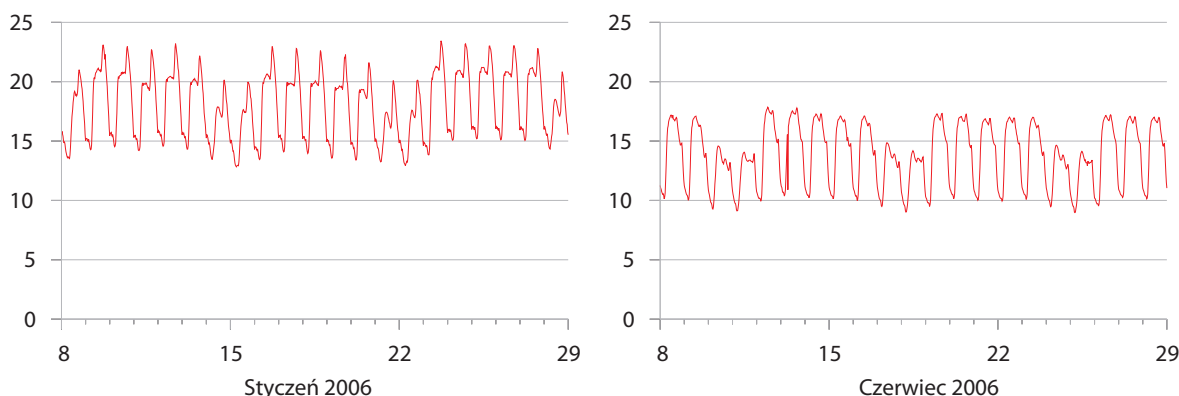


26 Fluktuacje i magazynowanie energii

Wiatr, jako bezpośrednia siła napędowa, zupełnie nie nadaje się do zasilania gospodarki opartej na maszynach. W okresach bezwietrznych cały krajowy przemysł zostałby sparaliżowany. Przed epoką silników parowych próbowano osuszać kopalnie przy pomocy energii z wiatraków. Mimo że wiatraki dostarczały dużej mocy, robiły to nieregularnie, kiedy więc zdarzały się długie okresy bezwietrzne, woda zalewała kopalnie, a górnicy tracili pracę.

William Stanley Jevons, 1865



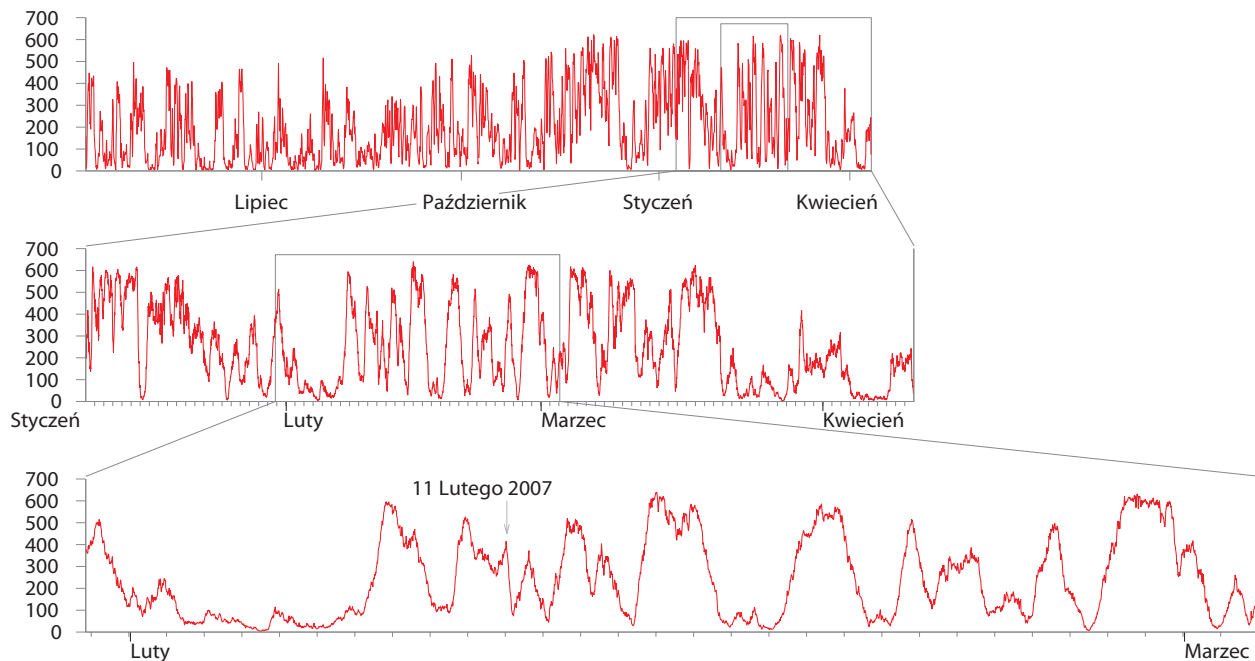
Jeżeli rzucimy w kął paliwa kopalne i postawimy tylko na źródła odnawialne lub tylko na atom, lub na obie te opcje, możemy mieć problem. Większość dużych źródeł odnawialnych nie działa w trybie „włącz–wyłącz”. Kiedy wietrzyk wieje, a słońeczko świeci – można czerpać energię. Dwie godziny później energii może już nie być. W projektach elektrowni jądrowych też raczej nie uwzględnia się guzika „włącz–wyłącz”. Zazwyczaj pracują nieprzerwanie, a produkcję energii można zmniejszyć lub zwiększyć tylko w skali godzin. I tu mamy problem, bo w sieci elektroenergetycznej zużycie musi być cały czas dokładnie równe produkcji. Sieć nie jest w stanie magazynować energii. Po to więc, by nasz plan energetyczny się dopinał, codziennie i w każdej minucie potrzebujemy czegoś, co łatwo włączać i wyłączać. Czegoś z pstryczkiem. Utało się, że tym czymś z pstryczkiem jest źródło energii, które włączamy lub wyłączamy, żeby skompensować fluktuacje podaży w stosunku do popytu (np. elektrownia na węgiel lub gaz!). Jednakże równie skutecznym sposobem harmonizowania podaży z popytem byłoby zapotrzebowanie na energię z pstryczkiem – zlew z energią, który można by zatkać jednym ruchem.

W każdym razie to coś z pstryczkiem musi być wielkie, bo zapotrzebowanie na energię jest bardzo różne (rys. 26.1). Popyt potrafi skoczyć znacząco nawet na przestrzeni kilku minut. W tym rozdziale omawiamy sposoby radzenia sobie z fluktuacjami w popycie i podaży przy całkowitej rezygnacji z paliw kopalnych.

Rys. 26.1. Zapotrzebowanie na prąd w Wielkiej Brytanii (w kWh na osobę dziennie) podczas dwóch tygodni zimą i dwóch tygodni latem 2006 roku.

W styczniu szczytowy pobór ma miejsce o godzinie 18.

Zarówno latem, jak i zimą wyraźnie odznaczają się cykle 5 dni roboczych (gdymyśmy chcieli uzyskać krajowe zapotrzebowanie w GW, wystarczy pamiętać, że szczytowa wartość, 24 kWh na osobę dziennie, odpowiada 60 GW w skali kraju).



Jak bardzo fluktuują źródła odnawialne?

Niezależnie od tego, jak mocno byśmy kochali źródła odnawialne, nie uciekniemy od faktu, że wiatr wieje lub nie wieje.

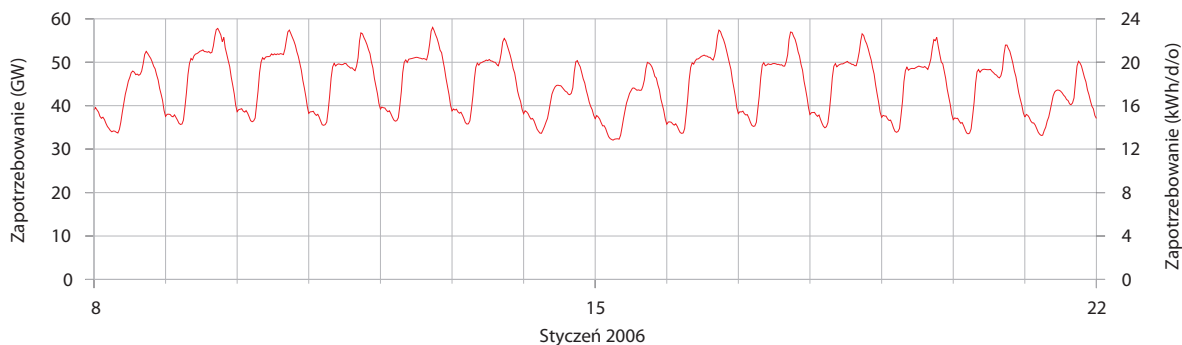
Przeciwnicy energetyki odnawialnej twierdzą: „Energetyka wiatrowa jest nieprzewidywalna, nie zapewnia stabilnej produkcji energii, nie poprawia więc bezpieczeństwa dostaw. Jeżeli postawimy wiele farm wiatrowych, będziemy musieli utrzymać wiele elektrowni na gaz i węgiel, jako zabezpieczenie okresów bezwietrznych”. Nagłówki w prasie typu: „Słaby wiatr przyczyną problemów sieci energetycznej w Teksasie” jeszcze podsycają takie opinie. Zwolennicy energii wiatrowej umniejszają wagę problemu, twierdząc: „Spokojnie. Pojedyncze farmy wiatrowe może nie zapewniają stabilnej produkcji, ale wszystkie farmy wiatrowe *w sumie* dają znacznie większą stabilność”.

Przyjrzyjmy się danym i znajdziemy zrównoważony punkt widzenia. Rys. 26.2 pokazuje całkowitą produkcję sektora energetyki wiatrowej w Irlandii od kwietnia 2006 do kwietnia 2007 roku. Jasno widać, że produkcja nie jest stabilna, nawet jeżeli zbierzemy wiele turbin pokrywających cały kraj. Wielka Brytania jest nieco większa niż Irlandia, ale problem jest ten sam. Między październikiem 2006 a lutym 2007 roku było 17 dni, kiedy 1632 brytyjskich wiatraków pracowało z wydajnością poniżej 10% mocy zainstalowanej. W tym okresie przez 5 dni wydajność wynosiła 5%, zdarzył się też dzień z zaledwie 2-procentową wydajnością.

Przełóżmy na liczby fluktuacje energii wiatrowej w skali kraju. Ważne są dwie kwestie – zmiany w krótkim czasie i długie okresy bezwietrzne. Poszukajmy największej zmiany chwilowej w miesięcznym zestawieniu dla irlandzkiej energetyki wiatrowej.

11 lutego 2007 roku produkcja energii z wiatru w Irlandii spadała nieprzerwanie z 415 MW o północy do 79 MW o 4 nad ranem. To tempo zmiany rzędu

Rys. 26.2. Całkowita produkcja energii (w MW) sektora energetyki wiatrowej w Irlandii, w okresie kwiecień 2006 – kwiecień 2007 roku (górny diagram) oraz uszczegółowienia za okres styczeń–kwiecień 2007 roku (środkowy diagram) i luty 2007 roku (dolny diagram). Szczytowe zapotrzebowanie na prąd w Irlandii wynosi około 5000 MW. Moc zainstalowana w wietrze w 2007 wynosiła 745 MW, w około 60 farmach wiatrowych. Dane są uaktualniane co 15 minut przez www.eirgrid.com



84 MW na godzinę dla całego sektora energetyki wiatrowej o mocy zainstalowanej 745 MW (tempo zmiany to szybkość, z jaką produkcja spadała lub rosła – zbocze wzgórzka na wykresie z 11 lutego). Jeśli więc zwiększymy moc zainstalowaną w brytyjskiej energetyce wiatrowej do 33 GW (co oznaczać będzie średnią produkcję 10 GW), tempo zmiany może wynieść:

$$84 \text{ MW/h} \times \frac{33\,000 \text{ MW}}{745 \text{ MW}} = 3700 \text{ MW/h}$$

przy założeniu, że warunki są u nas podobne do irlandzkich. Więc albo będziemy musieli podnosić produkcję w źródłach zastępczych w tempie 3,7 GW na godzinę – to tak, jakby co godzinę uruchamiać 4 elektrownie jądrowe ze stanu postoju do pracy z pełną mocą – lub też nauczymy się *obniżyć popyt* w tempie 3,7 GW na godzinę.

Czy da się spełnić te wiatrowe wymogi? By odpowiedzieć na to pytanie, musimy nieco bliżej przyrzeć się gigawatom. Gigawaty to wielkie jednostki energii, używane w skali kraju. Są dla kraju tym, czym dla pojedynczej osoby jest kilowatogodzina dziennie – miłą i wygodną jednostką miary. Średnie zużycie energii elektrycznej w Wielkiej Brytanii wynosi około 40 GW. Możemy przenieść krajową liczbę na osobiste zużycie – 1 kWh na osobę dziennie odpowiada 2,5 GW w skali kraju. Jeżeli każdy zużywa 16 kWh prądu dziennie, wówczas krajowe zużycie wynosi 40 GW.

Czy tempo zmiany rzędu **4 GW na godzinę** w skali kraju to jakaś kosmiczna wartość? Nie, każdego ranka, jak widać na rys. 26.3, popyt w Wielkiej Brytanii skacze o jakieś 13 GW pomiędzy godz. 6.30 i 8.30 rano. To tempo zmiany rzędu **6,5 GW na godzinę**. Nasi energetycy codziennie radzą sobie w krajowej sieci energetycznej z tempem zmiany większym niż 4 GW na godzinę. Sporadyczne dodatkowe wahnięcia rzędu 4 GW na godzinę, spowodowane nagłymi zmianami siły wiatru, nie powinny nas odwieść od stawiania wiatraków. To po prostu problem, który inżynierowie już rozwiązali podobnie jak wiele innych. Musimy jedynie wymyślić, jak zharmonizować zawsze zmienny podaż i popyt bez użycia paliw kopalnych. Nie twierdząc, że problem niestabilności produkcji energii z wiatru już został rozwiązany, nie jest jednak trudniejszy niż inne, już załatwione problemy.

Zanim przejdziemy do innych rozwiązań, musimy przenieść na liczby inny problem wiatru – długotrwałe okresy bezwietrzne (nazwijmy je z żeglarską flautą). Na początku lutego 2007 roku w całej Irlandii nie wiało przez 5 dni. Nie było to nic niezwykłego, co można zobaczyć na rys. 26.2. Pogoda bezwietrzna, utrzymująca się przez 2–3 dni zdarza się kilkanaście razy w roku.

Rys. 26.3. Zapotrzebowanie na prąd w Wielkiej Brytanii podczas dwóch tygodni zimą 2006 roku.

Podziałka po prawej pokazuje popyt w skali kraju (GW), a podziałka po lewej – w skali bardziej osobistej (kWh na osobę dziennie).

To te same dane co na rys. 26.1

Z brakiem wiatru można sobie radzić na dwa sposoby. Możemy zgromadzić gdzieś energię, zanim wiatr ucichnie, redukować zapotrzebowanie w całym okresie bezwietrznym lub jedno i drugie. Jeżeli mamy turbiny o mocy zainstalowanej (maksymalnej) 33 GW, dostarczające średnio 10 GW, wówczas ilość energii, którą musimy zawczasu zmagazynować (lub też bez której musimy obejść się w ciągu 5 dni bez wiatru), wyniesie

$$10 \text{ GW} \times (5 \times 24 \text{ h}) = 1200 \text{ GWh}$$

(Gigawatogodzina (GWh) to w skali kraju nader wygodna jednostka miary energii. Zużycie prądu w Wielkiej Brytanii wynosi mniej więcej 1000 GWh dziennie).

Wrzucmy tę wartość do ogródka przeciętnego Brytyjczyka – magazyn energii dla całego kraju o pojemności 1200 GWh odpowiada magazynowi energii na osobę o pojemności 20 kWh. Dzięki takim zapasom kraj mógłby przez 5 dni obejść się bez dostaw 10 GW prądu, a każdy obywatel – bez produkcji 4 kWh prądu dziennie.

W Polsce obecne średnie dzienne zużycie energii elektrycznej wynosi obecnie 400 GWh (jest nas mniej i zużywamy mniej elektryczności na osobę).

Magazyn o pojemności 1200 GWh wystarcza na zmagazynowanie jednodniowej produkcji energii przez brytyjskie lądowe farmy wiatrowe. Zgodnie z obliczeniem z rozdziału 4 w Polsce dysponujemy lepszym potencjałem wiatrowym niż Brytyjczycy (30 kWh/d/o w stosunku do 20 kWh/d/o). Zmagazynowanie tych 30 kWh na osobę dziennie wymagałoby (przy uwzględnieniu liczby Polaków równej 40 mln) magazynu o pojemności 1200 GWh – identycznego jak dla Wielkiej Brytanii. Dzięki takim zapasom nasz kraj mógłby przez 5 dni obejść się bez dostaw 10 GW prądu, a każdy Polak – bez produkcji 6 kWh prądu dziennie.

Radzimy sobie z flautą i wahnięciami popytu lub podaży

Musimy rozwiązać dwa problemy – flauta (długie okresy o obniżonej produkcji energii) i wahnięcia (krótkoterminowe zmiany w podaży lub popycie). Przełożyliśmy te problemy na liczby, zakładając, że Wielka Brytania ma około 33 GW mocy zainstalowanej w wietrze. By poradzić sobie z flautą, musimy skutecznie zgromadzić około 1200 GWh energii (20 kWh na osobę). Musimy też poradzić sobie z tempem zmiany dostępnej mocy, równym **6,5 GW na godzinę** (inaczej 0,1 kW na godzinę na osobę).

By sprostać tym problemom, można by rozpowszechnić dwa rozwiązania. Pierwsze jest scentralizowane, a drugie – zdecentralizowane. Pierwsze pozwala radzić sobie z fluktuacjami poprzez gromadzenie energii, a następnie włączanie bądź wyłączanie źródła energii zasilanego z magazynu. Drugie polega na włączaniu lub wyłączaniu części popytu.

Pierwsze rozwiązanie to elektrownie szczytowo-pompowe. Drugie polegałoby na wykorzystaniu akumulatorów pojazdów elektrycznych, które omawialiśmy w rozdziale 20. Zanim przejdę do opisu tych rozwiązań, omówię kilka innych sposobów radzenia sobie z wahnięciami.

Inne rozwiązania po stronie podaży

Niektóre źródła odnawialne da się włączać i wyłączać. Gdybyśmy mieli wiele takich odnawialnych źródeł z pstryczkiem, skończyłyby się wszystkie problemy omawiane w tym rozdziale. Norwegia czy Szwecja mają duże i głębokie zasoby energii wodnej, którą mogą włączać lub wyłączać. Jakie możliwości ma Wielka Brytania?

Po pierwsze, Wielka Brytania może zbudować masę spalarni i instalacji na biomasę, które pełniłyby taką samą rolę, jak dziś elektrownie na gaz czy węgiel. Pstryczek pozwalający włączać i wyłączać spalarnię podnosi koszty tak, jak kosztuje dodatkowa elektrownia na węgiel z przeznaczeniem do pracy tylko od czasu do czasu – generatory tych elektrowni raz stałyby beczynne, a raz pracowałyby ze zdwojoną mocą. Większość generatorów traci na sprawności, kiedy pracuje z przerwami, a nie ze stałym obciążeniem.

Zostawmy koszty. Pozostaje pytanie, jak duże zasoby energii z pstryczkiem możemy wygenerować. Gdybyśmy spalili wszystkie odpady komunalne i porównywalną ilość odpadów rolniczych, średnia produkcja wyniosłaby mniej więcej 3 GW. Możemy wybudować instalacje o mocy *dwa razy większej* (spalarnie zdolne wygenerować 6 GW) z założeniem, że będą pracować tylko przez połowę czasu. Dostarczałyby 6 GW w okresach zwiększonego popytu na energię i zero w godzinach nocnych. Rozruch i wygaszanie pieców tych spalarni nie powinny trwać dłużej niż godzinę. Pozwoliłoby to na radzenie sobie z tempem zmiany rzędu 6 GW na godzinę, ale tylko do wielkości maksymalnej 6 GW! To istotny wkład, ale niewystarczający, jeżeli mamy sobie radzić z fluktuacjami w energetyce wiatrowej rzędu 33 GW.

Biorąc pod uwagę, że na dwóch Polaków przypada trzech Brytyjczyków i zakładając zbliżoną ilość odpadów przypadających na osobę, średnia moc spalarni w Polsce wyniosłaby 2 GW, a dwukrotnie większe instalacje miałyby moc 4 GW.

A co z energetyką wodną? Średni współczynnik obciążenia elektrowni wodnych w Wielkiej Brytanii wynosi 20%, co oznacza, że z łatwością da się zmniejszyć lub zwiększyć produkcję. Co więcej, hydroelektrownie mają tę istotną zaletę, że można je włączyć i wyłączyć w mgnieniu oka. Uruchomienie lub zatrzymanie Glendoe, nowej elektrowni wodnej o mocy 100 MW, zajmie 30 sekund. Tylko w jednej hydroelektrowni mamy tempo zmiany rzędu 12 GW na godzinę! Odpowiednia liczba elektrowni wodnych powinna więc załatwić problem wahnięć podaży energii z wielkich farm wiatrowych. Niemniej jednak, moc obecnie zainstalowana w brytyjskiej energetyce wodnej nie wystarczy, by rozwiązać nasz problem z wahnięciami (przy założeniu, że chcemy poradzić sobie z gwałtownym spadkiem podaży energii z wiatru rzędu, dajmy na to, 10 czy 33 GW). Całkowita moc tradycyjnych elektrowni wodnych w Wielkiej Brytanii wynosi zaledwie około 1,5 GW.

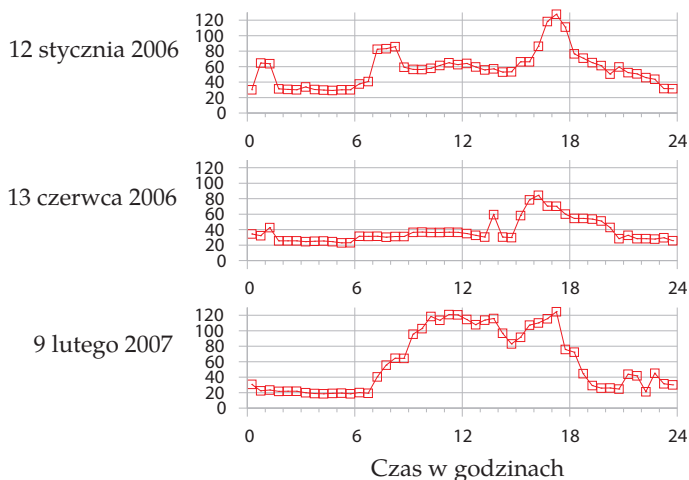
W Polsce całkowita moc elektrowni wodnych (z wyłączeniem szczytowo-pompowych) to 0,75 GW. Największa z nich, znajdująca się we Włocławku, ma moc 160 MW.

Widzimy więc, że nie wystarczy wcisnąć pstryczki w spalarniach, elektrowniach na biomasę i hydroelektrowniach. Potrzebujemy innych rozwiązań.

elektrownia	moc (GW)	(różnica poziomu wód w zbiorniku górnym i dolnym) (m)	objętość (milion m ³)	zmagazynowana energia (GWh)
Ffestiniog	0,36	320 – 295	1,7	1,3
Cruachan	0,40	365 – 334	11,3	10
Foyers	0,30	178 – 172	13,6	6,3
Dinorwig	1,80	542 – 494	6,7	9,1

Tabela 26.4. Elektrownie szczytowo-pompowe w Wielkiej Brytanii. Obecnie da się u nas zmagazynować maksymalnie 30 GWh.

Elektrownie szczytowo-pompowe



Rys. 26.5. Elektrownie szczytowo-pompowe to dobry interes. Ceny prądu, w funtach za MWh, w ciągu trzech dni w 2006 i 2007 roku.

Elektrownie szczytowo-pompowe przepompowują wodę ze zbiornika u podnóża wzniesienia do zbiornika na górze, używając taniego prądu, zakupionego poza szczytem. W okresach wzmożonego zapotrzebowania na elektryczność, odzyskują prąd przy użyciu turbin jak w każdej innej elektrowni wodnej. Wielka Brytania ma cztery elektrownie szczytowo-pompowe, zdolne zmagazynować 30 GWh (tabela 26.4, fot. 26.6). Zazwyczaj gromadzą energię nocą i zwracają ją w ciągu dnia, szczególnie w szczycie zapotrzebowania – to opłacalny biznes, jak pokazuje rys. 26.5. Elektrownia Dinorwig, zdumiewająca katedra wewnątrz góry w Snowdonii, pełni również rolę zabezpieczającą. Jest tak duża, że może uratować krajową sieć energetyczną w sytuacji większej awarii. W 12 sekund startuje od 0 do 1,3 GW mocy.

Dinorwig to królowa wszystkich czterech instalacji. Przyjrzyjmy się jej podstawowym charakterystykom. W Dinorwig można zmagazynować około 9 Wh. Wyższe jezioro znajduje się prawie 500 m nad niższym. Woda o objętości roboczej rzędu 7 mln m³ przepływa w tempie maksymalnym 390 m³/s, dostarczając moc rzędu 1,7 GW w 5 godzin. Sprawność tego systemu magazynowania energii wynosi 75%.

Jednoczesne włączenie wszystkich czterech elektrowni szczytowo-pompowych pozwala wygenerować 2,8 GW prądu. Można je włączyć w mgnieniu oka. Dzisiaj kompensują każde tempo zmiany w popycie lub w podaży prądu z wiatru. Niemniej jednak moc rzędu 2,8 GW nie wystarczy, by zastąpić 10 GW



Fot. 26.6. Llyn Stwlan, górny zbiornik elektrowni szczytowo-pompowej Ffestiniog w północnej Walii. Magazynowana energia: 1,3 GWh. Fot. Adrian Pingstone

lub 33 GW energii wiatrowej. A możliwości magazynowania energii (30 GWh) są tylko cieniem tego czego, potrzeba, by przetrwać wielką flautę (1200 GWh).

Polskie elektrownie szczytowo-pompowe mogą zmagazynować niecałe 10 GWh

elektrownia	moc (GW)	wysokość spadku wody (m)	objętość (milion m ³)	zmagazynowana energia (GWh)
Żarnowiec	0,68	100	13,6	3,6
Porąbka-Żar	0,50	430	2,3	2,6
Solina-Myczkowce	0,20	60	472	1,3 (50)
Czorsztyn-Niedzica	0,09	50	200	1,0 (15)
Żydowo	0,16	83	3,3	0,7
Dychów	0,09	18	3,6	0,2

Uwagi: Górny zbiornik elektrowni Solina-Myczkowce (Jezioro Solińskie) jest wykorzystywany przede wszystkim jako zbiornik retencyjny. Pojemność dolnego zbiornika w Myczkowcach pozwala na pracę elektrowni Solina z pełną mocą w ciągu 5–6 godzin, co oznacza zmagazynowanie energii 1,3 GWh. Gdyby dolny zbiornik był równie duży co górny, elektrownia szczytowo-pompowa w Solinie mogłaby magazynować energię rzędu 50 GWh.

Elektrownia Czorsztyn-Niedzica ze względu na niewielkie różnice w cenie energii w dzień i w nocy pracuje obecnie wyłącznie w trybie turbinowym. Również w tym przypadku ograniczeniem jest rozmiar dolnego zbiornika w Sromowcach. Gdyby dolny zbiornik był równie duży co górny, elektrownia szczytowo-pompowa mogłaby magazynować energię rzędu 15 GWh.

Jednoczesne włączenie wszystkich elektrowni szczytowo-pompowych pozwala wygenerować 1,7 GW prądu. Obecne możliwości magazynowania energii również są zupełnie niewystarczające.

Czy można zbudować więcej elektrowni szczytowo-pompowych? Czy dałoby się rozwiązać problem flauty tylko i wyłącznie dzięki tej technologii?

Czy możemy zmagazynować 1200 GWh?

Zależy nam na znacznie większych systemach, zdolnych zmagazynować w sumie 1200 GWh (około 130 razy tyle co Dinorwig). Potrzebujemy mocy zainstalowanej rzędu 20 GW (czyli około 10 razy tyle, co w Dinorwig). Tak oto przedstawia się sprawa elektrowni szczytowo-pompowych: potrzeba 12 nowych elektrowni, z których każda zmagazynuje 100 GWh (czyli 10 razy tyle co Dinorwig). Wyposażenie do pompowania wody i generowania prądu w każdej z tych elektrowni byłoby takie jak w Dinorwig.

Przy założeniu, że generatory mają sprawność rzędu 90%, w tabeli 26.7 pokazujemy kilka sposobów magazynowania 100 GWh, dla różnych wysokości spadku wody (reguły fizyczne leżące u podstaw tabeli dostępne są w przypisach do rozdziału).

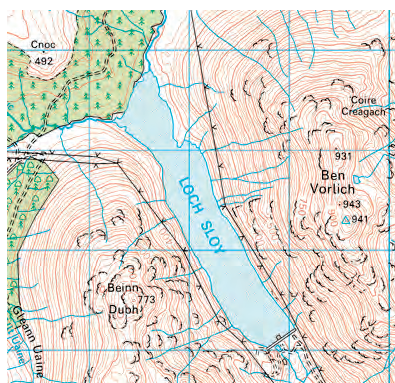
Sposoby na magazynowanie 100 GWh		
wysokość spadku wody z górnego jeziora	wymagana objętość robocza (mln m ³)	przykładowe wielkości i głębokości zbiornika
500 m	80	2 km ² × 40 m
500 m	80	4 km ² × 20 m
200 m	200	5 km ² × 40 m
200 m	200	10 km ² × 20 m
100 m	400	10 km ² × 40 m
100 m	400	20 km ² × 20 m

Czy znajdziemy 12 takich miejsc? Niewątpliwie da się zbudować jeszcze kilka takich elektrowni, jak Dinorwig w Snowdonii. W tabeli 26.8 mamy dwie alternatywne lokalizacje w pobliżu Ffestiniog. Rozważano ich budowę w latach 70., ale zdecydowano się na Dinorwig.

proponowana lokalizacja	moc (GW)	wysokość spadku wody (m)	objętość (mln m ³)	magazynowana energia (GWh)
Bowydd	2,40	250	17,7	12,0
Croesor	1,35	310	8,0	6,7

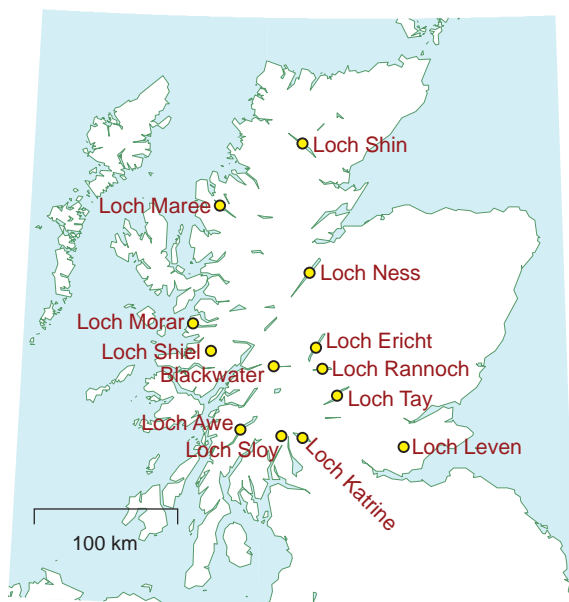
Tabela 26.7. Elektrownie szczytowo-pompowe i sposoby na zmagazynowanie 100 GWh. Komentarz do kolumny 2: objętość robocza Dinorwig wynosi 7 mln m³, a objętość Lake Windermere – 300 mln m³. Komentarz do kolumny 3: zbiornik Rutland Water ma powierzchnię 12,6 km²; Grafham Water – 7,4 km². Zbiornik Carron valley ma 3,9 km². Największym jeziorem w Wielkiej Brytanii jest Loch Lomond o powierzchni 71 km².

Tabela 26.8. Alternatywne lokalizacje dla elektrowni szczytowo-pompowych w Snowdonii. W obu przypadkach dolny zbiornik byłby sztuczny.



Rys. 26.9. Porównanie Dinorwig w Parku Narodowym Snowdonia z Loch Sloy i Loch Lomond. Górne mapy obejmują obszar 10 na 10 km. Na dolnych mapach bok kwadratu niebieskiej siatki mają długość 1 km². Mapy stworzone na podstawie serwisu Ordnance Survey's Get-a-map service www.ordnancesurvey.co.uk/getamap. Reprodukcyjne za zgodą Ordnance Survey. © Crown Copyright 2006





Rys. 26.10. Jeziora w Szkocji, gdzie dałoby się zbudować elektrownie szczytowo-pompowe.

Elektrownie szczytowo-pompowe o znacznie większych możliwościach magazynowania energii niż Dinorwig, można zbudować w Szkocji dzięki rozbudowie istniejących elektrowni wodnych. Wystarczy rzut oka na mapę Szkocji i widzimy, że jedna z możliwych instalacji używałaby jeziora Loch Sloy jako zbiornika wyższego i Loch Lomond jako niższego. Już teraz niewielka elektrownia wodna łączy te jeziora. Na rys. 26.9 w tej samej skali mamy oba te jeziora oraz jeziora Dinorwig. Różnica wysokości pomiędzy jeziorami Loch Sloy i Loch Lomond wynosi około 270 m. Sloy ma powierzchnię około 1,5 km² i już teraz może zgromadzić energię rzędu 20 GWh. Gdyby zapórę Loch Sloy podniesiono o kolejne 40 m, można by gromadzić dodatkowe 40 GWh. Poziom wody w Loch Lomond zmieniałyby się o najwyżej 0,8 m w cyklu. To mniej niż zakres normalnych rocznych zmian poziomu wody w Loch Lomond (2 m).

Rys. 26.10 wskazuje 13 potencjalnych lokalizacji elektrowni szczytowo-pompowych w Szkocji (w większości z nich już zainstalowano elektrownie wodne). Gdyby 10 z nich miało taki potencjał, jaki szacuję dla Loch Sloy, moglibyśmy gromadzić 400 GWh. To jedna trzecia 1200 GWh, których potrzebujemy.

W budowie (trwającej już od ponad 30 lat) jest jedna większa elektrownia szczytowo-pompowa Młoty o mocy 0,75 GW, umożliwiającą zmagazynowanie 1,5 GWh. To kropla w morzu potrzeb. Planując więcej elektrowni szczytowo-pompowych, moglibyśmy wykorzystać doliny górskie, podobnie jak w Solinie czy Czorsztynie – rozbudowa tylko tych dwóch zbiorników pozwoliłaby gromadzić około 65 GWh energii. Osiągnięcie 1200 GWh może być możliwe, jednak na pewno pojawiłoby się wielu oponentów wskazujących, że taki program oznaczałby przesiedlenie setek tysięcy ludzi, zatopienie wielu cennych przyrodniczo terenów, zabytków i cmentarzy, blokadę tras migracji ryb, zagrożenie zalaniem w przypadku pęknięcia tamy itp. Z drugiej strony wiele osób uważa, że górskie jeziora: Solińskie czy Czorsztyńskie – kiedy już powstały – zmieniły okolicę na lepsze, dając łagodniejszy mikroklimat, stymulując rozwój turystyki, dając możliwości wypoczynku nad wodą oraz zapewniając ochronę przeciwpowodziową.



Fot. 26.11. Elektrownia szczytowo-pompowa na Okinawie. Tu ocean służy za dolny zbiornik. Magazynowana moc: 0,2 GWh. Zdjęcie publikujemy dzięki uprzejmości J-Power. www.ieahydro.org

Możemy przeanalizować mapę Wielkiej Brytanii w poszukiwaniu innych lokalizacji. Najlepsze byłyby takie blisko wielkich farm wiatrowych. Można by jeszcze zbudować nowe sztuczne jezioro w nadbrzeżnej dolinie wiszącej, kończącej się nad morzem, z tamą u ujścia doliny. Tutaj morze służyłoby jako dolny zbiornik.

A teraz z innej beczki. Można odpuścić sobie jeziora i zbiorniki wodne i wbudować połowę instalacji w ziemię, w postaci komory podziemnej. Dyskutuje się zbudowanie komory-zbiornika kilometr pod Londynem.

Wydaje się, że budując więcej instalacji pompująco-magazynujących, możemy zwiększyć możliwości magazynowania z 30 GWh do 100 GWh, może nawet do 400 GWh. Niemniej jednak osiągnięcie całych 1200 GWh, na które liczyliśmy, wydaje się trudne. Szczęśliwie jest jeszcze jedno rozwiązanie.

Zarządzanie popytem dzięki samochodom elektrycznym

Podsumujmy nasze wymagania: chcielibyśmy magazynować (lub obejść się bez) 1200 GWh, czyli 20 kWh na osobę oraz radzić sobie z wahaniami popytu do 33 GW (czyli 0,5 kW na osobę). Liczby te są rozkosznie zbliżone w skali do energii i mocy wymaganej dla samochodów elektrycznych. W akumulatorach samochodów elektrycznych opisanych w rozdziale 20 można zgromadzić od 9 kWh do 53 kWh. Krajowa flota 30 mln samochodów elektrycznych zgromadziłaby energię bliską tym 20 kWh na osobę! Typowe ładowarki akumulatorów pobierają 2 lub 3 kW prądu. Jednoczesne włączenie 30 mln ładowarek stanowiłoby zmianę w popycie rzędu 60 GW! Gdyby cały krajowy transport miał napęd elektryczny, średnia moc wymagana do jego zasilania wynosiłaby 40 lub 50 GW. Istnieje więc bliski związek pomiędzy wprowadzeniem na rynek samochodów elektrycznych (omawianych w rozdziale 20) i podniesieniem mocy zainstalowanej w wietrze do 33 GW (przy średniej mocy rzędu 10 GW).

Oto jak można wykorzystać taki związek: samochody elektryczne można podłączyć do inteligentnych ładowarek w domu lub w pracy. Inteligentne ładowarki znałyby zarówno ceny energii elektrycznej, jak i upodobania użytkownika (np. „mój samochód musi być w pełni naładowany do godz. 7 rano w poniedziałek”). Ładowarka mądrze zaspokajałaby wymagania użytkownika, pobierając prąd, kiedy wieje i wyłączając się, kiedy nie wieje lub też kiedy rośnie zapotrzebowanie z innych źródeł. Takie inteligentne ładowarki pomagałyby równoważyć obciążenia w sieci, co mogłoby być wynagradzane finansowo.

Szczególnie pomocne byłyby akumulatory wymienne. Wyobraź sobie, że podjeżdżasz na stację paliw i wymieniasz świeżutkie akumulatory na miejsce zużytych. To stacja paliw byłaby odpowiedzialna za naładowanie akumulatorów. Mogłaby to robić w odpowiednim momencie, zwiększając lub zmniejszając ładowanie tak, by całkowity popyt i podaż zawsze były w równowadze. Używanie wymiennych akumulatorów byłoby wyjątkowo skuteczne. Miliony zapasowych akumulatorów w magazynach stacji paliw stanowiłyby dodatkowy bufor na okresy wielkiej flauty. Niektórzy powiedzą: „Niedoczekanie! Jak mógłbym powierzyć stacji paliw moje akumulatory? A co, jeśli wydadzą mi jakiś lipny?”. No cóż, równie dobrze można pytać: „A co, jeśli na stacji paliw dadzą mi benzynę chrzczoną wodą?”. Osobiście wolałbym, by o mój samochód dbali profesjonalisci, a nie taki muppet jak ja!

Podsumujmy nasze rozwiązania. Możemy bilansować zmieniający się popyt i popyt, włączając lub wyłączając *generatory* energii (np. spalarnie odpadów

i elektrownie wodne), *gromadząc* gdzieś energię i odzyskując ją, kiedy zachodzi potrzeba lub też włączając i wyłączając zużycie.

Możliwości największej skali daje zarządzanie zapotrzebowaniem na prąd przy ładowaniu akumulatorów samochodów elektrycznych. Wykorzystanie do magazynowania energii 30 mln samochodów, każdy z akumulatorami o pojemności 40 kWh (z czego niektóre mogłyby być wymienne i dystrybuowane na stacjach paliw), daje w sumie 1200 GWh. Gdyby jeszcze zelektryfikować transport towarowy, całkowite możliwości magazynowania energii byłyby jeszcze większe.

Istnieje więc piękne powiązanie między energią wiatrową a samochodami elektrycznymi. Gdybyśmy rozwijali flotę samochodów elektrycznych równoległe z rozwojem energetyki wiatrowej (około 3000 nowych samochodów na każdą turbinę o mocy 3 MW) i gdybyśmy wprowadzili inteligentny system ładowania tych samochodów, taka synergia znacznie złagodziłaby problem fluktuacji wiatru. Jeśli myśleć o do samochodów napędzanych wodorem i staną się one niskoenergetycznymi pojazdami przyszłości, wówczas związek wiatr-samochody elektryczne można by zastąpić parą wiatr-samochód na wodór. Turbiny wiatrowe generowałyby prąd. W okresach nadwyżek energii można by produkować wodór i gromadzić go w zbiornikach, do użytku w samochodach lub na przykład w produkcji szkła.

Inne pomysły z zakresu zarządzania popytem i magazynowania

Istnieje kilka innych możliwości zarządzania popytem oraz gromadzenia energii.

Pomysł, żeby tempo produkcji dóbr dostosować do mocy generowanej z odnawialnych źródeł, nie jest nowy. Wiele fabryk aluminium usytuowano blisko elektrowni wodnych. Im więcej deszczu, tym większa produkcja aluminium. Jeżeli prąd służy do produkcji dóbr, które da się zmagazynować, można myśleć o inteligentnym włączaniu i wyłączaniu zapotrzebowania na energię. Na przykład systemy odwróconej osmozy (które odsalają wodę morską – patrz str. 99) konsumują w wielu krajach duże ilości energii (aczkolwiek nie w Wielkiej Brytanii). Innym produktem, który da się magazynować, jest ciepło. Jeżeli zelektryfikujemy systemy ogrzewania i klimatyzację w budynkach, jak sugerowano w rozdziale 21 (a szczególnie podgrzewanie wody i ogrzewanie pomieszczeń), podłączamy do sieci wiele prądożernych urządzeń z wygodnym pstryczkiem. Dobrze ocieplone budynki trzymają ciepło przez wiele godzin, można więc je grzać w dogodnym momencie. Co więcej, w budynkach można by umieścić wielkie zbiorniki termiczne i wprowadzać lub też wyprowadzać z nich ciepło za pomocą pomp ciepła w okresie nadwyżek prądu. Następnie za pomocą drugiego zestawu pomp ciepło lub chłód byłyby dostarczane do miejsc, które trzeba ogrzać lub ochłodzić.

Automatyczna kontrola zapotrzebowania na prąd to pestka. Najprostszym sposobem byłoby projektowanie urządzeń takich, jak lodówki i zamrażarki, które wsłuchują się w częstotliwości sieci elektrycznej. Kiedy w sieci brakuje mocy, częstotliwość spada poniżej standardowych 50 Hz, przy nadmiarze mocy częstotliwość wzrasta powyżej 50 Hz (to tak jak z dynamem w rowerze – kiedy włączasz światło, musisz mocniej naciskać pedał, by dostarczyć dodatkowej mocy, jeżeli tego nie zrobisz, rower zwolni). Lodówki można tak zaprojektować, by regulowały swój wewnętrzny termostat nieco w górę lub nieco w dół,

w odpowiedzi na zmiany w częstotliwości w sieci. W ten sposób mogą pobierać prąd wtedy, kiedy pomagają to sieci, nigdy jednak kosztem temperatury Twojego masła.

Czy zarządzanie popytem może stanowić istotny wkład w nasz wirtualny magazyn energii? Jak dużo prądu wysysają wszystkie nasze lodówki? Przeciętna lodówka pobiera około 18 W. Załóżmy, że w Wielkiej Brytanii jest ich 30 mln. Gdybyśmy wyłączyli na kilka minut wszystkie nasze lodówki, mielibyśmy 0,54 GW mocy, którą da się automatycznie regulować. To całkiem dużo – ponad 1% krajowego zużycia i mniej więcej tyle, ile wynoszą nagłe skoki poboru mocy, kiedy wszyscy włączają czajniki elektryczne, zjednoczeni doświadczeniem religijnym, jakim jest kolejny odcinek tasiemca *EastEnders*. Takie „zwyżki telewizyjne” przekładają się zazwyczaj na skoki popytu rzędu 0,6–0,8 GW. Automataczne wyłączenie wszystkich lodówek niemalże skompensowałoby te dzienne skoki, związane z masowym nastawianiem czajników. Inteligentne lodówki pomogłyby również rozprasować krótkotrwałe fluktuacje energii wiatrowej. Zwyczajki telewizyjne związane z najświętszymi wydarzeniami (np. mecz Wielka Brytania – Szwecja) mogą przekładać się na skoki zapotrzebowania o ponad 2 GW. W takich momentach popyt i podaż bilansuje się poprzez uruchomienie pełnej mocy Dinorwig.

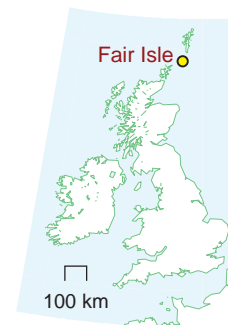
By ułatwić pracę energetykom, nieodmiennie równoważącym popyt i podaż poprzez zmniejszanie i zwiększanie produkcji w elektrowniach, wielu przemysłowych odbiorców energii funkcjonuje w ramach kontraktów, które pozwalają energetykom na odłączenie dostaw prądu z niewielkim wyprzedzeniem. W RPA (gdzie niedobory energii elektrycznej są nader częste) w setkach tysięcy domów zainstalowano sterowane radiowo systemy zarządzania popytem, kontrolujące klimatyzację i bojler elektryczne.

Rozwiązanie duńskie

A oto, jak Dania radzi sobie z niestabilnością produkcji energii z wiatru. Duńczycy *de facto* płacą sąsiadom za możliwość magazynowania energii w ich elektrowniach wodnych. Niemalże cała duńska energia z wiatru jest eksportowana do innych europejskich krajów. Niektóre z nich mają elektrownie wodne, które mogą wyłączać w celu zbilansowania energii. Zaoszczędzoną energię z wody odsprzedają Duńczykom (po wyższej cenie) podczas kolejnego okresu flauty i wysokiego zapotrzebowania. Razem wzięwszy, duński wiatr dostarcza dużo energii, a system jako całość zyskuje stabilność dzięki możliwościom energetyki wodnej.

Czy rozwiązanie duńskie przyjęłoby się w Wielkiej Brytanii? Potrzebowalibyśmy bezpośrednich połączeń o dużej zdolności przesyłowej do krajów dysponujących dużą liczbą elektrowni wodnych z pstryczkiem. Lub też dużego połączenia z ogólnoeuropejską siecią elektroenergetyczną.

Norwegia ma 27,5 GW mocy zainstalowanej w energetyce wodnej, Szwecja – około 16 GW, Islandia – 1,8 GW. W 2003 roku rozważano budowę interkonektora wysokiego napięcia prądu stałego do Szwecji, o zdolności przesyłowej 1,2 GW. Pomysł zarzucono. W 2010 roku zostanie zbudowane połączenie z Holandią – interkonektor BritNed, o zdolności przesyłowej 1 GW. Dania dysponuje 3,1 GW mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej, połączeniem z Norwegią o zdolności przesyłowej 1 GW, połączeniem ze Szwecją o zdolności przesyłowej 0,6 GW i 1,2 GW z Niemcami. Daje to całkowitą zdolność eksportową 2,8 GW, zbliżoną do mocy zainstalowanej w wietrze. By eksportować całą nadwyżkę prądu z wiatru na duńską modłę, Wielka Brytania (przy założeniu



PRODUKCJA	ZUŻYCIE
Wiatr: 4,1	Ogrzewanie: 2,5
Diesel: 1,8	Inne: 2,9

Rys. 26.12. Podaż i popyt energii elektrycznej na Fair Isle, lata 1995–96. Wszystkie wartości podane w kWh na osobę dziennie. Produkcja przewyższa zapotrzebowanie, więc 0,6 kWh na osobę dziennie poszło na straty.

mocy zainstalowanej w wietrze 33 GW) potrzebowałyby połączeń o zdolności przesyłowej 10 GW do Norwegii, 8 GW do Szwecji i 1 GW na Islandię.

Pamiętajmy jednak, że lawinowe inwestowanie w energetykę wiatrową w regionie wyczerpie możliwości magazynowania energii w wodach skandynawskich gór i fiordów. Konkurowanie o moce magazynujące podniesie zyski elektrowni wodnych Norwegii i Szwecji, nie rozwiąże jednak dylematu, co zrobić z nadprodukcją energii z coraz powszechniejszych europejskich farm wiatrowych.

To może dwie sieci?

Radykalnym rozwiązaniem byłoby wydzielenie dla energetyki wiatrowej i innych niestabilnych źródeł energii *drugiej* sieci, która zasilalaby te systemy, które nie potrzebują stabilnej podaży prądu, takich jak ogrzewanie i ładowanie akumulatorów pojazdów elektrycznych. Od roku 1982, czyli od ponad 25 lat szkocka wyspa Fair Isle (70 mieszkańców, powierzchnia 5,6 km²) ma dwie sieci energetyczne, które przesyłają energię z dwóch turbin wiatrowych i, w razie konieczności, z generatora zasilanego dieslem. Prąd dostarczany jest przez jedną z sieci, a tylko w przypadku ogrzewania elektrycznego – przez drugi zestaw kabli. Głównym źródłem ogrzewania elektrycznego jest nadwyżka prądu z turbin wiatrowych, z którą i tak nic nie da się zrobić. Zdalnie sterowane przekaźniki z możliwością programowania reagujące na zmiany częstotliwości kontrolują każdy bojler i piec akumulacyjny w budynkach. Częstotliwość sieci informuje bojler, kiedy powinny się włączyć. W rzeczywistości, na jedno gospodarstwo domowe przypada nawet 6 kanałów częstotliwości, czyli system emuluje siedem sieci. Na Fair Isle z sukcesem wypróbowano system kinetycznego magazynowania energii (koło zamachowe) do gromadzenia energii, dla 20-sekundowych fluktuacji siły wiatru.

Pojazdy elektryczne w roli generatorów prądu

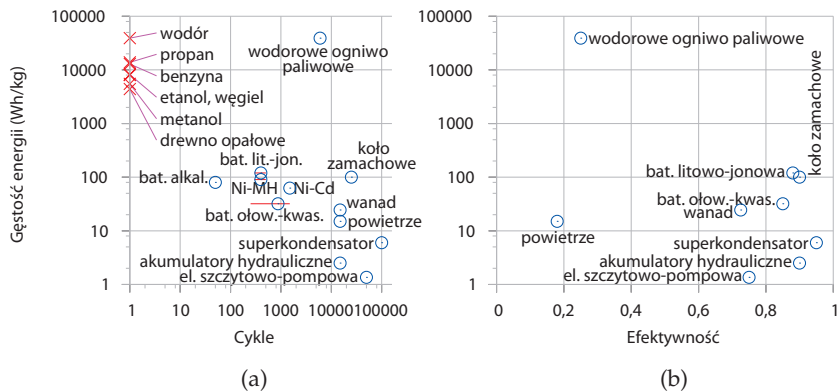
Gdyby w okresach niedoboru prądu akumulatory 30 milionów samochodów elektrycznych działały na odwrót, zwracając prąd do sieci, wówczas przy 2 kW na samochód mielibyśmy potencjalne źródło energii o mocy 60 GW – zbliżonej do mocy zainstalowanej we wszystkich elektrowniach w kraju. Gdyby tylko 1/3 tych samochodów była podłączona jednocześnie, wciąż dawałoby to potencjał rzędu 20 GW mocy. Gdyby każdy z tych samochodów w wypadku kryzysu zwrócił do sieci 2 kWh energii (co odpowiada może 20% pojemności akumulatora), wówczas całkowita energia dostarczona przez flotę samochodową wyniosłaby 20 GWh. To dwa razy więcej niż oferuje elektrownia szczytowo-pompowa Dinorwig.

Inne technologie magazynowania energii

Jest cały wachlarz sposobów gromadzenia energii i wiele kryteriów ich oceny. Rys. 26.13 ilustruje trzy najważniejsze kryteria: gęstość energetyczną (ile energii można zgromadzić na kilogram systemu magazynującego), sprawność (ile energii otrzymujemy na jednostkę energii użytej) i żywotność (na ile cykli gromadzenia energii można liczyć, zanim system będzie wymagał naprawy). Inne istotne kryteria to: maksymalne tempo, w jakim energię można wpompować do systemu i wypompować z niego (często wyrażane w mocy na kg), możliwy okres magazynowania i oczywiście koszt i bezpieczeństwo systemu.

Koła zamachowe

Fot. 26.15. pokazuje monstrualne koło zamachowe, dostarczające szybkich porcji mocy do 0,4 GW, zasilające pewną eksperymentalną instalację. Koło waży 800 t. Wirując z prędkością 225 obrotów na minutę, może zgromadzić 1000 kWh, a jego gęstość energetyczna wynosi około 1 Wh na kg.



Fot. 26.15. Jedno z dwóch kół zamachowych w zakładzie badań nad syntezą jądrową w Culham (w budowie).

Fot. EFDA-JET www.jet.efda.org

Rys. 26.13. Niektóre właściwości systemów magazynowania energii i paliw.

(a) Gęstość energetyczna (w skali logarytmicznej) w stosunku do żywotności (liczba cykli).
 (b) Gęstość energetyczna versus sprawność. Gęstości energetyczne nie obejmują ciężaru zbiorników, za wyjątkiem „powietrza” (magazynowanie za pomocą sprężonego powietrza). Biorąc pod uwagę masę kriogenicznej butli do przechowywania wodoru, gęstość energetyczna wodoru spada z 39 000 Wh/kg do około 2400 Wh/kg.

Paliwo	wartość kaloryczna	
	(kWh/kg)	(MJ/l)
propan	13,8	25,4
benzyna	13,0	34,7
olej napędowy (diesel)	12,7	37,9
kerozyna (nafta lotnicza)	12,8	37
olej opałowy	12,8	37,3
etanol	8,2	23,4
metanol	5,5	18,0
bioetanol		21,6
węgiel	8,0	
drewno opałowe	4,4	
wodór	39,0	
gaz ziemny	14,85	0,04

(a)

Tabela 26.14. (a) Wartości kaloryczne (gęstości energetyczne na kilogram i na litr) niektórych paliw (w kWh na kg i MJ na litr).
 (b) Gęstość energetyczna niektórych akumulatorów (w Wh na kg). 1 kWh = 1000Wh

typ baterii	gęstość energetyczna (Wh/kg)	żywołność (cykle)
niklowo-kadmowa	45 – 80	1500
niklowo-metalowo-wodorowa (NiMH)	60 – 120	300 – 500
ołowiowo-kwasowa	30 – 50	200 – 300
litowo-jonowa	110 – 160	300 – 500
polimerowa litowo-jonowa	100 – 130	300 – 500
ładowana alkaliczna	80	50

(b)

System akumulowania energii w samochodzie rajdowym, oparty na kole zamachowym, może zgromadzić 400 kJ (0,1 kWh) energii, a waży 24 kg (str. 126). Daje to gęstość energetyczną rzędu 4,6 Wh na kg.

Wysokoobrotowe koła zamachowe z kompozytu mają gęstość energetyczną do 100 Wh/kg.

Superkondensatory

Superkondensatorów używa się do gromadzenia niewielkich ilości energii elektrycznej (do 1 kWh), tam gdzie konieczne jest wiele cykli działania, a ładowanie musi być sprawne i szybkie. Superkondensatory sprawdzają się lepiej niż akumulatory na przykład w hamowaniu odzyskowym w pojazdach, które często stają i ruszają. Można kupić superkondensatory o gęstości energetycznej 6 Wh/kg.

Amerykańska firma EESstor twierdzi, że potrafi produkować znacznie lepsze kondensatory, przy użyciu tytanianu baru, o gęstości energetycznej 280 Wh/kg.

Wanadowe akumulatory przepływowe (vanadium redox battery – VRB)

Systemy VRB umożliwiają zmagazynowanie 12 MWh energii na irlandzkiej farmie wiatrowej Sorne Hill o mocy „32 MW” i mocy maksymalnej „39 MW”. Ten system akumulacyjny to wielki „akumulator przepływowy”, regeneratywne ogniwo paliwowe redoks [jest to reakcja chemiczna, w której dochodzi zarówno do redukcji, jak i utleniania – *red.*] z kilkoma zbiornikami wanadu w różnych stanach skupienia. System akumulacyjny może złagodzić wahania produkcji farmy wiatrowej na przestrzeni minut. Niestety w okresie flauty, dając 1/3 mocy maksymalnej, magazyn wyczerpie się w godzinę.

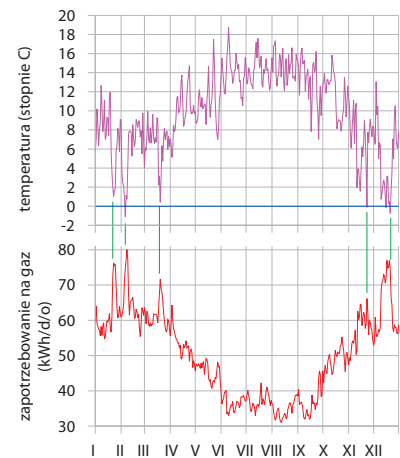
System wanadowy o pojemności 1,5 MWh, kosztujący 480 000 USD, zajmuje 70 m² i waży 107 ton. Akumulator VRB ma żywotność ponad 10 000 cykli. Ładuje i rozładowanie zajmuje tyle samo czasu (w przeciwieństwie do akumulatorów ołowiowo-kwasowych, które ładuje się 5 razy wolniej niż się rozładowuje). Sprawność konwersji energii w obie strony wynosi 70–75%. Objętość konieczna do zgromadzenia 20 kWh (czyli 20 Wh/kg) wynosi 1 m³ dwumolekowego wanadu w kwasie siarkowym.

Zmagazynowanie 10 GWh energii wymagałoby 500 000 m³. To 170 basenów pływackich lub głębokie na 2 metry zbiorniki pokrywające powierzchnię 500 na 500 m.

Budowa większej liczby systemów VRB, by sprostać wyzwaniu zmagazynowania 10 GWh, miałaby znaczący wpływ na światowy rynek wanadu, ale w dłuższej perspektywie nie będzie niedoborów. Obecna globalna produkcja wanadu wynosi 40 000 ton rocznie. System o pojemności 10 GWh zawierałby 36 000 ton wanadu, co z grubszą odpowiada dzisiejszej rocznej produkcji. Wanad jest obecnie produktem ubocznym innych procesów, a całkowite światowe zasoby szacowane są na 63 mln ton.

Rozwiązania „oszczędnościowe”

W dzisiejszym świecie, gdzie z zanieczyszczeniem CO₂ nie wiążą się żadne koszty, poprzeczkę finansową związaną z gromadzeniem energii łatwo zignorować – wystarczy zbudować kolejną elektrownię na gaz, która zaspokoi dodatkowe zapotrzebowanie na prąd albo pozbyć się nadwyżek prądu, trwoniąc go w grzejnikach.



Rys. 26.16. Zapotrzebowanie na gaz (dolny wykres) oraz temperatury (górny wykres) w Wielkiej Brytanii w 2007 roku

Fluktuacje sezonowe

Najdłużej trwające zmiany w popycie i podaży wiążą się z porami roku. Najważniejsza fluktuacja dotyczy ogrzewania budynków, które zwiększa się każdej zimy. Obecnie popyt na gaz w Wielkiej Brytanii zmienia się na prze 2 kWh na osobę dziennie od grudnia do lutego przy wartościach ekstremalnych 30–80 kWh na osobę dziennie (rys. 26.16).

Niektóre źródła odnawialne również doświadczają fluktuacji związanych z porami roku – na przykład latem słońce świeci mocniej, a wiatr jest słabszy.

Jak prześliznąć się przez te długotrwałe fluktuacje? Pojazdy elektryczne i elektrownie szczytowo-pompowe nie zgromadzą potrzebnych ilości energii. Na pewno mielibyśmy spory pożytek z długookresowego magazynowania energii w postaci ciepła. Wielka skała lub cysterna z wodą jest w stanie zgromadzić ciepło dla pojedynczego budynku na całą zimę – kwestię tę rozważamy bardziej szczegółowo w rozdziale E. W Holandii latem ciepło powierzchni dróg jest gromadzone na zimę w zbiornikach wodnych, a następnie dostarczane do budynków za pomocą pomp ciepła. [2wmuw7].

Przypisy i zalecana literatura

Numer strony:

196 Całkowita produkcja sektora energetyki wiatrowej w Irlandii.

– Źródło: eirgrid.com [2hxf6c].

– „Słaby wiatr przyczyną problemów sieci energetycznej w Teksasie”. [2l99ht]. Oto jak ja interpretowałbym tę informację: to wydarzenie, aczkolwiek rzadkie, mieści się w granicach normalnego działania sieci. Do sieci przyłączeni są klienci przemysłowi, którym można odciąć dostawy, kiedy popyt przewyższa podaż. Produkcja z wiatru spadła o 1,4 GW, a w tym samym czasie zapotrzebowanie Teksasńczyków wzrosło o 4,4 GW, powodując taki właśnie rozróż między podażą a popytem. Odcięto te dostawy, które można było odciąć, zgodnie z założeniami obsługi takich sytuacji.

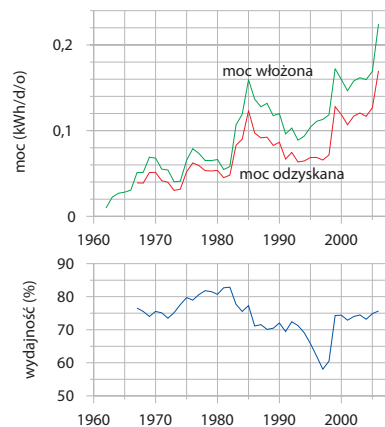
A oto inna sytuacja, w której przydałby się lepszy system planowania energetycznego: „Produkcja energii z wiatru w Hiszpanii bije rekordy, zarządzono cięciem”. [3x2kw]. Przeciętne całkowite zużycie energii elektrycznej w Hiszpanii wynosi 31 GW. W czwartek 4 marca 2008 roku generatory wiatrowe dostarczały 10 GW. „Hiszpański rynek energii stał się szczególnie wrażliwy na fluktuacje wiatru”.

– Zwolennicy energii wiatrowej umniejszają wagę problemu, twierdząc: „Spokojnie. Pojedyncze farmy wiatrowe może nie zapewniają stabilnej produkcji, ale wszystkie farmy wiatrowe w sumie dają znacznie większą stabilność”. Po przykłady odsyłam na stronę yes2wind.com, na której „obala się mit, że nie można polegać na energii wiatrowej” i zakłada się, że „zmiennosc produkcji energii z farm wiatrowych rozsianych w całym kraju jest prawie niezauważalna”. www.yes2wind.com/intermittency_debunk.html

– ... produkcja nie jest stabilna, nawet jeżeli zbierzemy wiele turbin pokrywających cały kraj. Wielka Brytania jest nieco większa niż Irlandia, ale problem jest ten sam. – Źródło: Oswald i in. (2008).

200 Sprawność systemu magazynowania energii w Dinorwig wynosi 75%. Dane na ten temat znajdziemy na rys. 26.17. Więcej informacji na temat Dinorwig i alternatywnych lokalizacji dla elektrowni szczytowo-pompowych w: Baines i in. (1983, 1986).

202 Rys. 26.7. Wymagana objętość robocza (V) została obliczona na podstawie wysokości spadku wody pomiędzy zbiornikami (h) w następujący sposób: jeżeli ϵ oznacza sprawność konwersji energii potencjalnej na prąd, wówczas



Rys. 26.17. Sprawność czterech elektrowni szczytowo-pompowych w Wielkiej Brytanii

$$V = 100 \text{ GWh}/(\rho g h \epsilon)$$

gdzie ρ określa gęstość wody, g to przyspieszenie ziemskie. Założyłem, że generatory mają sprawność $\epsilon = 0,9$.

- 202 Tabela 26.8. Alternatywne lokalizacje dla elektrowni szczytowo-pompowych. Jako górny zbiornik dla Bowydd proponowano Llyn Newydd, współrzędne SH 722 470; dla Croesor – Llyn Cwm-y-Foel, SH 653 466.
- 203 Gdyby 10 szkockich elektrowni szczytowo-pompowych miało taki potencjał, jak Loch Sloy, moglibyśmy gromadzić 400 GWh. Te przybliżone szacunki oparte są na opracowaniu Strathclyde University [502x9u], które wymienia 14 lokalizacji o potencjale magazynowania 514 GWh.
- 205 Lodówki można tak zaprojektować, by regulowały swój wewnętrzny termostat nieco w górę lub nieco w dół, w odpowiedzi na zmiany częstotliwości w sieci. [2n3pmb]. Więcej na stronach: Dynamic Demand, www.dynamicdemand.co.uk; www.rltec.com; www.responsiveload.com
- W RPA (...) zainstalowano sterowane radiowo systemy zarządzania popytem. – Źródło: [2k8h4o].
 - Niemal cała duńska energia z wiatru jest eksportowana do innych europejskich krajów. – Źródło: Sharman (2005).
- 207 Od roku 1982, czyli od ponad 25 lat, szkocka wyspa Fair Isle ma dwie sieci energetyczne. www.fairisle.org.uk/FIECo/
Prędkość wiatru zazwyczaj waha się między 3 m/s i 16 m/s; najczęściej jest to 7 m/s.
- 208 Rys. 26.13. Sprawności magazynowania. Akumulatory litowo-jonowe: sprawność 88%. – Źródło: www.national.com/appinfo/power/files/swcap_eet.pdf
Akumulatory ołowioowo-kwasowe: 85–95%.
– Źródło: www.windsun.com/Batteries/Battery_FAQ.htm
Magazynowanie przy użyciu sprężonego powietrza: sprawność 18%.
– Źródło: Lemofouet-Gatsi i Rufer (2005); Lemofouet-Gatsi (2006). Również Denholm i in. (2005).
Powietrze/olej: akumulatory hydrauliczne, wykorzystywane do hamowania odzyskowego w ciężarówkach, to instalacje na sprężone powietrze o sprawności nawet 90% (w obie strony), które pozwalają odzyskać 70% energii kinetycznej. Źródła: Lemofouet-Gatsi (2006), [5cp27].
- Tabela 26.14. – Źródła: Xtronics xtronics.com/reference/energy_density.htm; Battery University [2sxlyj]; informacja na temat koła zamachowego pochodzi z: Ruddell (2003).
Najnowsze akumulatory o największej gęstości energetycznej to akumulatory litowo-siarkowe i litowo-siarczkowe, o gęstości energetycznej 300 Wh/kg.
Niektórzy rozczarowani zwolennicy wodoru zdają się wspinać po tablicy Mendelejewa i optują za borem. Bor (założywszy, że spalamy go do B_2O_3) ma gęstość energetyczną 15 000Wh na kg, a to świetnie i dużo. Obawiam się jednak, że moje główne zastrzeżenia co do wodoru i tutaj znajdują zastosowanie: produkcja paliwa (tutaj boru z tlenku boru) może być nieefektywna energetycznie, podobnie jak proces spalania.
- 209 Wanadowe akumulatory przepływowe. – Źródła: www.vrbpower.com; irlandzka farma wiatrowa [ktd7a]; szybkość ładowania [627ced]; globalna produkcja [5fasl7].
- 210 ... latem ciepło powierzchni dróg jest gromadzone w zbiornikach wodnych... [2wmuw7].



Fot. 26.18. Potencjalna lokalizacja kolejnej elektrowni szczytowo-pompowej o mocy 7 GWh. Dolina Croesor znajduje się w centrum, między ostrym szczytem (Cnicht) po lewej i szerszymi szczytami (The Moelwyns) po prawej.