

## Słoneczne elektrownie ciepłe. Ujarzmianie Słońca

Piotr Olszowiec, na podstawie artykułu V. Quaschning'a „Solar thermal power plants”, *Renewable Energy World*.

(„Energia Gigawat” – czerwiec 2004)

Wykorzystanie promieniowania słonecznego do wytwarzania energii elektrycznej powszechnie kojarzy się ze stosowaniem ogniw fotowoltaicznych. Tymczasem od ponad 15 lat w kilku regionach świata pracuje kilkanaście dużych i dziesiątki małych elektrowni bazujących na przetwarzaniu energii promienistej na ciepłą. Aktualnie dobrze opanowane są trzy rozwiązania słonecznych elektrowni ciepłych, jednak dwie z tych technologii ze względów ekonomicznych nie doczekały się przemysłowych aplikacji.

Większość sposobów konwersji energii cieplnej na energię elektryczną wymaga wysokich temperatur czynnika roboczego dla uzyskania spodziewanej sprawności. W słonecznych elektrowniach ciepłych temperatura osiągnięta w kolektorach słonecznych bez koncentracji promieniowania nie przekracza 200 st. C, czyli pozostaje na poziomie temperatury wód geotermalnych używanych w niskosprawnych, aczkolwiek ekologicznie czystych siłowniach tego typu. Z powodów ekonomicznych konieczne okazuje się zatem podniesienie temperatury roboczego medium za pomocą specjalnych układów skupiających promienie Słońca.

Wskutek wysokiej ceny, w elektrowniach praktycznie nie stosuje się soczewek i tym podobnych przyrządów optycznych. Tańszą alternatywę stanowią różnorodne koncentratory lustrzane. Ustawienie tych lusterek musi być ciągle dostosowywane do zmieniającego się położenia Słońca. Nadążne sterowanie może zapewnić koncentrację promieniowania na rurowym bądź na niewielkim punktowym absorberze umieszczonym w osi lub punkcie ogniskowym zwierciadła. W pierwszym przypadku zwierciadło ma kształt powierzchni bocznej parabolicznego walca, w drugim- kształt paraboloidy. Stosuje się także zespoły oddzielnych lusterek skupiających promienie na umieszczonym wewnątrz nich ogrzewanym elemencie. Maksymalna, teoretycznie osiągalna temperatura na powierzchni absorbera jest równa temperaturze panującej na powierzchni Słońca, tj. 5500 st. C. Jednak z powodu znacznych wymiarów geometrycznych źródła, parametr ten ma znacznie niższą wartość. Dodatkowo temperaturę absorbera obniża ciągle odprowadzanie ciepła do obiegu elektrowni przez krążący czynnik. W większych słonecznych elektrowniach ciepłych stosuje się wyłącznie paraboliczne kolektory zwierciadlane z rurowymi absorberami umieszczonymi wzdłuż ich osi.

Krotność koncentracji promieniowania słonecznego osiąga w osi ogniskowej wartości rzędu 80. Metalowa rura absorberów jest instalowana wewnątrz próżniowego, szklanego cylindra, co ma zmniejszać straty ciepła. Dodatkowo wypromieniowywaniu ciepła z powierzchni absorberów przeciwdziała specjalna rezystywna powłoka. Dziesiątki rzędów kolektorów o długości 300-600 m zajmują całe hektary powierzchni, zwykle nieużytków.

W kalifornijskich słonecznych elektrowniach ciepłych czynnikiem przepływającym przez rury absorberów jest olej. Po podgrzaniu do blisko 400 st. C olej oddaje ciepło w podgrzewaczach wody. Powstająca para napędza dwuczęściową turbinę. Para wtórna opuszczająca część wysokoprężną jest poddawana ponownemu przegrzaniu we wspomnianym wymienniku pełniącym funkcję tradycyjnego kotła. Doświadczenia wykazały, że możliwe jest bezpośrednie wytwarzanie pary wodnej w absorberach promieniowania słonecznego. W ten sposób można by wyeliminować kłopotliwe medium, jakim jest olej i znacznie obniżyć koszty inwestycyjne i eksploatacyjne siłowni. Na razie jednak bezpośrednia generacja pary w słonecznych kolektorach pozostaje wciąż na etapie badania prototypów.

Największy kompleks słonecznych elektrowni ciepłych omawianego typu zbudowano kosztem 1,2 mld dolarów w latach 1984-1991 na kalifornijskiej pustyni Mojave. Dziewięć naziemnych instalacji o mocach od 14 do 80 MW dostarcza do sieci projektowo łącznie 354 MW. Średnia sprawność tych siłowni wynosi 14 proc., zaś maksymalna sięga 21 proc.

W odróżnieniu od układów fotowoltaicznych słoneczne elektrownie ciepłe są w stanie zagwarantować ciągłość produkcji energii elektrycznej. W okresach zachmurzenia lub w porze nocnej do ruchu włącza się dodatkowy generator pary na bazie innych paliw, którymi mogą być nie tylko gaz czy olej, lecz także nośniki odnawialne, jak biomasa, produkty zgazowania odpadów czy nawet wodór. Ponadto dzięki ewentualnej akumulacji ciepła elektrownia tego typu może kontynuować produkcję przez pewien czas po zaniku promieniowania słonecznego. Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne wykazały opłacalność działania tych obiektów dla mocy nie mniejszych od 10 MW. Poniżej tej granicy wzrasta nadmiernie udział kosztów eksploatacji i remontów.

Do rozproszonej generacji stosunkowo niewielkich mocy (poniżej 1 MW) przeznaczone są instalacje ze wspomnianym parabolicznym wklęsłym zwierciadłem, w ognisku którego umieszczony jest absorber nagrzewany nawet do 750 st. C. Robocze medium odprowadza ciepło do zintegrowanego z nim silnika Stirlinga, sprzęgniętego z generatorem elektrycznym. Przy ewentualnym niedostatecznym oświetleniu słonecznym ciepło może być czerpane także ze spalania innych paliw. Skonstruowane dotychczas prototypy tych minielektroni, przypominających wielkie anteny satelitarne, osiągają sprawności 20 proc. Z uwagi na znacznie wyższe koszty jednostkowe produkcji energii w stosunku do pozostałych typów słonecznych elektrowni ciepłych, na razie nie wyszły one poza fazę testowania. Oczekuje się jednak, że wdrożenie seryjnej produkcji może w przyszłości uczynić je konkurencyjną alternatywą zarówno dla wielkich naziemnych instalacji kolektorów słonecznych, jak i dla trzeciego rozwiązania solarnej energetyki ciepłej.

W słonecznych wieżowych elektrowniach ciepłych absorber jest zainstalowany na szczycie wysokiej konstrukcji otoczonej setkami lub nawet tysiącami luster. Te lekko zakrzywione zwierciadła zwane heliostatami ogniskują promienie słoneczne na wspomnianym absorberze. Każde z luster wyposażono w układy nadążnego sterowania w dwóch osiach położenia względem Słońca. Dzięki temu powierzchnia absorbera może nagrzewać się do 1000 st. C, a przepływający przez niego czynnik chłodzący (najczęściej powietrze) odprowadza ciepło do wymiennika podgrzewającego wodę i parę klasycznej elektrowni ciepłej. W przypadku użycia powietrza absorber składa się z siatki drucianej tworzącej grzebieniową strukturę. Wylotowy strumień powietrza osiąga temperaturę do 850 st. C skutecznie schładzając elementy absorbera i zmniejszając zarazem straty wypromieniowywanego z niego ciepła. W kanale gorącego powietrza między absorberem i wymiennikiem można zainstalować zespół palników dodatkowo podgrzewających robocze medium w razie potrzeby zwiększenia mocy. Jest to więc drugi - obok wspomnianego zasobnika energii ciepłej - sposób kompensacji ubytku potencjału wytwórczego elektrowni wskutek słabszego nasłonecznienia.

Zupełnie nowe możliwości dla słonecznych wieżowych elektrowni ciepłych otwiera koncepcja zastosowania w nich układu gazowo-parowego. Na wale turbiny gazowej umieszcza się sprężarkę przetłaczającą pod ciśnieniem ok. 15 barów powietrze przez wieżowy absorber, skąd po ewentualnym dograniu palnikami wpływa ono do turbiny gazowej. Dalsza część instalacji jest powieleniem doskonale znanego układu kotła odzysknicowego i bloku parowego. Większe wykorzystanie ciepła unoszonego z absorbera w dodatkowej turbinie parowej umożliwia podniesienie o kilka procent sprawności całej elektrowni. W odróżnieniu od elektrowni z naziemnymi kolektorami parabolicznymi dotychczas nie uruchomiono żadnej słonecznej instalacji wieżowej na skalę przemysłową. Niemniej jednak pilotowe układy w Almerii (Hiszpania), Barstow (USA) i Rehovot (Izrael) potwierdziły praktyczne możliwości tej oryginalnej technologii.

Omawiając słoneczne wieżowe elektrownie ciepłone należy wyraźnie zaznaczyć, że realizują one zupełnie inny sposób wykorzystania energii promienistej od głośnych ostatnio koncepcji tzw. wieżowej elektrowni słonecznej. Ta ostatnia technologia należy bowiem do energetyki wiatrowej i polega na napędzaniu turbin wiatrowych zabudowanych w wysokiej wieży przez naturalny ciąg powietrza ogrzanego w naziemnych kolektorach słonecznych. Obecnie trwa budowa największej takiej elektrowni o mocy 200 MW w Australii.

Jak zwykle o przydatności rozpatrywanych rozwiązań technicznych decydują względy ekonomiczne. Z uwagi na niekorzystne charakterystyki pracy przy niepełnym obciążeniu, słoneczne elektrownie ciepłone powinny być wznoszone w regionach zapewniających czas wykorzystania maksymalnej mocy co najmniej 2000 godz. rocznie. Analizy wykazują zasadność budowy tych siłowni na obszarach o sumarycznej rocznej energii promieniowania ponad 1800 kWh/m kw. Obecnie inwestycyjne koszty jednostkowe dla tych technologii zawierają się w przedziale 2000-5000 euro/kW, zależnie od wielkości i typu instalacji oraz zastosowanego zasobnika ciepła (dla porównania wskaźnik ten dla technologii bloku gazowo-parowego wynosi jedynie 500 dolarów/kW). Już teraz w czynnych słonecznych elektrowniach ciepłych wytwarza się energię elektryczną po cenie ok. 0,15 euro/kWh, a ciągły postęp techniczny i uruchomienie seryjnej produkcji urządzeń solarnej energetyki powinny w niedalekiej przyszłości obniżyć ten wskaźnik o dalsze 5 centów.

Typ elektrowni	Naziemne kolektory paraboliczne	Wieżowy absorber	Paraboliczne zwierciadło
Zastosowanie	Elektrownie systemowe; produkcja ciepła	Elektrownie systemowe; produkcja ciepła	Niezależne źródło mocy
Maksymalna sprawność (%): - Koncentracji energii słonecznej - konwersji energii słonecznej na elektryczną	60 21	46 23	--- 30
Zalety	Sprawdzona od 20 lat technologia włącznie z układem hybrydowym i zasobnikiem ciepła	Sprawdzona technologia w instalacjach pilotowych; Możliwość użycia układu hybrydowego i zasobnika energii	Najwyższa sprawność; Modułowa struktura elektrowni; Doświadczenia z instalacji pilotowych
Wady	Niskie temperatury oleju (poniżej 400 °C) ograniczają sprawność	Nadal nieustalone koszty budowy	Nieznane własności eksploatacyjne
Największe instalacje: - czynne - w budowie	80 MW (Kalifornia) 1440 MW (Queensland, Australia)	10 MW 15 MW (Cordoba, Hiszpania)	25 kW 2.6 MW (Sydney, Australia)