (výsledok úlohy 6) a odhadovanej cene 2,65 Sk/kWh (teda 2 650 Sk/MWh) elektrárne vyrobí za 1 rok elektrickú energiu v cene $699 \cdot 2\,650 = 1\,852\,350$ Sk. Pre hľadaný počet rokov x má platiť

$$1\,852\,350 \cdot x = 35\,000\,000, \quad \text{odtiaľ} \quad x = \frac{35\,000\,000}{1\,852\,350} = 18,89\dots \approx 19.$$

Poznámka. Vstupné údaje boli len orientačné, preto aj výsledok tohto výpočtu treba pokladať za orientačný.