



Vēja enerģija

Aprēķināšana (aptuveni 60 minūtes)

Uzdevuma apraksts

Salīdzinot elektroauto un dīzeļmotora automašīnas kārtis, elektroauto šķiet esam labāks klimata ietekmes ziņā. Tomēr tas atkarīgs no elektrības ražošanas veida, kas dažādās valstīs ir atšķirīgs. Elektrību var, piemēram, ražot hidroelektrostacijās, atomelektrostacijās, ar vēja turbīnām vai sadedzinot fosilo kurināmo, tādu kā ogles vai dabasgāze.

Vēja enerģija mūsdienās apmierina apmēram 17 % no Eiropas pieprasījuma pēc elektrības, bet dažās valstīs – daudz lielāku daļu (pēc [Wind Europe](#) datiem). Vēja enerģija tiek izmantota aizvien vairāk, ir ticams, ka nākotnē tai būs vēl svarīgāka loma elektrības ražošanā.

Šajā uzdevumā jāizpēta, kā darbojas vēja enerģija un kas vajadzīgs, lai AES aizstātu ar vēja parku.

Betza likums ir vēja enerģijas tehnoloģijas pamatprincips. Tas nosaka: teorētiski maksimālais enerģijas daudzums, ko var iegūt no vēja turbīnas, ir 16/27 (vai aptuveni 59 %) no caur to plūstošā gaisa enerģijas.

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

P ir maksimālā enerģija [W], ko var iegūt no vēja turbīnas, ρ [rho; kg/m³] ir gaisa blīvums, r [m] vēja turbīnas rotora rādiuss (tas ir, tā lāpstiņu garums) un v [m/s] ir vēja ātrums rotora augstumā.

Vēja ātrums v dažādos augstumos ir atšķirīgs. Laika prognozē minētais vēja ātrums bieži vien ir 10 metru augstumā, bet vēja turbīnas ir daudz augstākas. Aptuvenais vēja ātrums h metro augstumā ir aprēķināms šādi:

$$v = v(h) = v(10) \cdot \left(\frac{h}{10}\right)^{0,16}$$

$v(10)$ ir vēja ātrums 10 metru augstumā virs zemes.

- Pārlicinieties, ka Betza likuma vienādojuma abās pusēs tiek lietotas vienādas mērvienības.
- Aprēķiniet vēja ātrumu 50 metru augstumā, izmantojot iepriekšējo formulu. Pieņemiet, ka $v(10) = 15$, kas nozīmē, ka vēja ātrums 10 metru augstumā ir 15 m/s.

- c) Aprēķiniet maksimālo teorētiski iegūstamo enerģiju no vēja turbīnas. Atrodiet aprēķinam vajadzīgās vērtības vai izdariat pamatotus pieņēmumus. Varat izvēlēties, vai aprēķināt mazas, vidējas vai lielas vēja turbīnas ražoto enerģiju. Pārbaudiet, vai rezultāts ir izteikts pareizās mērvienībās!
- d) Aplēsiet, cik daudz vēja turbīnu vajadzīgs, lai aizstātu AES. Atrodiet aprēķinam vajadzīgās vērtības vai izdariat pamatotus pieņēmumus.
- e) Tipiska vidēja lieluma vēja turbīna gadā saražo apmēram 5,1 GWh. Kāds ir šis skaitlis salīdzinājumā ar c uzdevumā aprēķināto vērtību? Ja skaitļi atšķiras, kāds tam varētu būt iemesls? Aprēķiniet, cik daudz vēja turbīnu vajadzīgs, lai aizstātu AES, ja tās visas gadā ražotu 5,1 GWh.
- f) Atomenerģijas izmantošana jau sen tiek vērtēta pretrunīgi. Pārdomājiet savu nostāju un mēģiniet pēc iespējas sīkāk atbildēt uz šādiem jautājumiem: kādas ir atomenerģijas un vēja enerģijas priekšrocības un trūkumi? Kāpēc ir grūti atomenerģiju pilnībā aizstāt ar vēja enerģiju?

Iespējamie risinājumi

a) Betza likuma mainīgo mērvienību analīze.

- P nozīmē enerģiju, ko mēra vatos (W).
- ρ nozīmē gaisa blīvumu, ko mēra kilogramos uz kubikmetru (kg/m^3).
- r nozīmē rādiusu, ko mēra metros (m). Rādiuss ir attālums no vēja turbīnas rotora centra līdz rotora lāpstiņas malai.
- v nozīmē vēja ātrumu, ko mēra metros sekundē (m/s).

Vienādojuma kreisajā pusē mērvienības ir izteiktas W (vatos). Labajā pusē mērvienības ir izteiktas J/s (džoulos sekundē), ko pieraksta šādi:

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

Tas izriet no fakta, ka džouls ir atvasināta mērvienība, ko var izteikt arī šādi $\text{J} = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$.

Tādējādi vienādojuma kreisajā un labajā pusē ir vienas un tās pašas mērvienības, jo $W = \text{J}/\text{s}$.

b)
$$v(50) = 15 \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0,16} \approx 19,4 \text{ m/s}$$

Aprēķins rāda, ka vēja ātrums 50 metru augstumā ir mazliet lielāks par 19 m/s, ja 10 metru augstumā tas pūš ar ātrumu 15 m/s.

c) Ražošanā izmantotajām vidēja lieluma vēja turbīnām parasti rotora lāpstiņu rādiuss ir no 20 līdz 60 metriem. Lielākos vēja parkos spēcīgākajām turbīnām rotora lāpstiņu rādiuss var būt pāri par 100 metriem. Pieņemsim, ka šai vēja turbīnai augstums (h) ir 150 metri, rādiuss (r) 50 metri un ka $v(10)=15 \text{ m/s}$.

Vispirms tiek aprēķināts vēja ātrums 150 metru augstumā:

$$v(150) = 15 \cdot \left(\frac{150}{10}\right)^{0,16} \approx 23,1 \text{ m/s}$$

Pēc tam aprēķina teorētiski maksimālo enerģiju, izmantojot Betza likumu. Gaisa blīvums ir aptuveni $1,2 \text{ kg/m}^3$.

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 50^2 \cdot 23,1^3}{2} \approx 34,4 \text{ MW}$$

d) Atomelektrostacijā saražotās enerģijas daudzums ir atkarīgs no vairākiem faktoriem, tostarp reaktora tipa, tā jaudas, darbošanās ilguma un efektivitātes. Šeit pieņemam, ka AES ražo 7 TWh gadā (vienāds ar 7000 GWh gadā), kas ir lielākām AES raksturīgs daudzums.

Vēja turbīnas teorētiski maksimālā saražotā elektrība gada laikā (E) tiek aprēķināta, sareizinot teorētiski maksimālo enerģiju (P) ar laiku (t) stundās vienā gadā:

$$E = P \cdot t = 34,4 \text{ MW} \times 24 \text{ h/dienā} \times 365 \text{ dienas/gadā} \approx 301 \text{ GWh/gadā}$$

Pēc tam aprēķina, cik vēja turbīnu vajag, lai aizstātu AES:

$$\text{Vēja turbīnu skaits} = \frac{7\,000 \text{ GWh/gadā}}{301 \text{ GWh/gadā}} \approx 23$$

Aprēķins rāda: lai aizstātu AES, kas gadā saražo 7 TWh, nepieciešamas 23 vēja turbīnas.

e) Aprēķinātā vērtība (301 GWh/gadā) ir krietni lielāka nekā īstas vēja turbīnas vidējais rādītājs (5,1 GWh/gadā). Daļēji tas tāpēc, ka vējš ne vienmēr pūš pietiekami spēcīgi, lai sasniegtu lielāko efektivitāti, un daļēji tāpēc, ka neņemam vērā visus berzes radītos zudumus.

Nepieciešamo vēja turbīnu skaitu, lai aizstātu AES, ja visas turbīnas ražotu 5,1 GWh gadā, aprēķina šādi:

$$\text{Vēja turbīnu skaits} = \frac{7\,000 \text{ GWh/gadā}}{5,1 \text{ GWh/gadā}} \approx 1372$$

f) Gan atomenerģijai, gan vēja enerģijai katrai ir savi plusi un mīnusi. Vēja enerģija ir tīra, taču tās produktivitāte ir atkarīga no laikapstākļiem un ir grūti nodrošināt nemainīgu apgādi. Ir būtiski svarīgi iegūto elektrību izmantot tūlīt vai uzkrāt, tikpat daudz, kāds ir pieprasījums, lai izvairītos no pārveides radītajiem zaudējumiem. Atomenerģija ir videi draudzīga, taču tai ir lielas izmaksas būvniecības laikā un tā rada bažas attiecībā uz drošību un atkritumu noglabāšanu.

Pilnībā aizstāt atomenerģiju ar vēja enerģiju ir grūti. Vēja nepastāvīguma dēļ stabilitātei ir vajadzīgi papildu enerģijas avoti, tādi kā HES. Vējam piemītošā neprognozējamība sarežģī elektrotīkla pārvaldību. AES sniedz stabilu, nepārtrauktu enerģijas apgādi. Lai pārietu uz vēja enerģiju, jāatjauno infrastruktūra un jāveic ieguldījumi enerģijas uzkrāšanas tehnoloģijā.

Paredzamie mācību rezultāti

Skolēni gūst ieskatu vēja enerģijas tehnoloģijā, analizē mērvienības fizikas vienādojumos, tādos kā Betza likums, pārveido mērvienības un aprēķina vēja ātruma variantus atkarībā no augstuma. Tas vajadzīgs, lai padziļinātu izpratni par vēja enerģiju un to izmantotu fizikas praksē. Pēdējais jautājums domāts, lai skolēni varētu argumentēt savu viedokli, balstoties pašu veiktos aprēķinos un citos atbilstīgos faktos.

Lai atvieglotu uzdevumu, skolotājs var skolēniem iedot visas aprēķinos vajadzīgās vērtības.