



Vėjo energija

Skaičiavimo užduotis (maždaug 60 min. trukmės)

Užduoties aprašymas

Lyginant korteles, kuriose minimi elektromobiliai ir dyzeliniai automobiliai, matyti, kad elektromobiliai yra mažiau kenksmingi klimatui. Tačiau tai priklauso nuo to, kaip gaminama elektra, kurią naudoja elektromobiliai. Skirtingose šalyse ji gaminama skirtingai. Pavyzdžiui, elektra gali būti gaminama, naudojant hidroenergiją, branduolinę energiją, vėjo ar saulės energiją arba deginant iškastinį kurą, pavyzdžiui, anglis ar gamtines (iškastines) dujas.

Europos vėjo energetikos asociacijos „[Wind Europe](#)“ duomenimis, dabar vėjo energija patenkina apie 17 % Europos elektros energijos poreikio, o kai kuriose šalyse – gerokai daugiau. Vėjo energetika vis labiau plėtojama ir tikėtina, kad ateityje derinant skirtingas elektros energijos rūšis ji vaidins dar svarbesnį vaidmenį.

Atliekant šią užduotį reikia ištirti, kaip veikia vėjo energija ir ko reikėtų, kad vėjo jėgainės pakeistų branduolines elektrines.

Betzo dėsnis – pagrindinis vėjo energijos technologijos principas. Šis dėsnis teigia, kad teoriškai didžiausia galia, kurią gali išgauti vėjo turbina, yra 16/27 (arba maždaug 59 %) pro vėjo turbiną praeinančio oro energijos:

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3}{2}$$

P – didžiausia galia [W], kurią gali išgauti vėjo turbina, ρ [rho; kg/m³] – oro tankis, r [m] – vėjo rotoriaus spindulys (t. y. rotoriaus menčių ilgis), o v [m/s] – vėjo greitis rotoriaus aukštyje.

Skirtingame aukštyje virš žemės paviršiaus vėjo greitis v kinta. Meteorologinėse prognozėse dažnai nurodomas vėjo greitis 10 metrų aukštyje, tačiau vėjo turbinos yra daug aukštesnės. Apytikslė vėjo greičio h metrų aukštyje virš žemės paviršiaus reikšmė nustatoma pagal šią formulę:

$$v = v(h) = v(10) \cdot \left(\frac{h}{10}\right)^{0.16},$$

kur v(10) reiškia vėjo greitį 10 metrų aukštyje virš žemės paviršiaus.

- a) Kairėje ir dešinėje Betzo dėsnio pusėje turi būti tie patys matavimo vienetai, todėl turite juos suvienodinti.

- b) Pagal pirmiau pateiktą formulę apskaičiuokite vėjo greitį 50 metrų aukštyje. Laikykite, kad $v(10) = 15$, t. y. vėjo greitis 10 metrų aukštyje yra 15 m/s.
- c) Apskaičiuokite didžiausią teorinę vėjo turbinos galią. Raskite skaičiavimams reikalingas reikšmes arba padarykite pagrįstas prielaidas. Galite pasirinkti, kokios vėjo turbinos (mažos, vidutinės ar didelės) galią skaičiuosite. Įsitinkite, kad rezultatas išreikštas tinkamais vienetais!
- d) Apskaičiuokite, kiek vėjo turbinų gali pakeisti atominę elektrinę. Raskite skaičiavimams reikalingas reikšmes arba suformuluokite pagrįstas prielaidas.
- e) Tipiška vidutinio dydžio vėjo turbina per metus pagamina maždaug 5.1 GWh. Kaip šį skaičių palyginti su reikšme, kurią apskaičiavote c punkte? Pagalvokite, kokios galimos šių skirtumų priežastys, ir apskaičiuokite, kiek vėjo turbinų reikėtų atominei elektrinei pakeisti, jei visos vėjo turbinos pagamintų 5.1 GWh per metus.
- f) Branduolinės energijos naudojimas jau seniai kelia daug diskusijų. Pagalvokite ir nuspręskite, ką jūs manote apie branduolinę energetiką. Kuo išsamiau atsakykite į šiuos klausimus: kokie yra branduolinės ir vėjo energijos privalumai ir trūkumai? Kodėl sudėtinga branduolinę energiją visiškai pakeisti vėjo energija?

Siūlomi atsakymai ir sprendimai

a) Betzo dėsnio kintamųjų matavimo vienetų analizė (vienodinimas):

- P – galia, kuri matuojama vatais (W)
- ρ – oro tankis, matuojamas kilogramais kubiniame metre (kg/m^3)
- r – spindulys, matuojamas metrais (m). Spindulys – tai atstumas nuo vėjo turbinos rotoriaus centro iki rotoriaus mentės krašto.
- v – vėjo greitis, matuojamas metrais per sekundę (m/s).

Betzo dėsnio kairioji pusė išreikšta vatais (W). Dešinėje Betzo dėsnio pusėje nurodyti Džauliai per sekundę (J/s). Tai pavaizduota taip:

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \text{m}^2 \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^3} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Iš čia matyti, kad Džaulio vienetas yra išvestinis SI vienetas, kurį taip pat galima išreikšti taip: $\text{J} = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$. Todėl kairė ir dešinė pusės turi tuos pačius vienetus, nes $W = \text{J}/\text{s}$.

b)

$$v(50) = 15 \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0.16} \approx 19.4 \text{ m/s}$$

Iš skaičiavimų matyti, kad 10 metrų aukštyje vėjui pučiant 15 m/s, vėjo greitis 50 metrų aukštyje yra šiek tiek didesnis nei 19 m/s.

c) Vidutinio dydžio vėjo turbinų, skirtų komerciniam naudojimui, rotoriaus menčių spindulys paprastai svyruoja nuo 20 iki 60 metrų. Galingiausių vėjo turbinų, naudojamų didesnėse vėjo jėgainėse, rotoriaus menčių spindulys gali viršyti 100 metrų. Tarkime, kad šios vėjo turbino aukštis (h) yra 150 metrų, spindulys (r) – 50 metrų, o $v(10) = 15$ m/s.

Pirmiausia apskaičiuojamas vėjo greitis 150 metrų aukštyje:

$$v(150) = 15 \cdot \left(\frac{150}{10}\right)^{0.16} \approx 23.1 \text{ m/s}$$

Tada pagal Betzo dėsnį apskaičiuojama teoriškai didžiausia galia. Oro tankis yra maždaug 1.2 kg/m^3 .

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{1.2 \cdot \pi \cdot 50^2 \cdot 23.1^3}{2} \approx 34.4 \text{ MW}$$

d) Atominės elektrinės pagaminama energija priklauso nuo kelių veiksnių, įskaitant reaktoriaus tipą, galingumą, veikimo laiką ir efektyvumą. Čia darome prielaidą, kad atominė elektrinė per metus pagamina 7 TWh (arba 7000 GWh per metus). Tai įprasta didesnės atominės elektrinės pagaminamos energijos reikšmė.

Teoriškai didžiausia vėjo turbino elektros energijos gamyba (E) per vienerius metus apskaičiuojama teoriškai didžiausią galią (P) padauginus iš laiko (t) valandomis per metus:

$$E = P \cdot t = 34.4 \text{ MW} \cdot 24 \text{ valandos per dieną} \cdot 365 \text{ dienos per metus} \approx 301 \text{ GWh per metus}$$

Toliau apskaičiuojamas vėjo turbinų, reikalingų atominei elektrinei pakeisti, skaičius:

$$\text{Vėjo turbinų skaičius} = \frac{7000 \text{ GWh per metus}}{301 \text{ GWh per metus}} \approx 23$$

Apskaičiavus matyti, kad norint pakeisti atominę elektrinę, kuri per metus pagamina 7 TWh, reikia 23 vėjo turbinų.

e) Apskaičiuota reikšmė (301 GWh per metus) yra gerokai didesnė už vidutinės realios vėjo turbino (5.1 GWh per metus) reikšmę. Taip yra iš dalies dėl to, kad vėjas ne visada pučia tokiu greičiu, kokio reikia didžiausiam efektyvumui pasiekti, ir iš dalies dėl to, kad neatsižvelgėme į visus trinties nuostolius.

Vėjo turbinų, reikalingų atominei elektrinei pakeisti, skaičius, jei visos vėjo turbino per metus pagamintų 5.1 GWh, apskaičiuojamas taip:

$$\text{Vėjo turbinų skaičius} = \frac{7000 \text{ GWh per metus}}{5.1 \text{ GWh per metus}} \approx 1372$$

f) Branduolinė ir vėjo energija turi savų privalumų ir trūkumų. Nors vėjo energija yra švari, jos galia priklauso nuo vėjo sąlygų, todėl kyla sunkumų užtikrinant nuolatinį tiekimą. Būtina nedelsiant naudoti arba kaupti energiją, kad ji tiksliai atitiktų paklausą ir būtų išvengta konversijos nuostolių. Branduolinė energija yra ekologiška, tačiau jos jėgainių statyba brangi, be to, kyla saugumo ir atliekų šalinimo problemų.

Branduolinę energiją visiškai pakeisti vėjo energija yra sudėtinga. Dėl vėjo nepastovumo stabilumui užtikrinti reikia papildomų energijos šaltinių, pavyzdžiui, hidroenergijos. Vėjo nenuspėjamumas apsunkina tinklo valdymą. Branduolinė energija užtikrina stabilų ir nuolatinį energijos tiekimą. Pereinant prie šios technologijos reikia atnaujinti infrastruktūrą ir investuoti į energijos kaupimo technologijas.

Siektini rezultatai

Mokiniai supranta vėjo energijos technologiją, moka suvienodinti matavimo vienetus, analizuoja fizikinius ryšius, pavyzdžiui, Betzo dėsnį, konvertuoja vienetus ir apskaičiuoja vėjo greičio kitimą, atsižvelgdami į aukštį. Šių rezultatų tikslas – pagilinti mokinių supratimą apie vėjo energetiką ir jos praktinį fizikinį pritaikymą. Paskutinio klausimo idėja – pateikti atvirą užduotį, kurią atlikdami mokiniai galėtų pateikti argumentus, pagrįstus savo skaičiavimais ir kitais svarbiais faktais.

Kad palengvintumėte užduotį, kaip mokytojas, galite pateikti mokiniams visas skaičiavimams reikalingas reikšmes.