

14 Pływy

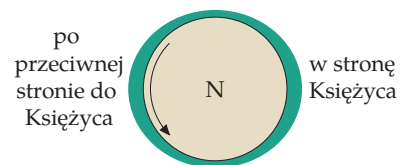
Księżyc i Ziemia krążą w wirującym piruecie wokół Słońca. W ciągu roku razem okrążają Słońce, krążąc jednocześnie wokół siebie co 28 dni. Księżyc obraca się wokół własnej osi również co 28 dni, kierując w stronę Ziemi wciąż tę samą stronę swojego oblicza. Primadonna Ziemia nie odwzajemnia jednak tej grzeczności i obraca się wokół własnej osi w ciągu 24 godzin. Cały ten taniec odbywa się dzięki siłom grawitacji, przyciągającym ku sobie każdą cząsteczkę aktorów tego przedstawienia. Wszystko jest *prawie* idealnie zrównoważone. I właśnie owo *prawie* wywołuje pływy. [Księżyc przyciąga wodę na skierowanej ku niemu stronie Ziemi nieco *mocniej* niż samą Ziemię, więc woda ta wyrzusza się w stronę Księżycą. Z kolei woda po przeciwnej do Księżycą stronie Ziemi jest przyciągana *słabiej*, przez co tam również powstaje garb. Podobnie na oceany działa Słońce – *red.*]

Zaburzenia wywołwane przez Księżyc są mniej więcej trzykrotnie większe niż te związane z oddziaływaniem Słońca, tak więc wielkość garbów wody (a więc przypliwów) zależy od fazy Księżycą, czyli ustawienia Księżycą względem Słońca. W pełni i nowiu (czyli wtedy, kiedy Księżyc i Słońce są ustawione w jednej linii) następuje wzajemne wzmocnienie ich działania i wtedy pływy są największe (tzw. pływy syzygijne) – zjawisko to występuje co dwa tygodnie. Kiedy zaś Księżyc jest w kwadrze (czyli kiedy Księżyc, Ziemia i Słońce tworzą kąt prosty), pływy częściowo znoszą się i są najsłabsze (tzw. pływy kwadraturowe). Wysokość, a także prędkość przypliwów i odpływów syzygijnych jest mniej więcej dwukrotnie większa niż pliwów kwadraturowych.

Dlaczego są dwa przyplivy i dwa odpływy dziennie? Gdyby Ziemia była idealnie gładka, jak kula bilardowa, efekt działania Księżycą deformowałby oceany na kształt piłki do rugby (rys. 14.1). Osoba mieszkająca na równiku naszej Ziemi-bili, obracającej się co 24 godziny wewnątrz kokonu wody, zauważyłaby, że poziom wody podnosi się, po czym opada dwa razy dziennie – raz podczas przechodzenia „nosa” piłki, a drugi raz – jej „ogona”.

Ten uproszczony obrazek odbiega jednak od rzeczywistości. Ziemia wcale nie jest gładka, nie jest też jednolicie pokryta wodą. Dwa garby wody nie mogą sobie bezkarnie krążyć wokół Ziemi, bo przeszkadzają im w tym kontynenty. Rzeczywiste zachowanie się pliwów jest zatem bardziej skomplikowane. Na wielkich obszarach oceanicznych, takich jak Ocean Atlantycki, grzbiety i doliny fali pliwowej – niezdolne do swobodnego obieganania Ziemi – pędzą zamiast tego wokół granic Oceanu. Na Północnym Atlantyku mamy dwa grzbiety, okrążające ocean w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara raz na dobę. W Wielkiej Brytanii nie widzimy bezpośrednio tych atlantyckich grzbietów i dolin pliwowych – jesteśmy oddzieleni od właściwego Atlantyku przez kilkaset mil brodzika zwanego szelfem kontynentalnym. Następujące po sobie grzbiety i doliny dzieli sześć godzin, a dokładniej sześć godzin i kwadrans, bo czas pomiędzy kolejnymi wschodami Księżycą to mniej więcej 25 godzin, a nie 24 godziny.

Prędkość przemieszczania się grzbietów i dolin pliwowych zależy od głębokości wody. Im płycej, tym wolniej się one przemieszczają i tym większa jest ich wysokość. Daleko na oceanie fale pliwowe mają kilkadziesiąt centymetrów wysokości, a docierając do europejskich estuariów, ujść rzecznych, mogą urosnąć nawet do 4 metrów. Na półkuli północnej siła Coriolisa (związana



Rys. 14.1. Ocean pokrywający gładką jak kula bilardowa Ziemię. Patrzymy w dół znad bieguna północnego, Księżyc znajduje się 60 cm na prawo, poza kartką. Ziemia obraca się raz dziennie wewnątrz powłoki wody o kształcie piłki do rugby. Oceany rozciągają się w stronę Księżycą i od niego, gdyż siły grawitacji działają mocniej na znajdujące się bliżej niego cząsteczki oceanu, zaś cząsteczki wody znajdujące się z drugiej strony planety przyciągane są słabiej. Osoba stojąca na równiku (obracającym się w kierunku pokazanym strzałką), zobaczy dwa przyplivy i dwa odpływy dziennie.

z uchem obrotowym Ziemi, działająca jedynie na przemieszczające się obiekty), pcha grzbiety i doliny fal do prawego brzegu. Z tego powodu pływy w kanale La Manche są większe po stronie francuskiej. Podobnie, grzbiety i doliny wchodzące na Morze Północne wokół Orkadów są pchane do brzegów Anglii, podróżując do ujścia Tamizy, a potem dalej wzdłuż brzegów Holandii aż do Danii.

Energia pływów bywa też nazywana energią księżycową, gdyż to naszemu naturalnemu satelicie zawdzięczamy powstawanie fal pływowych. Tak naprawdę większość energii pływów pochodzi jednak z energii obrotowej Ziemi. W wyniku działania pływów Ziemia zwalnia. [To dlatego u zarania ery dinozaurów doba była o godzinę krótsza – red.]

W jaki sposób możemy zatem wykorzystać ową energię pływów i jak wiele energii możemy w ten sposób pozyskać?

Wstępne oszacowanie energii pływów

Kiedy myślisz o energii pływów, mógłbyś pomyśleć o sztucznym zbiorniku umiejscowionym nieopodal morza. Zbiornik ten posiada koło wodne, które obraca się, kiedy zbiornik napełnia się lub opróżnia (rys. 14.2 i 14.3). Rozdział G pokazuje, jak oszacować moc możliwą do uzyskania z takich zbiorników pływowych. Przyjmując wysokość pływów 4 m, typową dla europejskich estuariów, maksymalna moc instalacji opartych na takich sztucznych zbiornikach pływowych – napełnianych szybko podczas szczytu przyprływu i opróżnianych kiedy poziom wody jest najniższy, przy generowaniu energii podczas przepływu wody w obu kierunkach – wynosi około 3 W/m^2 . To wynik zbliżony do osiągniętych przybrzeżnej farmy wiatrowej. Wiemy już, jak duże musiałyby być przybrzeżne farmy wiatrowe – aby posiadać moc rzeczywiście znaczącą w bilansie energetycznym, powinny mieć rozmiar kraju. Podobnie zbiorniki pływowe, by mogły dostarczyć energii na skalę porównywalną z naszym całkowitym zużyciem energii, potrzebowałibyśmy zbiorników pływowych o całkowitym obszarze porównywalnym z powierzchnią Wielkiej Brytanii.

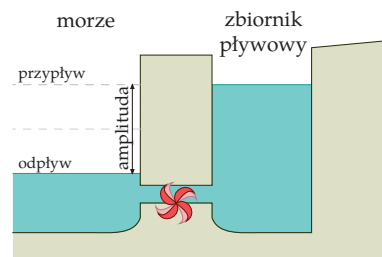
To zdumiewające, ale Wielka Brytania już posiada naturalny zbiornik pływowy właściwych rozmiarów. Jest on znany jako Morze Północne (rys. 14.5). Gdybyśmy po prostu zainstalowali generatory w odpowiednich miejscach, uzyskalibyśmy dość znaczącą moc. Generatory mogłyby wyglądać jak podwodne wiatraki. Ponieważ gęstość wody jest mniej więcej 1000 razy większa niż powietrza, energia przepływu wody również jest 1000 razy większa niż wiatru o tej samej prędkości. Wrócimy za chwilę do farm pływowych, ale najpierw przedyskutujemy, jak dużo energii przetacza się codziennie wokół Wielkiej Brytanii.

Całkowita moc pływów

Pływy wokół Brytanii są prawdziwymi falami pływowymi – w odróżnieniu na przykład od fal tsunami, które z pływami nie mają nic wspólnego. Prześledźmy drogę grzbieta fali pływowej, wpadającej z Atlantyku na wody kanału La Manche. Godzina szczytu przyprływu staje się coraz późniejsza, w miarę jak przesuwamy się na wschód od wysp Scilly przez Portsmouth w kierunku Dover. Grzbiet fali pływowej przemieszcza się przez kanał z prędkością około 70 km/h . (Grzbiet fali przemieszcza się znacznie szybciej od samej wody, tak jak zwykle fale na morzu przemieszczają się szybciej niż woda). Podobnie, grzbiet fali wpadającej z Atlantyku wokół Szkocji na Morze Północ-



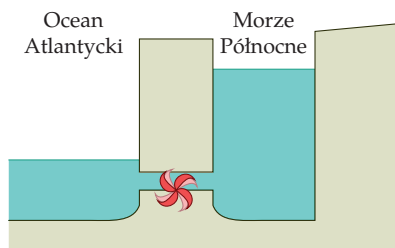
Fot. 14.2 Zbiornik pływowy Woodbridge i młyn pływowy. Fotografie dzięki uprzejmości Teda Evansa



Rys. 14.3. Sztuczny zbiornik pływowy. Zbiornik został napełniony przy wysokim stanie wody, a teraz stan jest niski. Wypuszczamy wodę przez turbiny zamieniając energię potencjalną wody w elektryczność.

Wysokość pływów	Gęstość mocy
2 m	1 W/m^2
4 m	3 W/m^2
6 m	7 W/m^2
8 m	13 W/m^2

Tabela 14.4. Gęstość mocy (moc na jednostkę powierzchni) zbiorników pływowych, przy założeniu wytwarzania prądu zarówno podczas przyprływu, jak i odprływu.



ne przemieszcza się zgodnie z ruchem wskazówek zegara przez Wick do Berwick i Hull z prędkością około 100 km/h. Te dwie fale spotykają się w ujściu Tamizy. Przez przypadek grzbiet z Morza Północnego jest opóźniony o około 12 godzin względem grzbietu z kanału La Manche, grzbiety przypływów nakładają się więc na siebie, a Londyn doświadcza typowego nadejścia dwóch pływów dziennie.

Moc, którą ewentualnie pozyskamy, nigdy nie będzie większa od całkowitej mocy fal pływowych u brzegów Wielkiej Brytanii. Moc pływów, przekraczająca linie wyróżnione na rysunku 14.6, została już obliczona i średnio wynosi 100 kWh dziennie na osobę. Jeśli wyobrazimy sobie przechwycenie 10% tej energii, a następnie wykonanie jej konwersji w elektryczność i transmisji z 50% efektywnością, to średnia dostarczana moc wyniesie **5 kWh dziennie na osobę**.

To jedynie pierwsze orientacyjne obliczenie, przeprowadzone bez precyzowania jakichkolwiek szczegółów technicznych. Teraz oszacujemy moc, która może zostać dostarczona z wykorzystaniem trzech konkretnych rozwiązań: farm strumieni pływowych, zapór i przybrzeżnych lagun pływowych.

Farmy strumieni pływowych

Jednym ze sposobów pozyskiwania energii pływów jest budowa farm pływowych, podobnych do farm wiatrowych. Pierwszym takim podwodnym „wiatrakiem” lub generatorem „strumienia pływowego”, podłączonym do sieci, był „300 kW” zainstalowany w 2003 roku obok norweskiego miasta Hammerfest. Szczegółowe dane o produkcji energii nie zostały opublikowane, nikt też nie zbudował farmy pływowej z więcej niż 1 turbiną, więc aby przewidzieć, ile energii da się w ten sposób wytworzyć, będziemy musieli polegać na prawach fizyki i domysłach.

Zakładając, że zasady budowy rozsądnie pomyślanej farmy strumieni pływowych są podobne do tych dla farm wiatrowych oraz że wydajność turbin będzie podobna do najlepszych turbin elektrowni wiatrowych, możemy wykonać tabelę pokazującą gęstość mocy farmy pływowej w funkcji prędkości przepływu wody (tabela 14.7).

Rys. 14.5. Wyspy Brytyjskie znajdują się w szczęśliwym położeniu: Morze Północne tworzy naturalny basen pływowy, do i z którego dwa razy dziennie płyną olbrzymie ilości wody.



Rys. 14.6. Średnia dopływająca moc księżycowych fal pływowych, przekraczających dwie zaznaczone linie, wynosi 250 GW. Ta moc, rozdzielona na 60 milionów osób, daje 100 kWh dziennie na osobę.

Przyjmując, że prędkość prądu wody na poziomie 2–3 węzłów jest często spotykana, to jest wiele miejsc wokół Wysp Brytyjskich, gdzie możliwe jest osiągnięcie mocy 6 W/m^2 lub większej. Ta moc na jednostkę powierzchni może być porównana z obliczeniami dla farm wiatrowych ($2\text{--}3 \text{ W/m}^2$) i dla farm paneli słonecznych ($5\text{--}10 \text{ W/m}^2$).

Jak wiele energii można uzyskać, zakładając, że nie będzie przeszkód ekonomicznych w wykorzystaniu mocy pływów we wszystkich dobrych lokalizacjach wokół Wysp Brytyjskich? W rozdziale G podajemy prędkości przepływu w najlepszych obszarach u brzegów Wielkiej Brytanii i szacujemy możliwą do pozyskania energię na **9 kWh dziennie na osobę**.

Zapory

Zapory pływowe to sprawdzona technologia. Słynna zapora w La Rance we Francji, gdzie ośmiometrowe pływy pozostawiają niezapomniane wrażenie, od roku 1966 wytwarza średnią moc 60 MW. Pływowe wahania poziomu w ujściu rzeki Severn również należą do szczególnie dużych. W Cardiff wahania poziomu wody sięgają 11,3 m podczas pływów syzygijnych i 5,8 m podczas pływów kwadraturowych. Gdyby zapora została umieszczona w poprzek estuarium pomiędzy Cardiff a Weston-super-Mare, to powstałby zbiornik pływowy o powierzchni 500 km^2 (rys. 14.8). Zauważmy, o ile ten zbiornik byłby większy od ujścia w La Rance. Jaką moc mógłby on dostarczyć, gdybyśmy wpuszczali i wypuszczali wodę w idealnym momencie, wytwarzając energię zarówno podczas przyprływu, jak i cofania się wody? W oparciu o liczby z tabeli 14.4 – gdy różnica poziomów wynosi 11,3 m – średnia moc generowana na zaporze (30 W/m^2) sięgałaby 14,5 GW lub **5,8 kWh/d na osobę**. Gdy różnica poziomów wynosi 5,8 m, średnia moc generowana na zaporze (8 W/m^2) wyniosłaby 3,9 GW lub **1,6 kWh/d na osobę**. Liczby te zakładają, że woda zostałaby wypuszczona do zapory przez turbiny w jednym impulsie podczas przyprływu i szybko wypuszczona w kolejnym podczas odpływu. W praktyce, wpuszczanie i wypuszczanie wody trwałoby kilka godzin, co nieco zmniejszyłoby wytwarzaną moc.

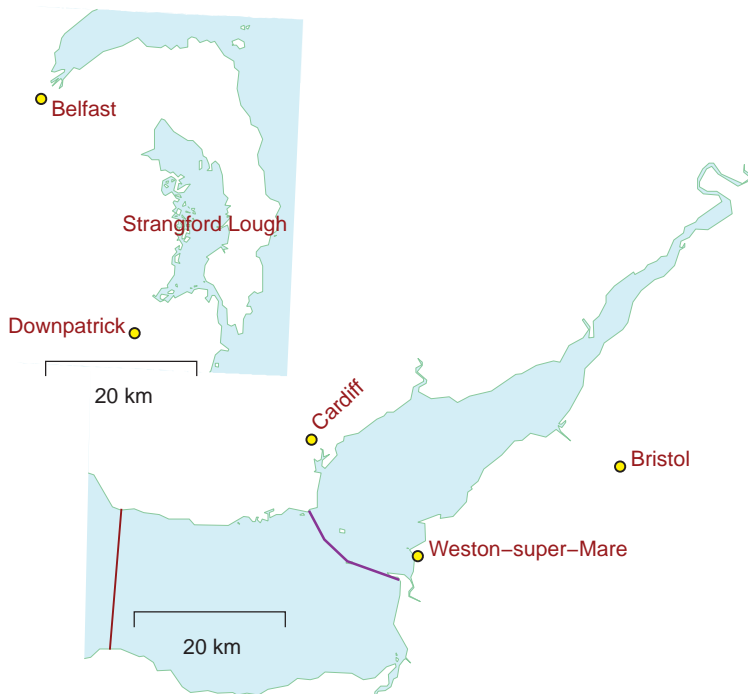
Obecne propozycje konstrukcji zapory zakładają wytwarzanie mocy tylko przy przepływie w jedną stronę. Redukuje to dostarczaną moc o kolejne 50%. Raporty inżynierskie dotyczące zapory Severn mówią, że przy generowaniu mocy jedynie podczas odpływu wytwarzana będzie energia wynosząca średnio **0,8 kWh/d na osobę**. Zapora dawałaby jednocześnie ochronę przed powodziąmi wycenianą na około 120 milionów funtów rocznie.

Laguny pływowe

Laguny pływowe można tworzyć, budując w morzu ściany. Następnie ściany te można wykorzystywać jako sztuczne estuarium. Wymagane warunki do budowy takich lagun to oczywiście płytka woda i duża wysokość pływów. Tutaj działa ekonomia skali: duże laguny pływowe pozwalają wytwarzać elektryczność taniej niż małe. Dwie najlepsze lokalizacje do budowy dużych lagun pływowych to Wash (Morze Północne w pobliżu Anglii Środkowej) i wody w okolicach Blackpool na zachodnim wybrzeżu (rys. 14.9). Mniejsze instalacje mogą być też budowane w północnej Walii, Lincolnshire, południowo-zachodniej Walii oraz wschodnim Sussex.

Prędkość		Gęstość mocy
(m/s)	(węzły)	(W/m^2)
0,5	1	1
1	2	8
2	4	60
3	6	200
4	8	500
5	10	1000

Tabela 14.7. Gęstość mocy farmy pływowej (w watach na metr kwadratowy powierzchni dna morskiego) w funkcji prędkości przepływu wody. (1 węzeł = 1 mila nautyczna na godzinę = $0,514 \text{ m/s}$).

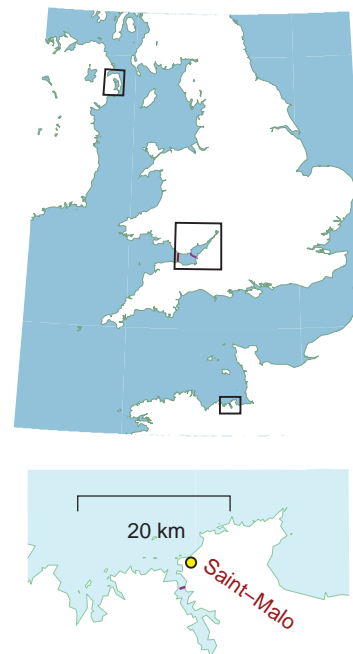


Jeśli dwie laguny zostaną zbudowane obok siebie, można zastosować zreczynny trik i zwiększyć generowaną moc, a także wytwarzać ją wtedy, kiedy jest na nią zapotrzebowanie – niezależnie od stanu pływów. Jedną lagunę oznaczmy jako „górną”, a drugą jako „dolną”. W czasie odpływu część energii wytwarzanej dzięki opróżnieniu górnej laguny może być wykorzystywana do wypompowywania wody z „dolnej” laguny, przez co poziom wody w niej będzie nawet niższy niż otaczającej ją w czasie odpływu wody. Energia wymagana do tej operacji jest następnie odbierana z nawiązką podczas odpływu, gdy wytwarzamy moc wpuszczając do tej laguny wodę. Podobnie, dodatkową wodę można, w-pompować w czasie przyływu do górnej laguny, wykorzystując energię generowaną przez wodę wpadającą do dolnej laguny. W ten sposób, niezależnie od stanu wody, jeden i drugi zbiornik będą w stanie wytwarzać energię. Taka para lagun może też funkcjonować jako elektrownia szczytowo-pompowa, magazynująca niewykorzystaną energię z sieci.

Średnia moc na jednostkę powierzchni w lagunach pływowych w wodach Wielkiej Brytanii może wynosić $4,5 \text{ W/m}^2$. Gdybyśmy zatem stworzyli laguny o powierzchni całkowitej 800 km^2 (jak pokazano na rys. 14.9), wytwarzana moc wyniosłaby $1,5 \text{ kWh/d na osobę}$.

Uroki pływów

Składając wszystko razem – farmy strumieni pływowych, zapory i laguny – stwierdzamy, że mogą nam one dostarczyć w sumie $11 \text{ kWh/d na osobę}$ (rys. 14.10).



Rys. 14.8. Propozycje zapory Severn (na dole, z lewej strony) i Strangford Lough w Irlandii

Północnej (na górze, z lewej strony), pokazane zostały w tej samej skali, co zapora w La Rance (na dole z prawej). Mapa ukazuje dwie proponowane lokalizacje dla zapory Severn. Zapora w Weston-super-Mare dostarczyłaby średniej mocy 2 GW ($0,8 \text{ kWh/d}$ na osobę). Zewnętrzna alternatywa dostarczyłaby dwa razy więcej. Znaczące zasoby pływowe dostępne są też w Irlandii Północnej w Strangford Lough. Powierzchnia Strangford Lough wynosi 150 km^2 ; wysokość pływów na Morzu Irlandzkim wynosi $4,5 \text{ m}$ podczas pływów syzygijskich i $1,5 \text{ m}$ podczas pływów kwadraturowych – niestety nie tak wiele jak w La Rance lub Severn. Całkowita moc naturalnego zbiornika pływowego w Strangford Lough to około 150 MW , co po podzieleniu pomiędzy $1,7 \text{ mln}$ mieszkańców Irlandii Północnej daje 2 kWh/d na osobę . Strangford Lough to lokalizacja pierwszego podłączonego do sieci generatora zasilanego energią pływową w Wielkiej Brytanii.

Moc pływów nigdy nie była w Wielkiej Brytanii wykorzystywana na skalę przemysłową, trudno zatem powiedzieć, jakie ekonomiczne i techniczne wyzwania czekają nas, gdy ruszymy z budową i utrzymaniem turbin pływowych – korozja, akumulacja osadów, wplątujące się w turbiny resztki sieci. Dostrzegam jednak wiele zalet rozwoju energii pływowej w Wielkiej Brytanii:

1. Energia pływowa jest w pełni przewidywalna. W odróżnieniu od wiatru czy słońca jest to odnawialne źródło energii, na którym można polegać – pracuje dzień i noc o każdej porze roku, zaś dzięki lagunom pływowym energię można magazynować i kierować do sieci wtedy, kiedy jest na nią zapotrzebowanie.
2. Następujące po sobie przypływy i odpływy wędrują wzdłuż brzegów Wysp Brytyjskich przez mniej więcej 12 godzin, z czego wynika, iż najsilniejsze prądy w Anglesey, Islay, przy Orkadach i Dover występują po sobie w różnych porach. To z kolei oznacza, że elektrownie pływowe mogą przekazywać wspólnie do sieci energię dość równomiernie rozłożoną w czasie, chociaż wielkość wytwarzanej energii będzie wahać się pomiędzy pływami syzygijnymi a kwadraturowymi.
3. Moc pływów będzie dostępna przez wiele milionów lat.
4. Instalacje są relatywnie tanie w przeciwieństwie np. do farm paneli fotowoltaicznych.
5. Ponieważ gęstość mocy pływów jest większa niż typowa gęstość mocy wiatru, turbina pływowa o mocy 1 MW będzie miała mniejsze wymiary niż turbina wiatrowa o mocy 1 MW; być może pozwoli to na tańszą produkcję energii.
6. Podwodny świat jest dość spokojny – nie istnieje coś takiego jak dziki sztorm pływowy. W przeciwieństwie do turbin wiatrowych, które wymagają kosztownych dostosowań inżynierskich do sporadycznych burz, konstrukcja turbin podwodnych nie będzie wymagać uwzględniania znacznego marginesu bezpieczeństwa.
7. Ludzie bytują przeważnie na lądzie i nie widzą tego, co znajduje się pod wodą, więc zarzuty względem psucia krajobrazu nie będą tak silne, jak w przypadku farm wiatrowych.

Wysokość pływów na polskich wybrzeżach Morza Bałtyckiego wynosi kilka centymetrów. To o wiele za mało, aby na poważnie myśleć o wykorzystaniu tego typu energii w Polsce. Przyjmujemy zatem **0 kWh na osobę dziennie**.

Mity

Moc pływów, choć czysta i „zielona”, nie powinna być określana jako odnawialne źródło energii. Pobieranie energii pływów spowalnia ruch obrotowy Ziemi. Definitywnie nie da się wykorzystywać energii pływów przez dłuższy czas.

Falsz. Naturalne pływy już teraz bez przerwy spowalniają ruch obrotowy Ziemi. Straty naturalnej energii ruchu obrotowego wynoszą około 3 TW (Shepherd, 2003). W wyniku działania tego tarcia, w czasie stulecia doba wydłu-



Rys. 14.9. Dwie laguny pływowe, każda o powierzchni 400 km² – jedna u brzegów Blackpool, druga w Wash. Dla porównania pokazano estuarium rzeki Severn.

za się o 2,3 milisekundy. Wiele systemów pozyskiwania energii pływowej po prostu pobiera energię, która tak czy inaczej zostałaby stracona w wyniku tarcia. A zresztą, nawet gdybyśmy podwoili moc wysysaną z układu Ziemia -Księżyc, to i tak starczyłoby jej na ponad miliard lat.

Przypisy i zalecana literatura:

Numer strony:

- 90 ... maksymalna moc instalacji opartych na takich sztucznych zbiornikach pływowych [...] wynosi około 3 W/m^2 . – Moc na jednostkę powierzchni basenu pływowego jest wyprowadzona w rozdziale G, str. 325.
- ... Wielka Brytania już posiada naturalny zbiornik pływowy właściwych rozmiarów. Jest on znany jako Morze Północne... – nie chcę przez to powiedzieć, że Morze Północne napełnia się i opróżnia niczym zbiornik pływowy na wybrzeżu Anglii. Przepływy w Morzu Północnym są bardziej złożone ze względu na czas, którego potrzebuje garb wody, by przemierzyć akwen, a który jest zbliżony do czasu pomiędzy pływami. Tym niemniej, mamy silne prądy wpadające do Morza Północnego i wypadające z niego, a także operujące wewnątrz niego.
- 91 Moc pływów, przekraczająca linie wyróżnione na rysunku 14.6, została już obliczona i średnio wynosi 100 kWh dziennie na osobę. – Źródło: Cartwright et al. (1980). Dla Czytelników, którzy lubią proste modele, rozdział G pokazuje, jak obliczyć tę energię na podstawie prostych informacji.
- 92 La Rance wygenerowała 16 TWh w ciągu 30 lat. Daje to średnią moc 60 MW . (Moc szczytowa to 240 MW). Wysokość pływów wynosi do $13,5 \text{ m}$; ogrodzony obszar wynosi 22 km^2 , a zapora ma długość 750 m . Średnia gęstość mocy na jednostkę terenu to $2,7 \text{ W/m}^2$. – Źródło: [6xrm5q].
- Raporty inżynierskie dotyczące zapory Severn mówią, że przy generowaniu mocy jedynie podczas odpływu wytwarzana będzie energia wynosząca średnio $0,8 \text{ kWh/d}$ na osobę [...] 17 TWh/rok (Taylor, 2002b). Te 2 GW odpowiadają 5% obecnego średniego zużycia energii w Wielkiej Brytanii.
- 93 Średnia moc na jednostkę powierzchni w lagunach pływowych w wodach Wielkiej Brytanii może wynosić $4,5 \text{ W/m}^2$. – MacKay (2007a).

	Pływy: 11 kWh/d
	Fale: 4 kWh/d
	Wiatr, głębokowodne: 32 kWh/d
	Wiatr, płytkowodne: 16 kWh/d
	EL wodne: 1,5 kWh/d
	Biomasa: żywność, biopaliwa, drewno, spalanie odpadów, metan z wysypisk: 24 kWh/d
	Elektrownie słoneczne ($200 \text{ m}^2/\text{o}$): 50 kWh/d
	PV, $10 \text{ m}^2/\text{o}$: 5
	Ogrzewanie słoneczne: 13 kWh/d
	Wiatr: 20 kWh/d
Żywność, rolnictwo, nawozy: 15 kWh/d	
Gadżety: 5	
Oświetlenie: 4 kWh/d	
Ogrzewanie, klimatyzacja: 37 kWh/d	
Podróż samolotem: 30 kWh/d	
Samochód: 40 kWh/d	

Rys. 14.10. Pływy