

25 A może import energii odnawialnej?

To, czy basen Morza Śródziemnego stanie się w XXI wieku obszarem współpracy czy konfliktu, ma strategiczne znaczenie dla naszego wspólnego bezpieczeństwa.

Joschka Fischer, Minister Spraw Zagranicznych RFN, luty 2004

Wiemy już, że trudno będzie nam odejść od paliw kopalnych i oprzeć się tylko na naszych własnych odnawialnych źródłach energii. Atom też ma swoje ograniczenia. Co jeszcze da się zrobić? A może by tak skorzystać z energii odnawialnej z zagranicy? (Nie żebyśmy mieli do niej jakieś prawo, ale ktoś może być tam zainteresowany sprzedaniem nam tej energii).

Większość zasobów, które pozwolą nam żyć w sposób zrównoważony, znajduje się na lądzie – to tam kładziemy panele słoneczne, to tam rosną rośliny energetyczne. Jared Diamond w swojej książce *Upadek* zauważa, że jest wiele czynników warunkujących upadek cywilizacji, jednak wspólną cechą wszystkich upadków jest nadmierne zagęszczenie ludności.

Miejsca takie jak Wielka Brytania i Europa są w opałach, bo mają duże zagęszczenie ludności, a wszystkie dostępne odnawialne źródła energii zajmują dużą powierzchnię i mają niewielką gęstość energetyczną (tabela 25.1). W poszukiwaniu ratunku powinniśmy zwrócić się do krajów, które mają (a) niskie zagęszczenie ludności; (b) dużą powierzchnię oraz (c) energię odnawialną o wysokiej gęstości energetycznej.

Region	Ludność	Obszar (km ²)	Gęstość zaludnienia (o/km ²)	Powierzchnia na osobę (m ²)
Libia	5 760 000	1 750 000	3	305 000
Kazachstan	15 100 000	2 710 000	6	178 000
Arabia Saudyjska	26 400 000	1 960 000	13	74 200
Algeria	32 500 000	2 380 000	14	73 200
Sudan	40 100 000	2 500 000	16	62 300
Świat	6 440 000 000	148 000 000	43	23 100
Szkocja	5 050 000	78 700	64	15 500
Unia Europejska	496 000 000	4 330 000	115	8 720
Walia	2 910 000	20 700	140	7 110
Zjednoczone Królestwo	59 500 000	244 000	243	4 110
Anglia	49 600 000	130 000	380	2 630

Tabela 25.2 wymienia niektóre kraje, które do tego opisu pasują. Na przykład gęstość zaludnienia w Libii jest 70 razy niższa niż w Wielkiej Brytanii, a jej obszar jest 7 razy większy. Inne duże, bogate w przestrzeń kraje to Kazachstan, Arabia Saudyjska, Algieria i Sudan.

We wszystkich tych państwach najbardziej obiecującym źródłem wydaje się być energia słoneczna, a w szczególności technologia koncentrowania energii słonecznej (*concentrating solar power* – CSP), opierająca się na zwierciadłach i soczewkach ogniskujących światło słoneczne. Elektrownie koncentrujące energię słoneczną występują w różnych odmianach, miewają różne kształty i ustawienia luster podążających za słońcem. Wykorzystują one różne

MOC NA JEDNOSTKĘ POWIERZCHNI LĄDU LUB WODY

Wiatr	2 W/m ²
Wiatr na morzu	3 W/m ²
Baseny pływowe	3 W/m ²
Prądy pływowe	6 W/m ²
Moduły fotowolt.	5–20 W/m ²
Rośliny energet.	0,5 W/m ²
Deszczówka (wyżyny)	0,24 W/m ²
Elektrownia wodna	11 W/m ²
Komin słoneczny	0,1 W/m ²
El. słoneczna z koncentracją (pustynia)	15 W/m²

Tabela 25.1. Instalacje OZE muszą zająć cały kraj, bo wszystkie odnawialne źródła potrzebują dużej powierzchni.

Tabela 25.2. Wybrane regiony, uszeregowane według gęstości zaludnienia – od najmniejszej do największej. Więcej danych dot. gęstości zaludnienia na str. 351. Stan na rok 2005. Populacja świata cały czas rośnie i mniej więcej na przełomie lat 2011/2012 osiągnie liczebność 7 miliardów [red.]

technologie konwersji energii w miejscu skupienia promieni słonecznych – na przykład silnik Stirlinga, wodę pod ciśnieniem lub roztwór soli – wszystkie te instalacje dostarczają zbliżoną średnią moc na jednostkę powierzchni, mniej więcej 15 W/m^2 .

Technologia, która załatwia sprawę

„Kwadrat $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ na Saharze mógłby zaspokoić potrzeby energetyczne całego świata”. Czy to prawda? Koncentrowanie energii słonecznej na pustyni dostarcza średnią moc na jednostkę powierzchni rzędu około 15 W/m^2 . Założywszy, że cały ten kwadrat służy tylko i wyłącznie produkcji energii, można by wygenerować 150 GW. To nie równa się obecnemu zużyciu energii na świecie. To nawet nie zbliża się do obecnego globalnego zużycia energii elektrycznej, które wynosi 2000 GW. Globalne zużycie energii wynosi obecnie 15 000 GW.

Prawidłowe jest więc stwierdzenie, że dzisiejszy popyt na energię zaspokoiłby kwadrat na pustyni, całkowicie wypełniony lustrami ogniskującymi, o wielkości 1000 km na 1000 km .

To czterokrotność obszaru Wielkiej Brytanii. Dodatkowo, jeżeli chcemy, by inni na świecie też mieli dostęp do energii, przypuszczalnie powinniśmy zapewnić podaż energii większą niż dzisiejszy popyt. Zapewnienie każdemu na świecie takiej ilości energii, jaką zużywa przeciętny Europejczyk (125 kWh dziennie), wymagałoby dwóch kwadratów 1000 km na 1000 km na pustyni.

Na szczęście świat nie kończy się na Saharze, warto więc pokroić świat na mniejsze regiony i zadać sobie pytanie, jaki obszar musimy wykorzystać na każdej lokalnej pustyni. W przypadku Europy pytanie brzmiałoby: „Jaki obszar północnej Sahary jest konieczny, by każdemu mieszkańcowi Europy i Afryki Północnej zapewnić energię na poziomie zużycia przeciętnego Europejczyka?” Założywszy, że populacja Europy i Afryki Północnej wynosi 1 miliard mieszkańców, wymagany obszar spada do $340\,000 \text{ km}^2$, co odpowiada kwadratowi $600 \text{ km} \times 600 \text{ km}$. To obszar równy powierzchni Niemiec, 140% terytorium Wielkiej Brytanii albo 16 Walii.

Udział Wielkiej Brytanii w tym obszarze 16 Walii wyniosłby jedną Walię: kwadrat 145 km na 145 km na Saharze zaspokoiłby całe zapotrzebowanie na energię pierwotną w Wielkiej Brytanii. Te kwadraty pokazano na rys. 25.5. Warto zauważyć, że chociaż żółty kwadrat może wydawać się „niewielki” na tle Afryki, ma rozmiar Niemiec.

Kwadrat na pustyni o powierzchni $600 \text{ km} \times 600 \text{ km}$ odpowiada obszarowi Polski. Zapewnienie Polakowi energii na poziomie przeciętnego Europejczyka (125 kWh dziennie) wymagałoby zarezerwowania na pustyni obszaru wielkości województwa śląskiego – kwadratu 115 km na 115 km .

Projekt DESERTEC

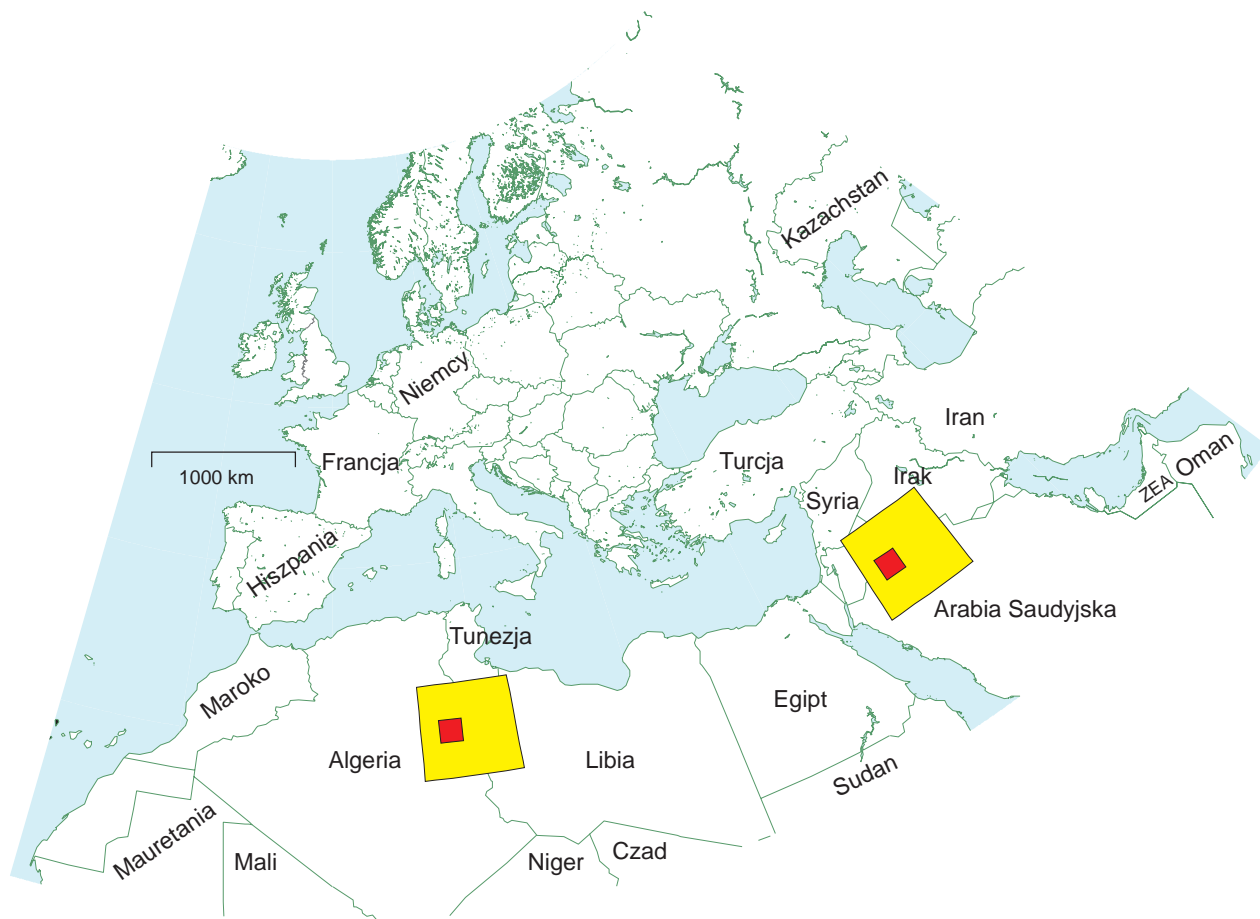
Organizacja o nazwie DESERTEC [www.desertec.org] promuje pomysł wykorzystania CSP w słonecznych krajach śródziemnomorskich i przesyłania tej energii na pochmurną północ za pomocą linii prądu stałego o wysokim napięciu (*high-voltage direct-current* – HVDC) (fot. 25.7). Technologia HVDC stosowana jest od 1954 roku do przesyłu energii elektrycznej zarówno kablami napowietrznymi, jak i podmorskimi (takimi jak interkonektor między Francją



Fot. 25.3. Talerz z silnikiem Stirlinga. Te wspaniałe koncentratory dostarczają moc na jednostkę powierzchni rzędu 14 W/m^2 . Zdjęcie zamieszczamy dzięki uprzejmości Stirling Energy Systems www.stirlingenergy.com
Fot. 25.3. ABB



Fot. 25.4. Andasol – elektrownia słoneczna o mocy „100MW” budowana w Hiszpanii. Nadmiar energii cieplnej wyprodukowanej w ciągu dnia będzie magazynowany w zbiornikach z ciekłymi solami nawet do 7 godzin, zapewniając nieprzerwaną i stabilną podaż energii elektrycznej do sieci. Przewiduje się, że elektrownia będzie produkować 350 GWh rocznie (40 MW). Zwierciadła paraboliczne zajmują 400 ha , stąd też moc na jednostkę powierzchni wyniesie 10 W/m^2 .
Fot. IEA SolarPACES



a Anglią). Używa się jej do przesyłu prądu na dystanse powyżej 1000 km w RPA, Chinach, USA, Kanadzie, Brazylii i Kongu. Typowa linia 500 kV może przesłać 2 GW mocy. Dwutorowa linia HVDC w Brazylii przesyła 6,3 GW.

Połączenia HVDC mają nad tradycyjnymi liniami wysokiego napięcia prądu przemiennego kilka przewag: wymagają mniej rozbudowanej infrastruktury, zajmują mniejszą przestrzeń i wiążą się z niższymi stratami energii przy przesyśle. Straty w przesyśle 3500-kilometrową linią HVDC, włączając koszty konwersji prądu zmiennego w stały, wyniosłyby około 15%. Kolejną zaletą systemów HVDC jest fakt, że wspierają stabilność sieci energetycznych, do których są podłączone.

Według planów DESERTEC należałoby wykorzystać najpierw tereny nadmorskie. Elektrownie CSP umieszczone nad morzem mogłyby jednocześnie odsalać wodę. Ten produkt uboczny stanowiłby cenne źródło wody do picia i dla rolnictwa.

Tabela 25.6 zawiera szacunki DESERTEC odnośnie potencjału produkcji energii w krajach Europy i Afryki Północnej. „Potencjał ekonomiczny” z nawiązką zapewniłby 125 kWh dziennie na osobę miliardowi ludzi. Całkowity „potencjał nadbrzeżny” zapewniłby temu miliardowi 16 kWh na osobę dziennie.

Rys. 25.5. Słynny mały kwadrat. Na mapie pokazano kwadraty wielkości 600 na 600 km – jeden w Afryce i jeden w Arabii Saudyjskiej, Jordanii i Iraku. Koncentrujące elektrownie słoneczne, szczelnie wypełniające jeden taki kwadrat zapewniłyby energię miliardowi ludzi na poziomie średniego zużycia w Europie, czyli 125 kWh dziennie. Powierzchnia jednego kwadratu równa się obszarowi Niemiec i szesnastu Waliom. W każdym z dużych kwadratów mieści się mniejszy kwadrat o powierzchni 145 na 145 km, który ilustruje obszar na Saharze (wielkości jednej Walii), niezbędny do zasilania w energię całej Wielkiej Brytanii.

Kraj	Potencjał ekonomiczny (TWh/rok)	Potencjał nadbrzeżny (TWh/rok)
Algeria	169 000	60
Libia	140 000	500
Arabia Saudyjska	125 000	2 000
Egipt	74 000	500
Irak	29 000	60
Maroko	20 000	300
Oman	19 000	500
Syria	10 000	0
Tunezja	9 200	350
Jordania	6 400	0
Jemen	5 100	390
Izrael	3 100	1
Zjedn. Emiraty Arabskie	2 000	540
Kuwejt	1 500	130
Hiszpania	1 300	70
Katar	800	320
Portugalia	140	7
Turcja	130	12
Razem	620 000 (70 000 GW)	6 000 (650 GW)

Spróbujmy odzwierciedlić na mapie zarys realistycznego planu. Wyobraźmy sobie obszary produkcji energii ze słońca, każdy obejmujący 1500 km² – to mniej więcej obszar Londynu (obszar administracyjny Wielkiego Londynu ma 1580 km²; obwodnica Londynu M25 zamyka obszar 2300 km²). Określmy je mianem stref. Załóżmy, że w każdej ze stref połowę powierzchni zajmą koncentrujące elektrownie słoneczne o średniej gęstości energetycznej 15 W/m², zostawiając miejsce dla rolnictwa, budynków, kolei, dróg, rurociągów i kabli. Przy założeniu 10-procentowych strat na przesyłanie ze strefy do konsumenta, każda ze stref produkuje średnio 10 GW energii. Na rys. 25.8 widać takie strefy w skali mapy. By łatwiej było sobie uzmysłować wielkość tych stref, kilka umieściłem w Wielkiej Brytanii. Cztery takie strefy produkowałyby równowartość całkowitego zużycia elektryczności w Wielkiej Brytanii (16 kWh na osobę dziennie dla 60 mln ludzi). Sześćdziesiąt pięć stref zapewniłoby 16 kWh na osobę dziennie całemu miliardowi mieszkańców Europy i Afryki Północnej. Rys. 25.8 pokazuje 68 stref na pustyni.

Dwie i pół takiej strefy zapewni 16 kWh każdemu Polakowi. Pełne trzy moglibyśmy rezerwować wspólnie ze Słowacją.

Tabela 25.6. Potencjał energetyki słonecznej w Europie i okolicach. Potencjał ekonomiczny to moc możliwa do wygenerowania w odpowiednich miejscach o prawidłowej bezpośredniej irradiancji większej niż 2000 kWh/m²/rok. Potencjał nadbrzeżny to moc możliwa do wygenerowania do wysokości 20 m (w pionie) nad poziomem morza. To szczególnie atrakcyjna opcja, z uwagi na możliwość powiązania z odsalaniem wody. Dla porównania, całkowita moc konieczna do zapewnienia 125 kWh dziennie miliardowi ludzi wynosi 46 000 TWh/rok (5 200 GW). 6000 TWh/rok (650 GW) to 16 kWh na osobę dziennie dla 1 mld ludzi.



Fot. 25.7. Budowa linii wysokiego napięcia prądu stałego między Finlandią a Estonią. Para tych kabli przesyła moc rzędu 350 MW. Fot. ABB

Rys. 25.8. Każda strefa odpowiada obszarowi wielkości 1500 km², który – w połowie wypełniony instalacjami solarnymi – produkowałby średnio 10 GW. 65 takich stref zapewniłoby dziennie 16 kWh na osobę miliardowi ludzi.



Systemy fotowoltaiczne z koncentratorami

Alternatywą dla koncentrujących termicznych elektrowni słonecznych na pustyniach są koncentrujące systemy fotowoltaiczne dużej skali. Za pomocą taniach soczewek lub luster ogniskuje się światło słoneczne na wysokiej jakości ogniwach słonecznych wytwarzających prąd. U Faimana i in. (2007) czytamy, że „energetyka słoneczna, a ściślej fotowoltaika z koncentracją energii słonecznej, może być całkowicie konkurencyjna kosztowo w stosunku do paliw kopalnych [w stanach pustynnych takich, jak: Kalifornia, Arizona, Nowy Meksyk i Teksas] bez konieczności dotowania”.

Według producenta koncentrujących systemów fotowoltaicznych Amonix ten rodzaj systemu koncentrującego miałby średnią moc na jednostkę powierzchni rzędu 18 W/m^2 .

Skalę koniecznej infrastruktury uzmysłowi nam również przełożenie na przeciętnego Kowalskiego. Moduł fotowoltaiczny pokazany na fot. 25.9, o mocy szczytowej „25 kW”, średnio generuje około 138 kWh dziennie; życie w amerykańskim stylu oznacza dzisiaj zużycie energii rzędu 250 kWh na osobę dziennie. Zatem odejście od paliw kopalnych w Stanach Zjednoczonych dzięki energii słonecznej wymagałoby z grubsza dwóch takich modułów $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ na osobę.

Pod względem importu energii odnawialnej zza granicy Polska znajduje się praktycznie w tej samej sytuacji co Wielka Brytania i reszta Europy. Nie sąsiadujemy z żadnym z liderów tabeli oferujących niskie zagęszczenie ludności, dużą powierzchnię oraz energię odnawialną o wysokiej gęstości energetycznej.

Powinniśmy popierać stworzenie supersieci energetycznej, łączącej kraje Europy i zapewniającej transfer energii z basenu Morza Śródziemnego oraz zapewniający transfer energii pomiędzy krajami – szczególnie, że możemy mieć olbrzymie problemy z magazynowaniem energii.

Wątpliwości

Coś mi tu nie gra. W rozdziale 6 stwierdzono, że najlepsze ogniwa fotowoltaiczne dostarczają średnio 20 W/m^2 w miejscach o nasłonecznieniu takim jak w Wielkiej Brytanii. Można by przypuszczać, że na pustyni te same ogniwa dostarczą 40 W/m^2 . Dlaczego więc koncentrujące elektrownie słoneczne miałyby dostarczać tylko $15\text{--}20 \text{ W/m}^2$? Przecież systemy z koncentracją powinny być nawet lepsze niż zwykłe, płaskie moduły?

To dobre pytanie. A krótka odpowiedź brzmi: „Nie”. Fotowoltaika z koncentracją nie osiąga lepszej mocy na jednostkę powierzchni niż płaskie moduły. Ustrojstwo z koncentracją musi podążać za słońcem, w innym razie promieniowanie słoneczne nie zostanie właściwie zogniskowane – stąd też, kiedy zaczynamy pakować przyrządy z koncentracją na kawałku terenu, musimy zostawić pomiędzy nimi przerwy. Mnóstwo energii słonecznej ucieka, bo wpada w te przerwy. Mimo to produkuje się systemy z koncentracją, ponieważ obecnie są tańsze niż bardzo drogie płaskie moduły fotowoltaiczne. Celem speców od systemów z koncentracją NIE jest osiągnięcie większej mocy na jednostkę powierzchni. Sama powierzchnia jest tania (tak przynajmniej zakładają). Celem jest dostarczenie jak największej mocy za 1 dolara.



Fot. 25.9. Kolektor fotowoltaiczny z koncentracją o mocy szczytowej 25 kW produkowany przez kalifornijską firmę Amonix. Instalacja o rozmiarze 224 m^2 zawiera 5760 soczewek Fresnela z 260-krotną koncentracją optyczną, z których każda oświetla silikonowe ogniwo o sprawności 25%. Jeden taki kolektor, odpowiednio ulokowany na pustyni, generuje 138 kWh dziennie – to wystarczy, by zaspokoić potrzeby energetyczne połowy Amerykanina. Podaję to „ludzkie” porównanie dla lepszego zilustrowania skali potencjału.
Fot. David Faiman

Dlaczego nie rozważa się tutaj pokrycia Sahary płaskimi modułami, skoro charakteryzują się większą gęstością energetyczną?

Bo rozważam tutaj praktyczne możliwości wielkoskalowej zrównoważonej produkcji energii na potrzeby Europy i Afryki Północnej do roku 2050. Przypuszczam, że w 2050 roku zwierciadła wciąż będą tańsze niż moduły fotowoltaiczne, dlatego też powinniśmy skupić się na technologii koncentrowania energii słonecznej.

A co z kominami słonecznymi?

Komin słoneczny, zwany też wieżą słoneczną, wykorzystuje słońce w bardzo prosty sposób. W centrum obszaru pokrytego przezroczystym dachem ze szkła lub plastiku stawia się ogromny komin zasysający powietrze z dołu i wyrzucający do góry. Gorące powietrze jest lżejsze od zimnego, więc się unosi – strumień gorącego powietrza wytworzony w tym podobnym do szklarni kolektorze słonecznym ze świstem ucieka kominem, jednocześnie przyciągając chłodniejsze powietrze z obwodu kolektora. Energia pozyskiwana jest ze strumienia powietrza za pomocą turbin u podstawy komina. Komin słoneczny, choć stosunkowo proste w budowie, nie zapewniają imponującej mocy na jednostkę powierzchni. Elektrownia pilotażowa w hiszpańskim Manzanares działała przez 7 lat, od 1982 do 1989 roku. Komin miał 195 m wysokości i 10 m średnicy, dach kolektora o średnicy 240 m składał się z 6000 m² szkła i 40 000 m² przezroczystego plastiku. Produkcja prądu wynosiła 44 MWh rocznie, co odpowiada mocy na jednostkę powierzchni rzędu 0,1 W/m². Teoretycznie im większy kolektor i im wyższy komin, tym większa gęstość energetyczna komina słonecznego. Inżynierowie odpowiedzialni za projekt Manzanares szacują, że w lokalizacji o irradiancji 2300 kWh/m² rocznie (262 W/m²) tysiącmetrowa wieża posadowiona na kolektorze o średnicy 7 km generowałaby rocznie 680 GWh, dając średnią moc rzędu 78 MW. Oznacza to moc na jednostkę powierzchni około 1,6 W/m², co odpowiada mocy na jednostkę powierzchni farm wiatrowych w Wielkiej Brytanii i jednej dziesiątej mocy na jednostkę powierzchni koncentrujących elektrowni słonecznych (zgodnie z tym, co tutaj policzyliśmy). Podobno komin słoneczny mogłyby generować prąd w cenie zbliżonej do konwencjonalnych elektrowni. Sugeruję, by kraje o dużej wolnej powierzchni i nasłonecznieniu ogłosiły wielki konkurs między kominami słonecznymi a elektrowniami słonecznymi z koncentracją, sponsorowany przez kraje produkujące i konsumujące ropę naftową.

A gdyby tak sprowadzać energię z Islandii, która ma w bród energii geotermalnej i elektrowni wodnych?

W rzeczywistości Islandia już eksportuje energię, zasilając własny przemysł wytwarzający energochłonne produkty. Weźmy aluminium – Islandia wytwarza w ciągu roku niemalże tonę aluminium na mieszkańca! Z punktu widzenia Islandii zyski mogą być spore. Czy jednak Islandia ocali Europę? Zdziwiłbym się, gdyby udało się zwiększyć produkcję energii na Islandii tak, by umożliwić znaczący eksport, choćby tylko do Wielkiej Brytanii. Zróbmy zestawienie z interkontektorem Anglia–Francja, który przesyła do 2 GW pod kanałem La Manche. Ta moc maksymalna odpowiada 0,8 kWh na Brytyjczyka dziennie, co z grubszą przekładą się na 5% średniego zużycia prądu na Wyspach. Średnia wielkość produkcji prądu ze źródeł geotermalnych na Islandii wynosi zaledwie 0,3 GW, a to mniej niż 1% średniego zużycia prądu w Wielkiej Brytanii. Średnia produkcja



Fot. 25.10. Prototypowy komin słoneczny w Manzanares
Fot. ze strony www.solarmillennium.de



Fot. 25.11. Jeszcze więcej energii geotermalnej na Islandii
Fot. Ward

energii elektrycznej na Islandii wynosi 1,1 GW. By przesyłać energię równą zdolności przesyłowej francuskiego interkonektora, Islandia musiałaby potroić produkcję energii elektrycznej. By dostarczyć nam 4 kWh na osobę dziennie (mniej więcej tyle produkują brytyjskie elektrownie jądrowe), Islandia musiałaby zwiększyć produkcję prądu dziesięciokrotnie. Zapewne warto wybudować interkonektory łączące z Islandią, ale nie oczekujmy, że dostarczą nam one poważnych ilości energii.

Przypisy i zalecana literatura

Numer strony:

187 **Koncentrowanie energii słonecznej na pustyni dostarcza średnią moc na jednostkę powierzchni rzędu około 15 W/m².** Oparłem się na danych dwóch producentów koncentrujących systemów solarnych z przeznaczeniem na pustynie.

Według www.stirlingenergy.com pojedyncze lustro skupiające (talerz) z 25-kilowatowym silnikiem Stirlinga może generować 60 000 kWh/rok w dobrej lokalizacji na pustyni. Przy upakowaniu talerzy w konfiguracji „jeden talerz na 500 m²” daje to średnią moc rzędu 14 W/m². Stirling Energy twierdzi, że lustro skupiające z silnikiem Stirlinga, w kategoriach wygenerowanej energii, najlepiej wykorzystuje zajmowany teren.

Z kolei Ausra (www.ausra.com) używa płaskich lusterek, które podgrzewają wodę do 285 °C, co wprawia w ruch turbinę parową. Gorąca woda pod ciśnieniem może być magazynowana w głębokich, pokrytych metalem zbiornikach, co umożliwia produkcję prądu nocą. W opisie elektrowni o mocy 240 MWe, która ma powstać w Australii, projektanci utrzymują, że 3,5 km² lusterek dostarczyłoby 1,2 TWh – to 38 W na m² lustra (Mills i LiÈvre, 2004). Szacując moc na jednostkę powierzchni, musimy uwzględnić przerwy pomiędzy lustrami. Przedstawiciele Ausra twierdzą, że by zasilić całe Stany Zjednoczone w prąd, potrzebują kwadratu na pustyni o powierzchni 153 km na 153 km (Mills i Morgan, 2008). Całkowita produkcja energii elektrycznej w USA wynosi 3600 TWh/rok, Ausra deklaruje więc moc na jednostkę powierzchni rzędu 18 W/m². Technologia przez nich użyta to *compact linear fresnel reflector* (Mills i Morrison, 2000; Mills i in., 2004; Mills i Morgan, 2008). Notabene, zamiast mówić o „energetyce słonecznej z koncentracją”, Ausra woli używać terminu *elektryczność słoneczna termiczna* (*solar thermal electricity – STE*), podkreślając korzyści z magazynowania energii w postaci ciepła, czego nie potrafią koncentrujące systemy fotowoltaiczne.

Trieb i Knies (2004), którzy są gorącymi zwolennikami energetyki słonecznej z koncentracją, dla poszczególnych technologii koncentrujących przewidują następujące zakresy mocy na jednostkę powierzchni: lustra paraboliczne 14–19 W/m²; linearny reflektor Fresnela 19–8 W/m²; wieża z heliostatami 9–14 W/m²; talerz z silnikiem Stirlinga 9–14 W/m².

W Europie mamy trzy demonstracyjne elektrownie słoneczne z koncentracją: Andasol (używająca lusterek parabolicznych), Solúcar PS10 (wieża w pobliżu Sewilli) i Solartres (wieża magazynująca ciepło w stopionych solach). System paraboliczny Andasol, pokazany na fot. 25.4, ma dostarczać 10 W/m². Wieża słoneczna Solúcar, o mocy 11 MW, jest wyposażona w 624 lustra, każde o powierzchni 121 m². Zwierciadła koncentrują światło słoneczne do gęstości promieniowania nawet na poziomie 650 kW/m². Odbiornik cieplny odbiera moc szczytową rzędu 55 MW. Elektrownia może zmagazynować 20 MWh energii cieplnej, co w warunkach zachmurzenia przedłuża jej pracę o 50 minut. Ma generować 24,2 GWh prądu rocznie, a zajmuje 55 ha. Daje to średnią moc na jednostkę powierzchni rzędu 5 W/m² (źródło: Abengoa Annual Report 2003). Solartres zajmie 142 ha i ma produkować 96,4 GWh/rok – daje to gęstość energetyczną rzędu 8 W/m².

Zarówno Andasol, jak i Solartres w normalnym trybie działania będą wykorzystywać pewne ilości gazu ziemnego.



Fot. 25.12. Inżynierowie montują koncentrującą elektrownię słoneczną eSolar wyposażoną w heliostaty (lustra rotujące i przechylające się w pogoni za słońcem). www.esolar.com produkuje elektrownie średniej wielkości: jednostka o mocy szczytowej 33 MW na 64-hektarowej działce. To 51 W/m² przy mocy szczytowej, przypuszczam więc, że w typowej pustynnej lokalizacji te elektrownie dostarczałyby jedną czwartą tej wartości, czyli 13 W/m².



Fot. 25.13. Wysokonapięciowy układ przesyłowy prądu stałego HVDC w Chinach
Fot. ABB

- Technologia HVDC stosowana jest do przesyłu prądu na dystansie powyżej tysiąca km w RPA, Chinach, USA, Kanadzie, Brazylii i Kongu. Źródła: Asplund (2004), Bahrman i Johnson (2007). Więcej na temat HVDC w: Carlsson (2002).
- 188 Straty w przesyśle 3500-kilometrową linią HVDC, włączając koszty konwersji prądu zmiennego w stały, wyniosłyby około 15%. Źródła: Trieb i Knies (2004); van Voorthuysen (2008).
- 191 Według Amonix systemy fotowoltaiczne z koncentracją miałyby średnią moc na jednostkę powierzchni rzędu 18 W/m^2 . Założenia przyjęte na stronie www.amonix.com są następujące: soczewka transmituje 85% światła, sprawność ogniwa wynosi 32%, sprawność kolektora – 25%. Kolejne 10% strat spowodowanych jest zaciemnieniem. Stosunek powierzchni apertury soczewki/powierzchnia terenu wynosi 1/3. Prawidłowa bezpośrednia irradiancja (strumień promieniowania słonecznego na jednostkę powierzchni): $2222 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$. Zakłada się, że przy wydajności maksymalnej każdy kW dostarczy 2000 kWh/rok (średnia rzędu 0,23 kW). Elektrownia o mocy sięgającej 1 GW zajęłaby 12 km² i dostarczyłaby 2000 GWh rocznie. To 18 W/m^2 .
- 192 Kominy słoneczne. – Źródła: Schlaich J (2001); Schlaich i in. (2005); Dennis (2006), www.enviromission.com.au; www.solarairpower.com
- Średnia produkcja prądu ze źródeł geotermalnych na Islandii wynosi zaledwie 0,3 GW. Średnia produkcja energii elektrycznej na Islandii wynosi 1,1 GW. Oto statystyki za rok 2006: 7,3 TWh prądu z energetyki wodnej i 2,6 TWh z geotermii, o mocy, odpowiednio: 1,16 GW i 0,42 GW. Źródło: Państwowa Agencja Energetyczna Orkustofnun (Orkustofnun National Energy Authority). [www.os.is/page/energystatistics].

Rekomendacje lektur: Komisja Europejska (2007), German Aerospace Center (DLR), Institute of Technical Thermodynamics Section Systems Analysis and Technology Assessment (2006), www.solarmillennium.de