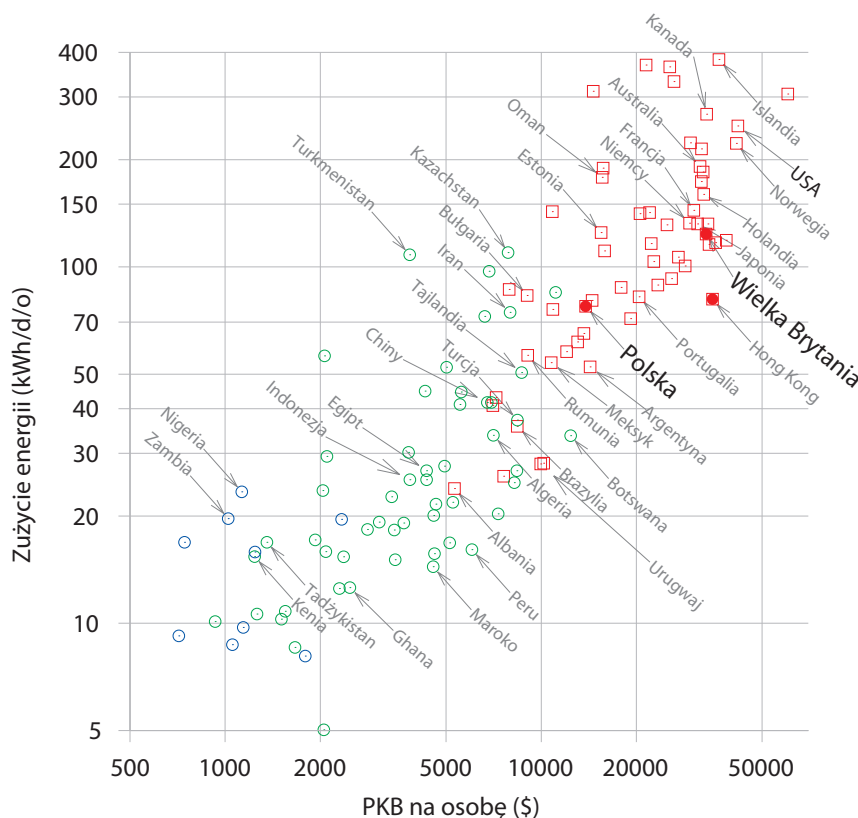


30 Plany energetyczne dla Europy, Ameryki Północnej i świata

Rys. 30.1 pokazuje zużycie energii w wybranych krajach i regionach w stosunku do ich produktu krajowego brutto (PKB). Powszechnie uważa się, że rozwój i wzrost są dla ludzkości dobre. W związku z tym, szkicując plany zrównoważonej energetyki założę, że wszystkie kraje o niskim PKB będą wędrować na prawą stronę diagramu. A wraz ze wzrostem PKB nieuchronnie wzrośnie zużycie energii – nie wiemy jednak o ile. Poziom zużycia dla przeciętnego Europejczyka (125 kWh na osobę dziennie) wydaje się rozsądnym założeniem. Może się też zdarzyć, że działania na rzecz efektywności, przewidziane w modelowej Brytanii z rozdziałów: 19–28, pozwolą wszystkim krajom na osiągnięcie europejskiego standardu życia przy niższym zużyciu energii. W planie na str. 213 zużycie energii w modelowej Brytanii spadło do około 68 kWh/d/o. Pamiętając, że w modelowej Brytanii pominięto dużą część przemysłu, założmy nieco wyższy cel, na poziomie zużycia Hong Kongu – 80 kWh/d/o.



Rys. 30.1. Zużycie energii *per capita* w stosunku do PKB *per capita*, w dolarach amerykańskich, według parytetu siły nabywczej. Dane pochodzą z Raportu o Rozwoju Społecznym (Human Development Report) Programu Narodów Zjednoczonych ds. Rozwoju (UNDP) z 2007 roku. Kwadraty oznaczają kraje o „wysokim wskaźniku rozwoju” społecznego a kółka – o „średnim” lub „niskim”. Obie zmienne w skali logarytmicznej. Rys. 18.4 pokazuje te same dane w normalnej skali liniowej.

Rachunki dla Europy

Czy Europa może bazować na źródłach odnawialnych?

Średnia gęstość zaludnienia w Europie jest mniej więcej o połowę niższa niż w Wielkiej Brytanii, mamy więc więcej powierzchni na ustawienie rozległych instalacji OZE. Obszar Unii Europejskiej to około 9000 m² na osobę. Niestety

wiele źródeł odnawialnych na kontynencie ma mniejszą gęstość energetyczną niż w Wielkiej Brytanii – na większości obszaru Europy mniej wieje, jest mniej fal, nie ma pływów. Gdzieś tam mają lepsze warunki dla energetyki wodnej (w Skandynawii i Europie Środkowej), gdzieś tam mocniej świeci słońce. Wypracujmy jakieś przybliżone liczby.

Wiatr

Centralna część kontynentu europejskiego charakteryzuje się niższymi przeciętnymi prędkościami wiatru niż Wyspy Brytyjskie. Na przykład na większości obszaru Włoch prędkości wiatru oscylują poniżej 4 m/s.

Założmy, że 1/5 Europy ma wystarczająco dobre wiatry, by opłacało się stawiać farmy wiatrowe o gęstości energetycznej 2 W/m². Następnie założmy, że zalecamy tym regionom taką samą kurację jak Wielkiej Brytanii w rozdziale 4 wypełniając 10% ich obszaru wiatrakami. Obszar Unii Europejskiej to około 9000 m² na osobę. Stąd też wiatr daje:

$$\frac{1}{5} \times 10\% \times 9000 \text{ m}^2 \times 2 \text{ W/m}^2 = 360 \text{ W}$$

czyli 9 kWh/o/d.

Energetyka wodna

W Europie produkcja energii z wody wynosi 590 TWh rocznie (67 GW), co podzielone między 500 milionów daje 3,2 kWh na osobę dziennie. Prym wiodą Norwegia, Francja, Szwecja, Włochy, Austria i Szwajcaria. Gdyby każdy kraj podwoił liczbę elektrowni wodnych (co może być trudne), wówczas energia z wody zapewniłaby 6,4 kWh na osobę dziennie.

Fale

Mnożąc całe wybrzeże Atlantyku (około 4000 km) przez zakładaną średnią produkcję rzędu 10 kW/m, otrzymujemy 2 kWh na osobę dziennie. Fale w Bałtyku i Morzu Śródziemnym nie są warte dyskusji.

Pływy

Podważając potencjał oszacowany dla Wysp Brytyjskich (11 kWh na osobę dziennie, patrz: rozdział 14), uwzględnimy potencjał pływów u wybrzeży Francji, Irlandii i Norwegii. Dzieląc to przez 500 mln Europejczyków, otrzymujemy 2,6 kWh na osobę dziennie. Potencjał wybrzeży Bałtyku i Morza Śródziemnego nie jest wart rozważań.

Moduły fotowoltaiczne i kolektory na dachach

Jest wiele miejsc bardziej słonecznych niż Wielka Brytania, dlatego panele słoneczne zapewnią kontynentowi więcej energii. 10 m² dachowych modułów fotowoltaicznych dostarczyłoby około 7 kWh dziennie wszędzie na południe od Wielkiej Brytanii. 2 m² kolektorów słonecznych zapewniłoby średnio 3,6 kWh dziennie ciepła niskotemperaturowego (sugerowanie większej powierzchni na osobę nie ma sensu, bo to powinno zaspokoić typowe zapotrzebowanie na gorącą wodę).

Co jeszcze?

Do tej pory zbieraliśmy: $9 + 6,4 + 2 + 2,6 + 7 + 3,6 = 30,6$ kWh na osobę dziennie. Nie wymieniliśmy jeszcze energii geotermalnej i energetyki słonecznej dużej skali (opartej na zwierciadłach, panelach lub biomasie).

Geotermia może być pomocna, ale wciąż jest w fazie badań. Traktowałbym ją jak syntezę jądrową – to dobra inwestycja, ale za wcześnie, by na nią stawiać.

A co z farmami słonecznymi? Można by przeznaczyć 5% Europy (450 m² na osobę) na systemy fotowoltaiczne, takie jak farma bawarska pokazana na fot. 6.7 (o gęstości energetycznej rzędu 5 W/m²). Zapewniłoby to średnią moc rzędu:

$$5 \text{ W/m}^2 \times 450 \text{ m}^2 = 54 \text{ kWh na osobę dziennie.}$$

Tak więc systemy fotowoltaiczne zapewniłyby dużo energii. Podstawowym problemem jest ich koszt. No i skąd wziąć energię zimą?

Uprawy energetyczne? Rośliny wychwytyją zaledwie 0,5 W/m² (fot. 6.11). Europa musi się wyżywić, stąd też ilość energii dostarczonej przez rośliny (innej niż kalorie w pożywieniu), nigdy nie będzie imponująca. Owszem, tu i ówdzie będzie rzepak, gdzie indziej lasy, ale nie wyobrażam sobie jednak, by całkowity wkład roślin energetycznych był większy niż **12 kWh na osobę dziennie**.

Podsumowanie

Bądźmy realistami. Podobnie jak Wielka Brytania Europa nie może oprzeć się tylko na własnych źródłach odnawialnych. By móc odejść od paliw kopalnych, Europa musi zwrócić się ku energetyce jądrowej lub też energii słonecznej z cudzych pustyń albo ku jednej i drugiej.

Rachunki dla Ameryki Północnej

Przeciętny Amerykanin zużywa 250 kWh na osobę dziennie. Czy źródła odnawialne temu sprostają? Wyobraźmy sobie, że narzucamy szokujące standardy efektywności (takie, jak: efektywne energetycznie samochody i elektryczne pociągi dużych prędkości), przez co Amerykanie upadają w otchłań nędzy, czyli zużywają energię na poziomie przeciętnego Europejczyka czy Japończyka (125 kWh na osobę dziennie).

Wiatr

Zespół Elliotta (1991) szacuje potencjał energii wiatrowej w USA. Najsilniej wieje w Północnej Dakocie, Wyoming i Montanie. Według ich obliczeń w całym kraju można by wykorzystać 435 000 km² (bez ryzyka większych protestów), generując 4600 TWh rocznie (czyli **42 kWh na osobę dziennie**, po podzieleniu przez 300 mln mieszkańców). W rachunkach założyli gęstość energetyczną rzędu 1,2 W/m² (nawiasem mówiąc, to mniej niż nasze 2 W/m², założone w rozdziale 4). Powierzchnia tych farm wiatrowych (435 000 km²) z grubsza odpowiada wielkości Kalifornii. Należałoby wybudować wiatraki o mocy około 2600 GW (przy założeniu współczynnika obciążenia 20%), a to dwieście razy więcej niż dzisiaj.



Fot. 30.2. Kolektor słoneczny podgrzewający wodę pewnej rodzinie z Michigan. Pompa kolektora jest zasilana niewielkim modulem fotowoltaicznym umieszczonym po lewej.

Farmy na morzu

Założmy, że na płytkich wodach przybrzeżnych o powierzchni Delaware i Connecticut (20 000 km² – duża część wszystkich płytkich wód wschodniego wybrzeża USA) stawiamy farmy wiatrowe o gęstości energetycznej 3 W/m². Otrzymujemy średnią moc 60 GW, co dzielone na 300 mln mieszkańców daje 4,8 kWh/d/o. Trzeba by wybudować 15 razy więcej wiatraków, niż stoi dzisiaj w USA.

Energia geotermalna

W rozdziale 16 wspominałem opracowanie na temat geotermii wykonane w MIT (Massachusetts Institute of Technology, 2006). Autorzy optymistycznie oceniają potencjał energii geotermalnej w Ameryce Północnej, a szczególnie w stanach zachodnich, dysponujących większą liczbą gorących skał. „Przy rozsądnych inwestycjach w badania i rozwój, wspomagane systemy geotermalne mogą zapewnić co najmniej 100 GW(e) konkurencyjnej cenowo mocy na przetrzeni następnych 50 lat. Co za tym idzie, mogą one być stabilnym źródłem energii w perspektywie długookresowej”. Założmy, że mają rację. 100 GW prądu, dzielone na 300 mln mieszkańców, daje 8 kWh na osobę dziennie.

Energetyka wodna

Elektrownie wodne w Kanadzie, USA i Meksyku generują jakieś 660 TWh energii rocznie. Dzielone na 500 mln ludzi daje to 3,6 kWh na osobę dziennie. Gdyby udało się podwoić produkcję w energetyce wodnej w Ameryce Północnej, hydroenergia zapewniałaby 7,2 kWh na osobę dziennie.

Co jeszcze?

Jak dotąd mamy: 42 + 4,8 + 8 + 7,2 = 62 kWh na osobę dziennie. To nie wystarczyłoby nawet Europejczykowi! Mógłbym rozważyć szereg innych opcji, na przykład zrównoważone spalanie kanadyjskich lasów. Zamiast jednak przedłużać agonię, przeskoczmy od razu do technologii, która załatwia nam sprawę – do koncentrowania energii słonecznej.

Na rys. 30.3 oznaczono obszary w Ameryce Północnej, które dostarczyłyby każdemu mieszkańcowi (500 mln ludzi) średnio 250 kWh dziennie.

Podsumowanie

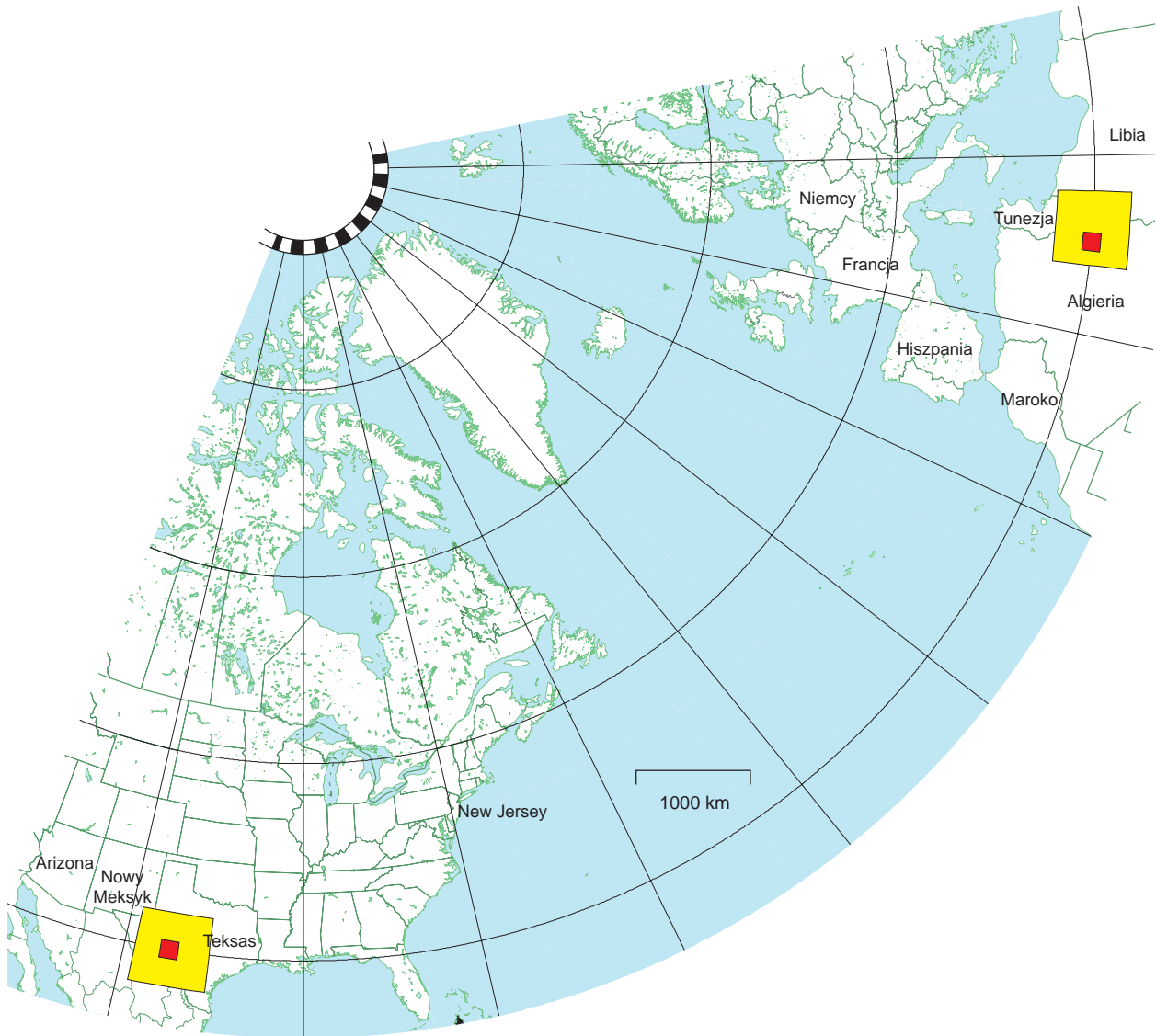
Odnawialne źródła w Ameryce Północnej inne niż słońce nie wystarczą. Jeżeli jednak na masową skalę rozwinie się energetyka słoneczna, energii będzie w bród. Ameryka Północna potrzebuje słońca z własnych pustyń albo atomu, albo jednego i drugiego.

Rachunki dla świata

Jak zapewnić 6 miliardom ludzi europejski standard życia, na poziomie zużycia energii równym 80 kWh na osobę dziennie?

Wiatr

Wyjątkowe miejsca na mapie świata o silnym i stabilnym wietrze to środkowe stany USA (Kansas, Oklahoma), Saskatchewan w Kanadzie, południowe krańce



Rys. 30.3. Kwadraty znów atakują. Kwadrat wielkości 600 km na 600 km w Ameryce Północnej, szczelnie wypełniony elektrowniami koncentrującymi energię słoneczną pozwoliłby 500 mln ludzi zużywać prąd na dzisiejszym amerykańskim poziomie (250 kWh dziennie).

Na mapie mamy również kwadrat 600 km na 600 km w Afryce, na który już się natknęliśmy. Tak jak wcześniej, zakładam tutaj gęstość energetyczną rzędu 15 W/m^2 .

Powierzchnia jednego żółtego kwadratu jest nieco większa od Arizony i 16 razy większa niż New Jersey.

W każdym z dużych kwadratów mamy mniejszy, o wielkości 145 na 145 km, wyznaczający obszar na pustyni (o wielkości jednego New Jersey) konieczny do zapewnienia 250 kWh/d/o trzydziestu milionom ludzi.

Argentyny i Chile, pn.-wsch. Australia; pn.-wsch. i pn.-zach. Chiny, pn.-zach. Sudan; pld.-zach. RPA, Somalia, Iran i Afganistan. I farmy wszędzie na morzach za wyjątkiem pasa tropików wokół równika, o szerokości 60 stopni.

Do oszacowania globalnego posłużymy się liczbami Greenpeace i Europejskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej: „Całkowite dostępne zasoby wiatru na świecie szacuje się na 53 000 TWh rocznie”. To **24 kWh na osobę dziennie**.

Energetyka wodna

W skali świata energetyka wodna dostarcza około 1,4 kWh na osobę dziennie.

Na stronie www.ieahydro.org czytamy: „Międzynarodowe Stowarzyszenie Hydroenergetyki i Międzynarodowa Agencja Energii szacują całkowity potencjał techniczny energetyki wodnej na 14 000 TWh rocznie (6,4 kWh na osobę dziennie w skali globu), z czego rozwój około 8000 TWh/rok (**3,6 kWh na osobę dziennie**) uważa się obecnie za opłacalny ekonomicznie. Większość tego potencjału zidentyfikowano w Afryce, Azji i Ameryce Łacińskiej”.

Pływy

Istnieje kilka miejsc na świecie o potencjale energii z pływów zbliżonym do ujścia Severn (rys. 14.8). W Argentynie mamy dwa takie punkty: San José i Golfo Nuevo, Australia ma Walcott Inlet, USA i Kanada dzielą Zatokę Fundy, Kanada ma Cobequid, Indie Zatokę Khambat, USA mają Turnagain Arm i Knik Arm, a Rosja Tugur.

Prawdziwym pływowym olbrzymem jest rosyjska Zatoka Penżyńska (Morze Ochockie) o zasobach rzędu 22 GW – dziesięciokrotnie większych niż Severn!

Kowalik (2004) szacuje, że w skali globu można by generować 40–80 GW mocy z pływów. Podzielone na 6 mld ludzi daje to **0,16–0,32 kWh na osobę dziennie**.

Fale

Można oszacować całkowity potencjał energii z fal, mnożąc długość wybrzeży wystawionych na silne wiatry (około 300 000 km) przez typową moc na jednostkę długości wybrzeża (10 kW na metr). Otrzymujemy 3000 GW.

Zakładając, że 10% tego potencjału jest pochwycone przez elektrownie falowe o 50-procentowej sprawności konwersji mocy fal na elektryczność, energia fal mogłaby zapewnić **0,5 kWh na osobę dziennie**.

Energia geotermalna

Według D. H. Freestona z Instytutu Geotermii w Auckland moc zainstalowana w geotermii na świecie w 1995 roku wyniosła około 4 GW, czyli 0,01 kWh na osobę dziennie. Załóżmy, że naukowcy z MIT mają rację (str. 107) i że wszędzie jest tak jak w Stanach, czyli że energia geotermalna może zapewnić **8 kWh na osobę dziennie**.

Słońce w roślinach energetycznych

Ludzie ekscytują się roślinami energetycznymi, takimi jak jatrofa (podobno nie będzie konkurować o glebę z żywnością, bo rośnie na nieużytkach). Zanim wpadną w zachwyt, powinni przyrzeć się liczbom. Liczby dotyczące jatrofy

znajdują się na str. 299. Nawet gdyby pokryć całą Afrykę plantacjami jatrofy, generowana moc, podzielona na sześć miliardów ludzi, zapewniłaby **8 kWh na osobę dziennie** (a to zaledwie energia jednej trzeciej obecnego zużycia ropy na świecie). Nie porzucimy nałogu ropy, przedstawiając się na jatrofę!

Oszacujmy, jak dużo energii mogą dostarczyć rośliny energetyczne w skali globu. Użyjemy tej samej metody, jak w rozdziale 6 dla Wielkiej Brytanii – przeznaczamy na uprawę wszystkie grunty orne. Obecnie 18% powierzchni świata to grunty orne – 27 mln km². To **4500 m² na osobę** w sześcimiiliardowej populacji. Przy założeniu gęstości energetycznej 0,5 W/m² i strat rzędu 33% związanych z uprawą i przetwarzaniem, uprawy energetyczne, zajmując całość obszarów rolniczych, zapewniłyby **36 kWh na osobę dziennie**. A może te szacunki są zaniżone, skoro na rys. 6.11 (str. 52) widzimy, że brazylijska trzcina cukrowa charakteryzuje się gęstością energetyczną rzędu 1,6 W/m² (trzy razy większą niż właśnie założyliśmy)? No dobrze, brazylijskie uprawy energetyczne mogą mieć przyszłość. Chciałbym teraz przejść do naszej ostatniej możliwości.

Kolektory słoneczne, moduły fotowoltaiczne i koncentrowanie energii słonecznej

Kolektory słoneczne? Nic, tylko instalować. Sprawdzą się niemal wszędzie na świecie. Światowym liderem w tym zakresie są Chiny. Na świecie mamy ponad 100 GW mocy w kolektorach słonecznych, z czego ponad połowa przypada Chinom.

Systemy fotowoltaiczne sprawdzą się w Europie, ale stwierdziliśmy, że są za drogie. Mam oczywiście nadzieję, że się mylę. Byłoby cudownie, gdyby koszt fotowoltaiki spadł tak samo, jak na przestrzeni ostatnich 40 lat spadły ceny komputerów.

Zakładam, że w wielu rejonach świata najlepszym sposobem generowania prądu ze słońca byłoby koncentrowanie energii słonecznej, co omawialiśmy na stronie 187 i 251. Ustaliliśmy już, że miliardowi ludzi w Europie i Afryce Północnej wystarczyłyby elektrownie słoneczne pokrywające kawał pustyni blisko basenu Morza Śródziemnego i że potrzeby energetyczne pięciuset milionów w Ameryce Północnej zaspokoilyby elektrownie wielkości Arizony na pustyniach USA i Meksyku. Identyfikację odpowiednich pustyń dla pozostałych 4,5 mld ludzi pozostawiam Czytelnikom.

Podsumowanie

Potencjał (z wyłączeniem energetyki słonecznej) jest następujący. Wiatr: 24 kWh/d/o, energetyka wodna: 3,6 kWh/d/o, pływy: 0,3 kWh/d/o, fale: 0,5 kWh/d/o, geotermia:

8 kWh/d/o, co w sumie daje 36 kWh/d/o. Naszym celem było zużycie na poziomie energooszczędnego Europejczyka, czyli 80 kWh na osobę dziennie. Konkluzja jest jasna – potencjał innych niż słońce odnawialnych źródeł energii może i jest „ogromny”, ale nie jest wystarczający. By dopełnić plan, musimy oprzeć się na wybranych formach energetyki słonecznej. Lub też na atomie. Albo na jednym i drugim.

Sheffield	28%
Edinburgh	30%
Manchester	31%
Cork	32%
Londyn	34%
Kolonia	35%
Kopenhaga	38%
Monachium	38%
Paryż	39%
Berlin	42%
Wellington, NZ	43%
Seattle	46%
Toronto	46%
Detroit, MI	54%
Winnipeg	55%
Pekin 2403	55%
Sydney 2446	56%
Pula, Chorwacja	57%
Nicea, Francja	58%
Boston, MA	58%
Bangkok, Tajlandia	60%
Chicago	60%
Nowy Jork	61%
Lizbona, Portugalia	61%
Kingston, Jamajka	62%
San Antonio	62%
Sewilla, Hiszpania	66%
Nairobi, Kenia	68%
Johannesburg, RPA	71%
Tel Aviv	74%
Los Angeles	77%
Upington, RPA	91%
Yuma, AZ	93%
Pustynia Sahara	98%

Tabela 30.4. Nasłonecznienie w różnych miejscach na świecie [3doaeq]

Przypisy i zalecana literatura

Numer strony:

250 Potencjał energetyki wiatrowej na morzu w Ameryce Północnej:

www.ocean.udel.edu/windpower/ResourceMap/index-wn-dp.html

- Ameryka Północna potrzebuje słońca z własnych pustyń, albo atomu albo jednego i drugiego. O planie firmy Google z 2008 roku zakładającym 40% redukcję zużycia paliw kopalnych w USA można przeczytać w artykule Jeffery'a Greenblatta *Czysta Energia 2030* [3lcw9c]. Główne działania to: zwiększenie efektywności energetycznej, elektryfikacja transportu i produkcja prądu ze źródeł odnawialnych. Plan produkcji energii elektrycznej zawiera:

10,6 kWh/d/o	z wiatru,
2,7 kWh/d/o	z fotowoltaiki,
1,9 kWh/d/o	z koncentrujących elektrowni słonecznych,
1,7 kWh/d/o	z biomasy,
i 5,8 kWh/d/o	z geotermii

do roku 2030. To razem 23 kWh/d/o z nowych odnawialnych źródeł energii. W planie zakłada się również niewielki wzrost produkcji w energetyce jądrowej, z 7,2 kWh/d/o do 8,3 kWh/d/o. Produkcja w energetyce wodnej pozostaje bez zmian. W użyciu pozostałby gaz, zapewniając 4 kWh/d/o.

253 Całkowity potencjał energetyki wodnej... – Źródło: www.ieahydro.org/faq.htm.

- Globalny potencjał energii z fal jest szacowany na 3000 GW. Więcej w: Quayle i Changery (1981).
- Moc zainstalowana w geotermii w 1995 roku. Freeston (1996).

254 Uprawy energetyczne. Szacunki zbliżone do moich podaje Rogner (2000).