ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: ELEKTRYKA z. 180 Nr kol.1525

Tadeusz RODACKI
Andrzej KANDYBA

HELIOTERMICZNE METODY WYKORZYSTYWANIA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

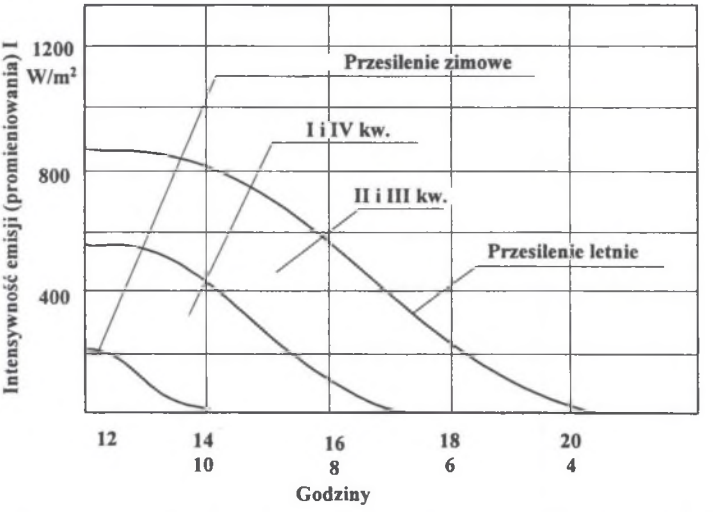
Streszczenie. W artykule przedstawiono niskotemperaturowe i wysokotemperaturowe instalacje, w których energia promieniowania słonecznego zamieniana jest na energię cieplną. Opisano zasadę działania i budowę kolektorów słonecznych oraz różne rozwiązania instalacji do podgrzewania wody. Omówiono też ekonomiczne aspekty stosowania instalacji do produkcji ciepłej wody.

HELIOTHERMAL METHODS OF THE USE OF SOLAR RADIATION

Summary. The paper presents low- and high- temperature systems in which the solar radiation energy is converted into the thermal one. The principle of operation and construction of solar collectors as well as different solutions of systems for the heating of water are described. The economic bearings of the use of systems for warm water production are discussed as well

1. WSTĘP

W energetyce słonecznej źródłem energii jest promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi. Jest ono wszechobecne, ale jego ilość zależy od położenia geograficznego, pory roku, pory dnia, a także od warunków klimatycznych. Średnie natężenie promieniowania poza atmosferą ziemską wynosi około 1,39 kW/m^2 i nazywa się stałą słoneczną. Przejście promieniowania przez atmosferę powoduje jego zmiany ilościowe (odbicia, absorpcja) jak i jakościowe (rozproszenie). Dla przeważającego obszaru Polski wielkości maksymalne natężenie bezpośredniego promieniowania rzadko przekraczają 1 kW/m^2, najczęściej są to wartości (0,6–0,8) kW/m^2. Oczywiście, to natężenie promieniowania zależy od pory dnia i pory roku (rys.1).



Rys. 1. Przykładowa zmienność natężenia promieniowania z zależność od pory dnia i roku
Fig. 1. Exemplary variation of the radiation intensity according to the time of day and year

Do istotnych parametrów określających możliwości wykorzystania energetyki słonecznej należą jeszcze: nasłonecznienie i napromieniowanie słoneczne. Nasłonecznienie jest to ilość godzin słonecznych w roku (Gdynia ok. 1700, Warszawa ok. 1600, Katowice ok. 1300). Napromieniowanie słoneczne jest sumą roczną całkowitego promieniowania. Jako normę dla Polski przyjmuje się jego wartość jako 3600 MJ/m^2 ± 10% (1000 kWh/m^2). Ilość energii uzyskanej z promieniowania słonecznego, a co za tym idzie, poprawienie sprawności urządzeń przetwarzających można jeszcze zwiększyć poprzez zastosowanie koncentratorów promieniowania w postaci luster lub soczewek oraz poprzez budowanie systemów nadążających za pozornym ruchem słońca. Cykliczność pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego i uzależnienie jej od ilości od warunków klimatycznych jest też często powodem konieczności magazynowania jej lub wspomagania innymi źródłami energii.

Największą wadą i barierą ograniczającą obecnie rozwój energetyki słonecznej są znaczne koszty inwestycyjne i stosunkowo długi czas zwrotu inwestycji. Jednak takie zalety, jak:

- niskie koszty eksploatacyjne,
- praca bezdźwięczna i bez części ruchomych,
- proekologiczność (nie wydzielają żadnych substancji szkodliwych dla środowiska),
- brak wpływu na bilans energetyczny Ziemi,
- wykorzystanie darmowej energii promieniowania,

są powodem, że także w Polsce wzrasta zainteresowanie energetyką słoneczną. Rośnie też liczba instalowanych urządzeń wykorzystujących energię promieniowania słonecznego.

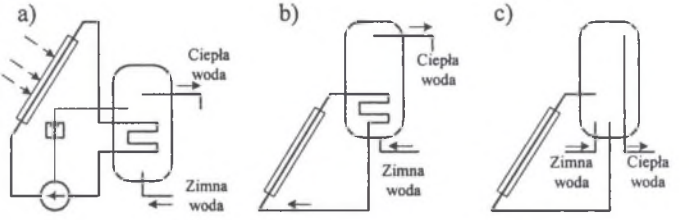
W energetyce słonecznej promieniowanie słoneczne jest przetwarzane na energię cieplną lub energię elektryczną w specjalnie skonstruowanych systemach. Systemy te można w sposób najbardziej ogólny podzielić na:

- systemy niskotemperaturowe nazywane kolektorami słonecznymi, służące do nagrzewania wody do celów użytkowych lub grzewczych,
- systemy wysokotemperaturowe (elektrownie heliotermiczne) do wytwarzania energii elektrycznej metodą pośrednią,
- systemy do bezpośredniego wytwarzania energii elektrycznej (ogniwa, moduły słoneczne).

2. NISKOTEMPERATUROWE INSTALACJE DO PODGRZEWANIA WODY

Zasadniczymi elementami każdej takiej instalacji są: kolektor słoneczny (panel absorpcyjny), zbiornik magazynujący, system rurociągów z zaworami i pompą oraz ewentualnie układ kontrolno–sterujący. W zależności od sposobu transportowania energii z kolektorów do zbiornika magazynującego i wzajemnego sprzężenia tych elementów instalacje te można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

- instalacje z obiegiem wymuszonym (rys. 2a),
- instalacje grawitacyjne (termosyfonowe (rys. 2b i c),
- instalacje typu kolektora magazynującego (rys. 4).



Rys. 2. Przykładowe rozwiązania instalacji do ogrzewania wody, a) z obiegiem wymuszonym, b) grawitacyjny z dwoma obiegami, c) grawitacyjny z obiegiem otwartym

Fig. 2. Exemplary solutions of systems for the heating of water, a) with forced circulation, b) a gravity one with two circulations, c) a gravity one with open cycle

Instalacje z obiegiem wymuszonym (aktywne)

W instalacjach tych przepływ czynnika przez kolektor wywołany jest pracą pompy cyrkulacyjnej. Istotną sprawą jest tutaj sterowanie pracą pompy zależne od aktualnych warunków meteorologicznych i temperatury w zbiorniku magazynującym. Główną zaletą instalacji aktywnych jest możliwość zlokalizowania zbiornika magazynującego w dowolnym miejscu względem kolektorów, gdyż przepływ czynnika wymuszony jest pompą cyrkulacyjną, a nie siłami wyporu. Efektem tego jest duża elastyczność w możliwościach wkomponowania elementów instalacji w obiekt, gdyż można np. umieścić kolektor na dachu budynku, zaś zbiornik akumulacyjny w piwnicy. Ma to zasadnicze znaczenie przy eksploatacji instalacji słonecznych w strefach o niskich temperaturach zewnętrznych. Często z uwagi na warunki klimatyczne (nocne spadki temperatury poniżej 0°C) lub dużą mineralizację wody sieciowej, zachodzi konieczność wyeliminowania przepływu wody kanałami kolektora na korzyść mieszanki niezamarzającej. W takim przypadku stosuje się instalacje z wydzielonym obiegiem pierwotnym (pośrednim), (rys. 2a) w przeciwieństwie do instalacji z obiegiem otwartym (rys. 2c), gdzie woda cyrkulująca w kolektorze pobierana jest bezpośrednio ze zbiornika magazynującego. W przypadku obiegu wydzielonego, energia odbierana z kolektora oddawana jest wodzie w zbiorniku za pośrednictwem wymiennika ciepła. Wymiennik ten zazwyczaj umieszczany jest bezpośrednio wewnątrz zbiornika, jednak w niektórych rozwiązaniach wymiennik ten może być na zewnątrz zbiornika. Występuje to zazwyczaj wtedy, gdy kolektory słoneczne przewidziane są do wykorzystania przez kilka odbiorników, np. kolejno, zależnie od warunków nasłonecznienia, nagrzewanych jest kilka zbiorników magazynujących.

Instalacje grawitacyjne(termosyfonowe)

Klasyczna, najczęściej spotykana instalacja termosyfonowa zbudowana jest z kolektora (lub baterii kolektorów) energii promieniowania słonecznego i zbiornika magazynującego umieszczonego powyżej górnej krawędzi kolektora. Całość połączona jest odpowiednim systemem rurociągów zapewniających cyrkulacje wody w pętli kolektor – zbiornik magazynujący oraz możliwość poboru wody ciepłej ze zbiornika i jej uzupełniania z sieci wodociągowej . Podobnie jak to było w instalacjach aktywnych, mogą być układy termosyfonowe z wydzielonym obiegiem pierwotnym (rys. 2b) lub z obiegiem otwartym (rys. 2c). Zasada działania instalacji termosyfonowej jest następująca: woda podgrzana w przestrzeni kolektorowej zmniejsza swoją gęstość i powstająca w tym procesie siła wyporu wymusza cyrkulacje w pętli kolektor – zbiornik akumulacyjny. Termosyfonowy podgrzewacz wody działa samoczynnie, dopasowuje się do aktualnych warunków nasłonecznienia i obciążenia i nie wymaga w zasadzie żadnej obsługi manualnej poza okresową konserwacją. Za zaletami układów termosyfonowych przemawia fakt, że nie mają one żadnych części ruchomych (pompy) i układów kontrolnych (termostaty, przekaźniki). W źle zaprojektowanym układzie termosyfonowym występuje ryzyko pojawienia się przepływu odwrotnego w godzinach nocnych (wypływ wody ogrzanej ze zbiornika jego górnym króćcem i schłodzenie tej wody w kolektorze). Pociąga to za sobą utratę energii zmagazynowanej. Istnieje szereg różnych metod zapobieżenia temu niekorzystnemu zjawisku, z których najpopularniejszą jest zlokalizowanie zbiornika magazynującego na wysokości takiej, aby jego dno znajdowało się przynajmniej 30 cm powyżej górnej krawędzi kolektora. Rozwiązanie takie limituje jednak możliwość ustawienia instalacji np. na pochylonych połaciach dachu. Inną metodą jest zastosowanie zaworów pływakowych. Ostatnio coraz większą popularność zyskują instalacje typu „compact" (rys. 3) gdzie zbiornik magazynujący umieszczony jest poziomo. Brak w tym przypadku zewnętrznego przewodu wznoszącego eliminuje wystąpienie przepływu odwrotnego, kosztem jednak nieco mniejszej sprawności tego układu w porównaniu z instalacją z rys. 2c.

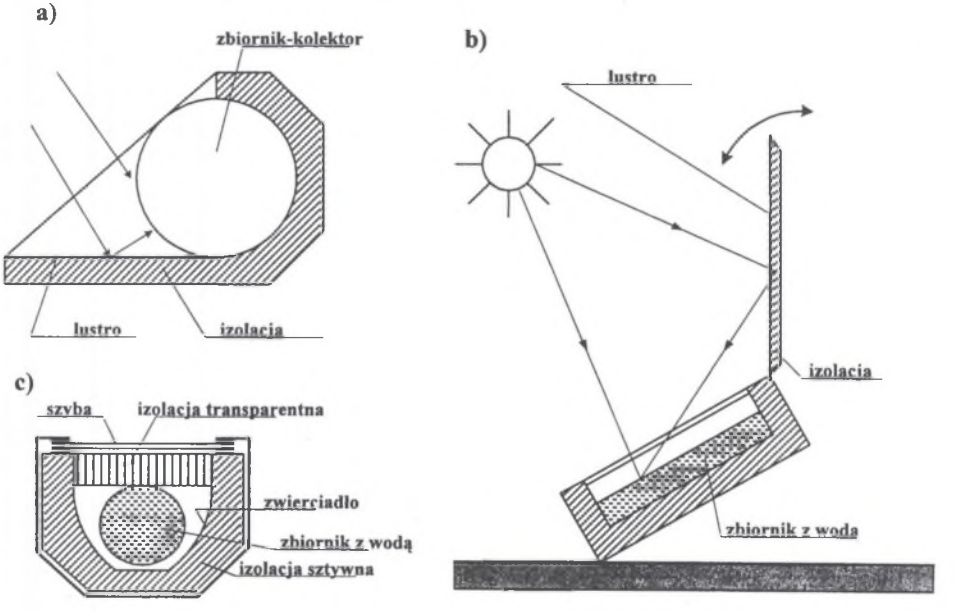
Rys. 3. Przykład instalacji termosyfonowej typu „compact"

Fig. 3. Example of the thermosiphon system of "compact" type

Instalacje typu kolektora magazynującego

Słoneczne instalacje podgrzewania wody użytkowej bez cyrkulacji czynnika w kolektorze stosowane są od dawna w regionach o szczególnie intensywnym nasłonecznieniu. W instalacjach tych, o różnych kształtach i sposobach zabezpieczania przed utratą nagromadzonej energii, zbiornik magazynujący jest zarazem kolektorem energii promieniowania słonecznego (rys. 4). Ich główną zaletą jest nieskomplikowana konstrukcja umożliwiająca budowę instalacji we własnym zakresie z powszechnie dostępnych materiałów. Najstarszym i najprostszym typem podgrzewacza była zwykła beczka metalowa pomalowana na czarno, umieszczana zazwyczaj na dachu budynku. Pewnego typu ulepszeniem było umieszczenie beczki w pozycji poziomej w obudowie izolacyjnej, z przeszkleniem od strony południowej (rys. 4a). Sprawności osiągane przez instalacje magazynujące są porównywalne, a niekiedy nawet wyższe niż sprawności instalacji z

wyodrębnionym kolektorem pod warunkiem jednak, że ciepła woda jest wykorzystywana bezpośrednio po nagrzaniu. Chcąc zmagazynować nagrzaną wodę na następny dzień, należy zastosować dodatkowe osłony izolacyjne zamykane na godziny nocne (rys. 4b). Stosowanie zabezpieczeń przed utratą zmagazynowanej energii, opisanych powyżej, wiąże się z koniecznością obsługi codziennej instalacji. Dlatego też instalacje pojemnościowe nie są tak popularne w Europie, pomimo iż koszt kształtuje się w granicach 20 – 30% ceny instalacji z wyodrębnionymi kolektorami. Stosowane są na szeroka skalę w krajach uboższych, głównie z uwagi na prostotę konstrukcji i możliwość wykonania we własnym zakresie. W ostatnich jednak latach, wraz z pojawieniem się tak zwanych izolacji transparentnych, możliwe stało się wyeliminowanie części ruchomych z instalacji pojemnościowej (rys. 4c). Spowodowało to znaczny wzrost zainteresowania tymi instalacjami w krajach uprzemysłowionych.

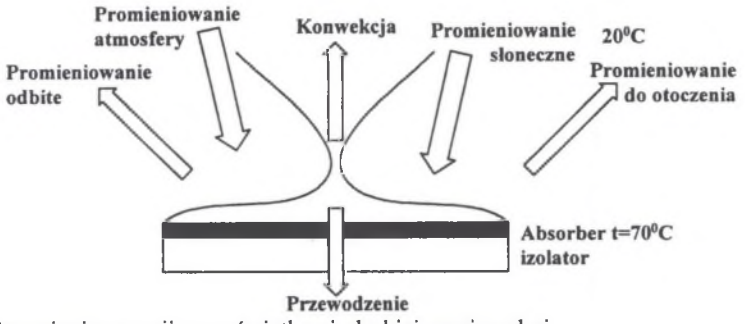


Rys. 4. Rodzaje słonecznych podgrzewaczy typu magazynującego, a) poziomy cylinder w obudowie, b) kolektor prostopadłościenny z pokrywą izolacyjno-refleksyjną, c) kolektor cylindryczny z izolacją transparentną

Fig. 4. Kinds of solar heaters of storage type, a) horizontal cylinder in a casing, b) cubicoidal collector with insulating-reflexive cover, c) cylindrical collector with transparent insulation

3. ZASADA DZIAŁANIA I BUDOWA KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Kolektor słoneczny jest najważniejszym elementem instalacji do podgrzewania wody. W jego skład wchodzi: absorber wraz z rurkami prowadzącymi substancję odbierającą energię cieplną, osłona, izolacja i konstrukcja nośna wraz z obudową. Zasadę działania kolektora można w sposób przybliżony objaśnić w opierając się na przykładzie z rys. 5 [4].



Rys. 5. Strumienie energii na naświetlonej płaskiej powierzchni
Fig. 5. Energy streams on the exposed (iluminated) flat surface

Energia bezpośredniego promieniowania słonecznego E_b padająca na powierzchnię płaską jest częściowo absorbowana, a częściowo odbita. Część energii zaabsorbowanej jest przekazywana do otoczenia w postaci strat ciepła (konwekcja, przewodzenie). Po pewnym czasie ustala się równowaga cieplna, której odpowiada temperatura równowagi υ_r (rys.5). Pomijając wszystkie pozostałe strumienie energii można temperaturę υ_r obliczyć z uproszczonego wzoru:

$$\vartheta_r = \left[64{,}8\sqrt[4]{k_s E_b} - 273\right]\left[^\circ C\right]$$

gdzie: $k_s = a_r/\varepsilon$ jest współczynnikiem selektywności absorbera
(a_r – współczynnik absorpcji, ε – współczynnik emisji).

Przyjmując $k_s=1$ (absorber z blachy miedzianej pokrytej czarna farbą) oraz typową wartość E_b=800 W/m^2 można z powyższego wzoru obliczyć $\upsilon_r \approx 71$ °C, która mimo dokonanych uproszczeń jest z dużym przybliżeniem zgodna z eksperymentem (υ_r=70 °C). Ta zbieżność jest wynikiem równoważenia się w typowych warunkach strumienia promieniowania rozproszonego atmosfery i strumienia strat ciepła. Jak stąd wynika zwiększenie temperatury równowagi, a co za tym idzie, ilość zaabsorbowanej energii można uzyskać następującymi sposobami:

- zwiększenie strumienia promieniowania bezpośredniego E_b poprzez jego koncentrowanie układem luster płaskich, parabolicznych lub soczewek (kolektory skupiające),
- zmniejszenie strat konwekcyjnych przez zastosowanie odpowiednich osłon absorbera o dużej przezroczystości, a jednocześnie o dużej wytrzymałości mechanicznej i dużej trwałości. Przykładowo szkło budowlane hartowane o grubości 3 mm ma trwałość około 50 lat i przezroczystość 0,86 – 0,96, teflon odpowiednio (2,5; 20; 0,96). Istotnym jest też ograniczenie strumienia ciepła transportowanego od absorbera do osłony. Realizowane jest to przez odpowiednio grubą warstwę powietrza, przez zastosowanie wypełnień komórkowych (kształt plastra miodu) lub poprzez usunięcie powietrza ze szczeliny pomiędzy osłoną i absorberem (kolektory próżniowe). Zastosowanie osłon i wypełnień komórkowych pozwala zwiększyć temperaturę równowagi o (20 – 40)°C,
- zmniejszenie strat przewodzenia poprzez zastosowanie izolacji o bardzo małym współczynniku przewodności cieplnej. Przyjmuje się aby strumień tych strat był mniejszy od 1 W/m^2 dla kolektorów całorocznych i mniejszy niż 5 W/m^2 dla kolektorów sezonowych (letnich),
- zwiększenie współczynnika selektywności absorbera wykonanego z blachy miedzianej, aluminiowej lub ze stali nierdzewnej przez pokrycie go powłokami selektywnymi

metodami elektrochemicznymi lub chemicznymi do wartości rzędu 8 – 10. Głównymi składnikami tych pokryć są związki chemiczne (tlenki, siarczki, węgliki) niektórych metali np.: miedź, kobalt, chrom, nikiel, itp. Absorber pokryty powłokami selektywnymi osiąga temperaturę równowagi rzędu (150 – 160)°C.

Kolektory słoneczne ze względu na budowę dzieli się na: skupiające, płaskie, rurowe (tubowe) [1] i cienkowarstwowe (elastyczne) [2]. Ze względu na rodzaj czynnika roboczego można je podzielić na: cieczowe, powietrzne, wodno-powietrzne, i z czynnikiem dwufazowym. W kolektorach z czynnikiem dwufazowym jako ciecz niskowrzącą stosuje się np. freon, amoniak, propan, butan. W rozwiązaniach takich część absorbera jest jednocześnie parownikiem, a w zbiorniku magazynującym znajduje się kondensator.

4. SYSTEMY WYSOKOTEMPERATUROWE (ELEKTROWNIE HELIOTERMICZNE)

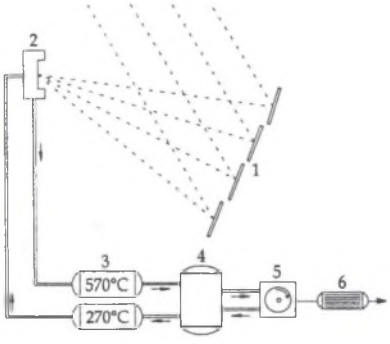
W systemach tych następuje przemiana energii promieniowania słonecznego na ciepło, które pozwala wytworzyć parę doprowadzoną do turbiny napędzającej generator. W praktyce stosowane są dwa zasadnicze typy elektrowni heliotermicznych:

- zcentralizowane z wieżą centralną typu CRS (ang. Central Receiver System),
- zdecentralizowane z liniowymi kolektorami słonecznymi typu SEGS (ang. Solar Electric Generating System).

Głównymi elementami konstrukcyjnymi elektrowni CRS (rys.6) są: zwierciadła odbijające promieniowanie słoneczne (heliostaty) i kierujące je na centralny punkt w wieży (absorber), składający się z rurek zawierających płyn roboczy (sód, lit, azotan potasu, woda). Ciepło skoncentrowanego przez heliostaty promieniowania słonecznego, poprzez płyn roboczy, nagrzewa parę wodną napędzającą turbinę parową. Trudność sprawia tu konieczność stałego ogniskowania promieniowania na absorber. Heliostaty, kierowane przez komputer, muszą przesuwać się z ruchem słońca, uwzględniając zarówno cykl dzienny, jak i roczny. Powoduje to wzrost kosztów inwestycyjnych i oczywiście, eksploatacyjnych.

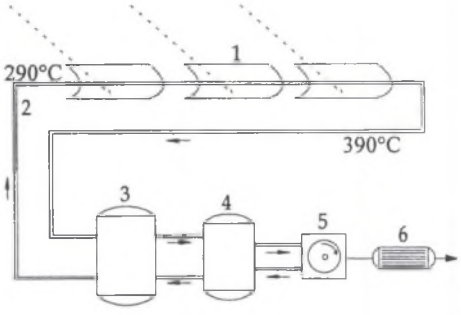
Dotychczas powstało stosunkowo niewiele elektrowni heliotermicznych typu CRS (Francja Hiszpania, Japonia, USA). Największa z nich pracuje w Stanach Zjednoczonych, w Kalifornii. 1818 heliostatów na powierzchni 40 ha kieruje promieniowanie słoneczne na absorber dając moc wyjściową 10 MW. Elektrownia osiąga sprawność 19%.

Rozwiązaniem tańszym i technicznie prostszym są heliotermiczne elektrownie typu SEGS (rys.7). Płyn roboczy (olej) ogrzewany jest w absorberach rurowych znajdujących się w ogniskowych paraboloidalnych liniowych kolektorów słonecznych. Aby zapewnić ciągłość pracy niezależnej od warunków pogodowych, systemy SEGS zawierają rezerwowe podgrzewacze nośników ciepła. Pozostałe elementy konstrukcyjne odpowiadają w zasadniczych zarysach elektrowni CRS. Elektrownie SEGS budowane są coraz częściej w USA na terenach pustynnych o bardzo dobrym nasłonecznieniu. Największa z nich wybudowana w 1990 r. ma moc 80 MW, a pole absorberów wraz z koncentratorami zajmuje 54,5 ha. Rodzaj technologii podgrzewania nośnika ciepła decyduje o wysokości wytworzonej temperatury. Dla elektrowni typu CRS, przy wyjściu z absorbera, osiągana jest temperatura rzędu 570 - 600°C, dla typu SEGS do 400°C.



Rys.6. Ideowy schemat elektrowni heliotermicznej typu CRS (Central Receiver System); 1-heliostaty;2-absorber umieszczony na wieży; 3-zbiorniki nagrzanego i ochłodzonego czynnika roboczego; 4-wytwornica pary; 5- turbina; 6 - generator

Fig.6. Schematic diagram of a heliothermal power station of CRS type (Central Receiver System);
1 - heliostats; 2-absorber situated on the tower; 3-containers with the heated and cooled medium; 4-steam generator; 5-turbine; 6-generator



Rys.7. Ideowy schemat elektrowni heliotermicznej typu SEGS (Solar Electric Generating System); 1-kolektory liniowe słonecznych zwierciadeł paraboloidalnych; 2-przewody doprowadzające czynnik roboczy; 3–rezerwowy podgrzewacz pary; 4–wytwornica pary; 5- turbina parowa; 6–generator

Fig.7. Schematic diagram of a heliothermal power station of SEGS type (Solar Electric Generating System);
1-linear collectors of the solar paraboidal mirrors; 2-pipes delivering the heating medium; 3-stand-by steam heater; 4-steam generator; 5- turbine; 6 - generator

5. OPŁACALNOŚĆ WYKORZYSTANIA SŁONECZNYCH INSTALACJI DO PRODUKCJI CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ

Sprawność kolektorów słonecznych zależy od bardzo wielu czynników [1, 2]. Średnia wartość tej sprawności waha się w granicach (45-65)%. Uwzględniając sprawność całej instalacji możemy się spodziewać całkowitej sprawności wykorzystania promieniowania słonecznego w granicach (35-55)%. Analiza rozkładu energii słonecznej na terenie Polski (rys.1) [1, 5], prowadzi do wniosku, że efektywne wykorzystanie wszelkiego rodzaju słonecznych instalacji CWU możliwe jest w chwili obecnej jedynie w okresie sześciu miesięcy letnich, od początku kwietnia do końca września. Wartości nasłonecznienia limitują także masę wody możliwą do podgrzania przez 1 m^2 powierzchni absorbującej energię słoneczną. W okresie wspomnianych powyżej miesięcy średnie nasłonecznienia dzienne kształtują się w zakresie od 10 do 20 MJm^{-2}, a więc przy oczekiwanej temperaturze wody pobieranej z instalacji rzędu 45–50 °C, optymalna masa ogrzewanej wody kształtuje się w granicach 50 do 90 kg na każdy 1m^2 absorbera instalacji zależnie od konstrukcji

podgrzewacza i temperatury wody zasilającej. Przy powyższych założeniach prawidłowo zaprojektowane i eksploatowane instalacje CWU mogą pokryć do 90% całkowitego zapotrzebowania na ciepłą wodę do celów sanitarnych w okresie wspomnianych sześciu miesięcy przy założonej konsumpcji wody rzędu 50 litrów na osobę i dzień. Obliczenia zawarte w [5] wskazują, że w warunkach polskich zyski energetyczne instalacji zależą silnie od warunków jej eksploatacji. Przy niewielkim obciążeniu modelowej instalacji (150 litrów ciepłej wody na dobę) średnie roczne zyski są niewielkie i wynoszą około 4000 MJ na rok, ale za to kolektory dostarczają prawie całej energii niezbędnej do przygotowania wody w okresie letnim. Dla odmiany, duże obciążenie instalacji, np. 250 litrów dziennie, zwiększa zyski słoneczne instalacji do 5400 MJ rocznie, jednak stopień pokrycia potrzeb cieplnych jest mniejszy. Równocześnie wyniki obliczeń potwierdzają też, że w okresie zimowym eksploatacja CWU jest bardzo nieefektywna w polskich warunkach klimatycznych. Instalacje CWU, podobnie jak inne rodzaje niekonwencjonalnych urządzeń energetycznych, mają niewielki udział w pokryciu potrzeb energetycznych nawet w krajach, gdzie są one stosunkowo szeroko spopularyzowane. Główną barierą w ich rozpowszechnieniu jest, oczywiście, rachunek ekonomiczny. Koszt energii uzyskanej z instalacji słonecznych jest ciągle wyższy, niż ze źródeł tradycyjnych jakkolwiek według danych przedstawionych przez International Enery Agency cena energii ze słonecznych instalacji CWU jest w niektórych krajach porównywalna już z ceną energii zużytej w konwencjonalnym podgrzewaczu elektrycznym. W Polsce ceny słonecznych instalacji CWU o minimalnych rozmiarach odpowiednich dla rodziny czteroosobowej (4 m^2 kolektorów, zbiornik akumulacyjny 300 litrów) kształtują się w zakresie 7 000–15 000 zł. Jest to ciągle bardzo dużo wziąwszy pod uwagę fakt, że instalacja taka może zaoszczędzać rocznie około 5600 MJ energii (1560 kWh). Przyjmując najmniej korzystny wariant ceny równoważnej energii ze źródeł konwencjonalnych (energia elektryczna dzienna w cenie 0,31 zł/kWh) daje to oszczędności roczne 484 zł. Tak więc czas zwrotu inwestycji, nawet bez uwzględnienia rachunku dyskonta i amortyzacji, przekracza 16 lat, a przy uwzględnieniu oprocentowania kredytów, czas zwrotu może przekroczyć okres żywotności instalacji. Według [3] koszt wytwarzania energii cieplnej w kolektorach słonecznych powietrznych kształtuje się obecnie na poziomie 20,2 zł/GJ, a w kolektorach słonecznych wodnych na poziomie 147,3 zł/GJ. Tak więc bez odpowiedniego wsparcia kapitałowego ze strony państwa nie należy spodziewać się szybkiego wzrostu wykorzystania instalacji CWU. Wyjątkiem mogą być jedynie podgrzewacze typu kolektora magazynującego. Instalacje bez przepływu mogłyby znaleźć szerokie zastosowanie w naszym kraju w obiektach wczasowych i turystycznych, eksploatowanych głównie w okresie letnim, a także w gospodarstwach rolnych.

LITERATURA

1. Furmanek W.: Technika solarna. Materiały V Ogólnopolskiego Forum Odnawialnych Źródeł Energii. Gdańsk 1998.
2. Grzegorzewski Z.: Słoneczne kolektory cienkowarstwowe, budowa i zastosowanie użytkowe. Materiały V Ogólnopolskiego Forum Odnawialnych Źródeł Energii. Gdańsk 1998.
3. Ministerstwo Środowiska: Strategia rozwoju energetyki odnawialnej. Materiały VII Ogólnopolskiego Forum Odnawialnych Źródeł Energii. Łódź 2000.
4. Lewandowski W.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej. WNT, Warszawa 2001.
5. Pluta Z.: Słoneczne instalacje przygotowania wody użytkowej w warunkach polskich. Materiały VII Ogólnopolskiego Forum Odnawialnych Źródeł Energii. Łódź 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Skoczkowski

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 września 2001 r.

Abstract

The methods of the use of solar radiation by conversion of its energy into thermal one are presented in the paper. The low-temperature systems for production of the utilizable warm water are described in detail. They can be divided into the systems with forced circulation, with gravity circulation and those of storage type. The classification and principle of operation of solar collectors are given. Special attention is paid to the possibilities of increase in their efficiency. The construction and operation of two high-temperature systems (Central Receiver System and Solar Electric Generating System) called solar power stations and used for electric current generation are described. At the end of the paper there are given the analysis of the worthwhileness of the use of solar systems for the heating of water as well as the conclusions relating to their practical application.

Conclusions

1. Heliothermal devices are attractive because of low operating costs and insignificant influence on the Earth energy balance.
2. It is possible to use low temperature solar heating systems in houses.
3. High temperature heliothermal systems are rather difficult to apply due to the fact that high investment expenditures are required.
4. It is necessary to increase development work of heliothermal systems in order to obtain more efficient devices that can be cost-effective in Polish climate conditions.