

## 4 Wiatr

*Wielka Brytania dysponuje najlepszymi zasobami wiatru w Europie.*

Komisja ds. Zrównoważonego Rozwoju

*Farmy wiatrowe zniszczą wiejski krajobraz, do tego zupełnie bezsensownie.*

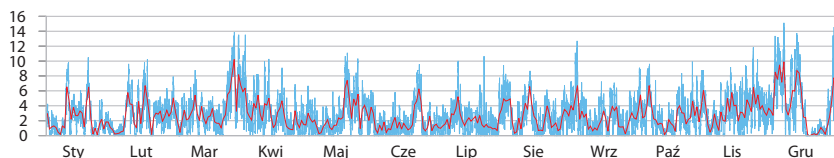
James Lovelock

Jak wiele energii wiatrowej moglibyśmy potencjalnie wytworzyć?

Możemy oszacować potencjał wiatru wiejącego na lądzie w Wielkiej Brytanii poprzez pomnożenie średniej mocy farm wiatrowych na jednostkę powierzchni przez powierzchnię przypadającą na osobę w Wielkiej Brytanii:

moc na osobę = moc wiatru na jedn. pow. x jedn. pow. na osobę.

Rozdział B (str. 279) wyjaśnia, jak oszacować moc na jednostkę powierzchni, dostarczaną przez farmę wiatrową w Wielkiej Brytanii. Jeśli typowa prędkość wiatru wynosi 6 m/s (22 km/h), to moc farmy wiatrowej na jednostkę powierzchni jest równa  $2 \text{ W} / \text{m}^2$ .

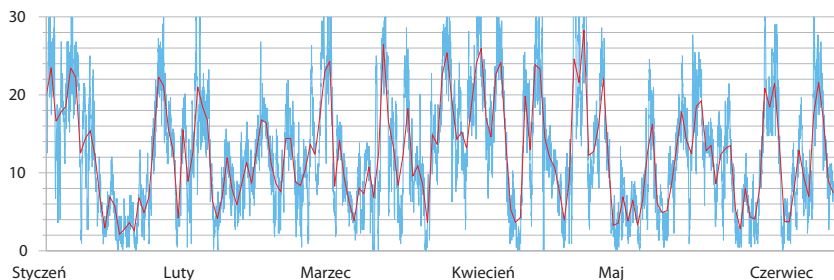


Prawdopodobnie prędkość wiatru równa 6 m/s dla wielu miejsc w Wielkiej Brytanii jest przeszacowana. Na przykład rys. 4.1 przedstawia średnie dzienne prędkości wiatru w Cambridge w roku 2006. Osiągają one tam 6 m/s zaledwie przez 30 dni w roku – histogram znajduje się na rys. 4.6. Jednakże w niektórych miejscach średnie prędkości wiatru przekraczają 6 m/s – na przykład, na szczycie góry Cairngorm w Szkocji (rys. 4.2).

Włączając do obliczeń gęstość zaludnienia w Wielkiej Brytanii, czyli 250 osób na kilometr kwadratowy – lub inaczej mówiąc 4000 m<sup>2</sup> na osobę, stwierdzimy, że farmy wiatrowe mogą wygenerować:

$$2 \text{ W} / \text{m}^2 \times 4000 \text{ m}^2 / \text{osobę} = 8000 \text{ W na osobę}$$

To wartość uzyskana przy założeniu, że farmy wiatrowe byłyby upakowane na powierzchni całego kraju oraz zakładając, że 2 W/m<sup>2</sup> jest poprawną wielkością mocy na jednostkę powierzchni. Zamieniając ten wynik na naszą ulubioną jednostkę mocy, otrzymamy 200 kWh/dobę na osobę.



Fot. 4.1. Średnia prędkość wiatru w metrach na sekundę w Cambridge dziennie (czerwona linia) oraz co pół godziny (błękitna linia) w roku 2006.

Spójrz także na rys. 4.6



Rys. 4.2. Średnia prędkość wiatru w Cairngorm, przez sześć miesięcy w 2006 roku (w metrach na sekundę)

Bądźmy jednak realistami. Jaką część kraju możemy wyobrazić sobie rzeczywistość pokrytą wiatrakami? Może 10%? Wniosek z tego taki, że jeśli pokryjemy wiatrakami (dostarczającymi  $2 \text{ W/m}^2$ ) najbardziej wietrzne 10% powierzchni kraju, to będziemy w stanie wygenerować **20 kWh/dobę na osobę**, co stanowi połowę mocy zużywanej na przejeżdżanie 50 km dziennie przeciętnym samochodem napędzanym paliwami kopalnymi.

Może i lądowe zasoby wiatrowe Wielkiej Brytanii są *ogromne*, jednakże ewidentnie nie są wystarczające, by zaspokoić nasze *ogromne* zużycie energii. Do farm wiatrowych położonych na morzu przejdziemy później.

Prędkość wiatru w Polsce, średnio rzecz biorąc, jest trochę niższa niż w Wielkiej Brytanii, jednak są to niewielkie różnice, którą w dużym stopniu możemy skompensować, budując trochę wyższe wiatraki. Średnią prędkość wiatru wynoszącą  $6 \text{ m/s}$  w miejscach o bardzo dobrych warunkach wiatrowych mamy na wysokości około 60–80 m, co dość dobrze odpowiada wysokości budowanych wiatraków. Jednak raczej nie znajdziemy 30 000  $\text{km}^2$  dopuszczonych do zabudowy miejsc o tak dobrych warunkach wiatrowych. Założmy więc, że nasze wiatraki będą stać w miejscach ze średnią prędkością wiatru na poziomie  $5,5 \text{ m/s}$ . Oznacza to moc na jednostkę powierzchni równą  $1,5 \text{ W/m}^2$ .

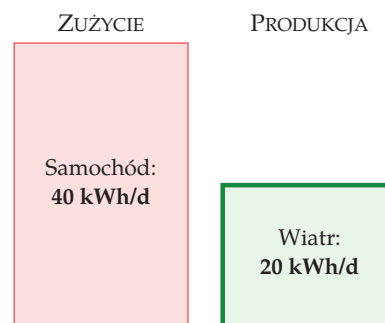
W Polsce na 1 osobę przypada  $8000 \text{ m}^2$ , czyli dwa razy więcej niż w Wielkiej Brytanii, co daje nam moc całkowitą rzędu 30 kWh na osobę dziennie. Czyniąc za Davidem założenie, że zabudowujemy farmami wiatrowymi, wiatrak przy wiatraku, 10 procent powierzchni Polski, dostajemy ostatecznie wynik 30 kWh/dobę na osobę, czyli znacząco lepiej niż w Wielkiej Brytanii.

Powinienem szczególnie podkreślić, jak szczodre są poczynione przeze mnie założenia. Porównajmy nasze oszacowanie brytyjskiego potencjału wiatrowego z obecnie istniejącą infrastrukturą wiatrową na świecie. Liczba wiatraków, które byłyby potrzebne do zaopatrzenia Wielkiej Brytanii w 20 kWh/dobę na osobę, jest 50 razy większa od całej infrastruktury wiatrowej Danii, 7 razy większa niż na wszystkich farmach wiatrowych Niemiec i dwa razy większa od liczby wszystkich istniejących turbin wiatrowych na świecie.

Proszę, nie zrozumcie mnie źle. Czy mówię, że nie powinniśmy zwracać sobie głowy budowaniem farm wiatrowych? Wcale nie. Po prostu staram się przekazać pomocny w rozważaniach fakt, że gdybyśmy chcieli, aby energetyka wiatrowa rzeczywistość miała znaczenie, to farmy wiatrowe muszą pokrywać naprawdę *ogromne* powierzchnie.

Wniosek ten – że maksymalny udział wiatru na lądzie, choć *ogromny*, nie pokrywa naszego zapotrzebowania – jest istotny. Zweryfikujmy zatem kluczową wielkość – założoną przez nas moc farmy wiatrowej na jednostkę powierzchni ( $2 \text{ W/m}^2$ ) i porównamy ją z wartością odpowiadającą rzeczywistej brytyjskiej farmie wiatrowej.

Farma wiatrowa Whitelee, położona niedaleko Glasgow w Szkocji, posiada 140 turbin o łącznej mocy *szczytowej* wynoszącej 322 MW; całość przypada na powierzchnię  $55 \text{ km}^2$ , co oznacza *maksymalnie*  $6 \text{ W/m}^2$ . Średnia generowana moc jest mniejsza, ponieważ turbiny nie pracują z maksymalną mocą przez cały czas. Stosunek średniej mocy do mocy szczytowej nazywany jest *współczynnikiem obciążenia* lub *współczynnikiem wykorzystania mocy*. Jego wielkość może być bardzo zróżnicowana w zależności od miejsca, do którego się odnosi. Zazwyczaj współczynnik ten dla dobrze umiejscowionej farmy wiatrowej z nowoczesnymi



Rys. 4.3. Wnioski z rozdziału 4: Maksymalna rzeczywista moc wyprodukowana przez lądowe elektrownie wiatrowe w Wielkiej Brytanii, zajmujące 10% powierzchni kraju, wynosi 20 kWh/dobę na osobę.

#### MOC NA JEDNOSTKĘ POWIERZCHNI

farma wiatrowa	$2 \text{ W/m}^2$ (prędkość $6 \text{ m/s}$ )
----------------	--

Tabela 4.4. Fakty godne zapamiętania: farmy wiatrowe

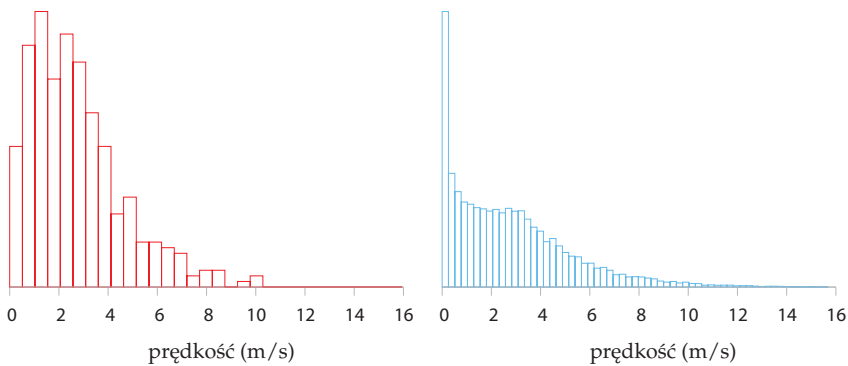
#### GĘSTOŚĆ ZALUDNIENIA W WIELKIEJ BRYTANII

250 na $\text{km}^2$ ↔ 4000 $\text{m}^2$ na osobę
---

Tabela 4.5. Fakty godne zapamiętania: gęstość populacji. Na stronie 351 znajduje się więcej danych dotyczących zagęszczenia ludności.

turbinami wynosi 30%. Jeśli założymy, że Whitelee ma współczynnik obciążenia równy 33%, to średnia produkcja mocy na jednostkę powierzchni wynosi  $2 \text{ W/m}^2$ , a więc dokładnie tyle samo, ile obliczyliśmy wcześniej.

Farma wiatrowa Karcino, zlokalizowana niedaleko Kołobrzegu, posiada 17 turbin Vestas typu V90-3 o średnicy wirników 90 m, zamontowanych na wieżach o wysokości 105 m. W tym miejscu o bardzo dobrych warunkach wiatrowych i na tak dużej wysokości średnia prędkość wiatru wynosi  $7 \text{ m/s}$ . Łączna moc szczytowa wynosi 51 MW i przypada na powierzchnię  $6 \text{ km}^2$ , czyli moc maksymalna farmy wynosi  $8,5 \text{ W/m}^2$ . Uruchomiona w 2010 roku farma ma wytwarzać 120 GWh rocznie, co oznacza średnią produkcję mocy na jednostkę powierzchni równą  $2,3 \text{ W/m}^2$ . Trochę więcej niż w obliczeniach, jest to jednak przykład elektrowni położonej w szczególnie sprzyjającym miejscu i wyposażonej w bardzo wysokie wiatraki.



Rys. 4.6. Histogram przedstawiający średnią prędkość wiatru w Cambridge w metrach na sekundę: średnie dobowe (po lewej) oraz średnie półgodzinne (po prawej)

## Pytania

*Buduje się coraz większe turbiny wiatrowe. Czy większy rozmiar turbin może wpłynąć na wnioski płynące z tego rozdziału?*

Odpowiedź na to pytanie znajduje się w rozdziale B. Większe turbiny wiatrowe pozwalają osiągnąć większą opłacalność ekonomiczną, jednak nie zwiększają znacząco całkowitej mocy na jednostkę powierzchni, ponieważ większe wiatraki muszą się znajdować w większych odległościach od siebie. Farma wiatrowa o dwa razy większej wysokości dostarczy około 30% więcej mocy.

*Energia wiatru stale ulega zmianom. Na pewno czyni to energetykę wiatrową mniej użyteczną.*

Możliwe. Wrócimy do tej sprawy w rozdziale 26, gdzie bliżej przyjrzymy się sporadyczności wiatru oraz rozważymy kilka możliwych rozwiązań tego problemu, w tym magazynowanie energii oraz zarządzanie zapotrzebowaniem.

## Przypisy i zalecana literatura

Numer strony:

- 40 Rys. 4.1 i rys. 4.6. Dane dotyczące wiatru w Cambridge pochodzą z Digital Technology Group, Computer Laboratory, Cambridge [vxhhj]. Stacja meteorologiczna znajduje się na dachu budynku Gates, o wysokości około 10 m. Prędkości wiatru na wysokości 50 m są zazwyczaj o 25% większe. Dane dotyczące Cairngorm (rys. 4.2) pochodzą z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Heriot-Watt. [tdvml].
- 41 Liczba wiatraków, które byłyby potrzebne do zaopatrzenia Wielkiej Brytanii w 20 kWh/dobę na osobę wynosi 50 razy więcej niż całkowita infrastruktura wiatrowa Danii. Zakładając, że współczynnik obciążenia wynosi 33%, to średnia moc 20 kWh/dobę na osobę wymaga zainstalowania urządzeń o mocy 150 GW. Pod koniec roku 2006 Dania posiadała zainstalowane urządzenia o mocy 3,1 GW, zaś Niemcy 20,6 GW. Całkowita moc generowana przez elektrownie wiatrowe świata wynosiła 74 GW (wwindea.org). Dodatkowo współczynnik obciążenia duńskich wiatraków wynosił 22% w 2006 roku, zaś średnia moc przez nie dostarczana była równa 3 kWh/dobę na osobę.
- Załóżmy więc, że nasze wiatraki będą stać w miejscach ze średnią prędkością wiatru na poziomie 5,5 m/s. Oznacza to moc na jednostkę powierzchni równą  $1,5 \text{ W/m}^2$ . Energia wiatru wzrasta z sześcianiem jego prędkości. Skoro przy prędkości wiatru równej 6 m/s dostępna moc na jednostkę powierzchni wynosi  $2 \text{ W/m}^2$ , to dla prędkości 5,5 m/s moc ta będzie wynosić  $(5,5/6)^3 * 2 \text{ W/m}^2 = 1,5 \text{ W/m}^2$ .