



Vindkraft

Beräkningsuppgift (ca 60 min)

Uppgiftsbeskrivning

Om du jämför korten som handlar om elbilar och dieslbilar så framstår elbilar som mycket mer klimatsmarta. Det beror dock på hur elen som elbilarna drivs med tillverkas. Siffrorna på korten i Klimatkoll bygger på utsläpp från svensk elmix som kommer bland annat från vattenkraft, kärnkraft, vindkraft och naturgas (fossilgas).

Den här uppgiften går ut på att undersöka hur vindkraft fungerar och vad som skulle krävas för att ersätta Sveriges kärnkraft med vindkraft.

Betz lag beskriver ett samband som kan används för att beräkna effekten hos ett vindkraftverk:

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

Där $[\text{kg/m}^3]$ är luftens densitet, r [m] är vindsnurrans radie (rotorbladens längd) och v [m/s] är vindens hastighet. Faktorn anger den maximala effekten som går att utvinna från vinden. Det är nämligen inte möjligt att utvinna all rörelseenergi så att det blir helt vindstilla bakom vindkraftverket.

Vindhastigheten v varierar på olika höjd. Den vind som SMHI mäter och som anges i väderleks-rapporter är vindhastigheten på 10 meters höjd, $v(10)$. Ett ungefärligt värde för vinden vid höjden h meter ges av sambandet (Österman, 2010):

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



I beräkningarna nedan kan du anta att $v(10)=15$, dvs att vindhastigheten på 10 meters höjd är 15 m/s.

- a) Beräkna effekten för ett vindkraftverk när det blåser 15 m/s. Ta själv reda på de värden som du behöver använda i beräkningen.
- b) Använd enhetsanalys för att kontrollera sambandet för Betz lag.
- c) Beräkna med hjälp av formeln ovan den ungefärliga vindhastigheten på 50 meters höjd.
- d) Använd sambanden ovan för att beräkna effekten hos ett vindkraftverk. Ta själv reda på de värden som du behöver använda i beräkningen.
- e) Beräkna hur många vindkraftverk som skulle krävas för att ersätta all kärnkraft i Sverige. Ta själv reda på de värden som du behöver använda i beräkningen.
- f) Ett genomsnittligt vindkraftverk i Sverige ger ungefär 5,1 GWh per år enligt Energimyndigheten (2018). Hur stämmer det överens med det värde som du beräknade? Diskutera vad eventuella skillnader kan bero på, samt beräkna hur många vindkraftverk som skulle krävas för att ersätta kärnkraften om alla vindkraftverk gav 5,1 GWh/år.
- g) Användningen av kärnkraft har länge varit en kontroversiell fråga. Fundera själv och försök att så utförligt som möjligt besvara följande frågor: Vilka fördelar och nackdelar har kärnkraft och vindkraft? Varför tror du att Sverige hittills inte har ersatt all kärnkraft med vindkraft?



Lösningförslag

Denna uppgift är en övning i enhetsanalys, enhetsomvandling, att använda formler och att hitta och använda information. För att göra uppgiften lättare kan du som lärare välja att ge eleverna alla värden. Här är några länkar med användbar information:

- Mått för vindkraftverk och information om vid vilka vindhastigheter de fungerar:
<http://www.vastanvind.se/om-vindkraft/>
- Information om elproduktionen i Sverige:
<https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energj/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/>
- Nackdelar med vindkraft:
<http://www.vindkraftsportalen.se/vindkraft-fakta/vindkraft-nackdelar>

a) Luftens densitet $\rho = 1,2041 \text{ kg/m}^3$. För ett vindkraftverk med radien $r = 50$ meter fås:

$$P \approx \frac{16}{27} \cdot \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 50^2 \cdot 15^3}{2} \approx 9,4 \text{ MW}$$

b) Enhetsanalys:

Betz lag: $P = W$, $\rho = \text{kg/m}^3$, $r = \text{m}$, $v = \text{m/s}$

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{(\rho \pi r^2 v^3)}{2} \rightarrow W = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \text{m}^2 \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \rightarrow W = \frac{(\text{kg} \cdot \text{m}^2) \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \rightarrow W = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

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

d) För ett vindkraftverk med höjden $h = 150$ m och radien $r = 50$ m (Västanvind, u.d.):

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

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 50^2 \cdot 23,1^3}{2} \approx 10,2 \text{ MW}$$

e) År 2017 producerade Sveriges alla kärnkraftverk ca 63 TWh (Holmström, 2018).

Elproduktion hos ett vindkraftverk under ett år: $E = P \cdot t = 10,2 \cdot 24 \cdot 365 = 89,4 \text{ GWh/år}$

$$\text{Antal vindkraftverk} = \frac{\text{Totala elproduktionen från kärnkraft under ett år}}{\text{Elproduktion hos ett vindkraftverk under ett år}} = \frac{63000}{89,4} \approx 705$$



Svar: För att ersätta kärnkraftens 63 TWh/år behövs lite drygt 700 vindkraftverk.

- f) Det beräknade värdet (89,4 GWh/år) är betydligt större än det genomsnittliga värdet för ett verkligt vindkraftverk (5,1 GWh/år). Det beror dels på att det inte alltid blåser så mycket som krävs för att ge maximal effekt och dels på att vi har försummat alla friktionsförluster.

$$\text{Antal vindkraftverk} = \frac{63000}{5,1} \approx 12\,353$$

Om man räknar med den genomsnittliga elproduktionen hos ett vindkraftverk behövs drygt 12 000 vindkraftverk för att ersätta kärnkraften. De kan dock inte byggas var som helst, utan behöver stå i bra vindläge, vilket varierar runt om i Sverige. Generellt sett blåser det mest vid kusterna.

- g) En nackdel med vindkraft är att storleken på elektricitetsproduktionen över tid är beroende av vinden och därför svår att kontrollera. Elektriciteten som produceras behöver användas eller lagras direkt, vilket gör att produktionen helst ska matcha efterfrågan (för att undvika förluster på grund av energiomvandling för lagring). Vinden går inte att reglera på samma sätt som man kan reglera ett kärnkraftverk (Vindkraftsportalen, 2015). Lösningen är att använda vindkraft tillsammans med en annan kraft, till exempel vattenkraft, som är enklare att reglera, och som kan användas som buffert.

Kärnkraften orsakar låg klimatpåverkan men det finns istället flera andra nackdelar med kärnkraftverk såsom att de är mycket kostsamma att bygga, att det finns risk för terroristdåd, samt problem kopplat till brytning av uran och till slutförvaring av det använda kärnbränslet (Naturskyddsföreningen, u.å.).

Tanken med den sista frågan är att det skall vara en fri uppgift där eleverna får argumentera för sin sak baserat på sina beräkningar och annan relevant fakta.

Tips: Läs gärna Energimyndighetens rapport "Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem" (Statens Energimyndighet, 2018).



Koppling till ämnes-/kursplan

Fysik 1, gymnasiet

Koppling till centralt innehåll (Skolverket, 2019)

- Ställningstaganden i samhällsfrågor utifrån fysikaliska förklaringsmodeller, till exempel frågor om hållbar utveckling.
- Utvärdering av resultat och slutsatser genom analys av [...] felkällor.

Koppling till kunskapskraven (Skolverket, 2019)

- Eleven diskuterar frågor som rör fysikens betydelse för individ och samhälle.
- Vidare tolkar eleven sina resultat, utvärderar sina metoder och motiverar sina slutsatser.
- Eleven [...] analyserar och löser problem.
- Eleven värderar också modellens giltighet och begränsningar.

Referenser

- Energimyndigheten (2018) *Teknik: Hur fungerar ett vindkraftverk?* Hämtad från: <http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/Energibarare/Fornybar-energi/Vind/Teknik/>
- Holmström, C. (2018) *Elproduktion*. Hämtad från: <https://www.ekonomifakta.se/Fakta/Energi/Energibalans-i-Sverige/Elproduktion/>
- Naturskyddsföreningen (u.å). *Allt du behöver veta om kärnkraftens framtid*. Hämtad 20 maj, 2019, från: <https://www.naturskyddsforeningen.se/karnkraft>
- Skolverket (2019) *Ämne - fysik*. Hämtad från: <https://www.skolverket.se/undervisning/gymnasieskolan/>
- Statens Energimyndighet (2018) *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem*. Hämtad från <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=574>
- Västanvind (u.å.) *Om vindkraft*. Hämtad 20 maj, 2019, från <http://www.vastanvind.se/om-vindkraft/>
- Österman, A. (2010) *Vindens ökning med höjden*. NA - En del av MittMedia. Hämtad från: <https://www.na.se/artikel/vindens-okning-med-hojden>