



## KOLEKTORY SŁONECZNE I PANELE FOTOWOLTAICZNE JAKO ŹRÓDŁO ENERGII W MAŁYCH INSTALACJACH CIEPLNYCH I ELEKTROENERGETYCZNYCH

prof. dr hab. inż. Władysław NOWAK, dr hab. inż. Aleksander STACHEL

*Promieniowanie słoneczne jest jednym z odnawialnych źródeł energii, których wykorzystanie ma na celu zaspokojenie potrzeb energetycznych człowieka, przy czym zainteresowanie budzi możliwość przetwarzania energii słonecznej zarówno w ciepło jak i w energię elektryczną. W niniejszej pracy omówiono podstawowe zasady pozyskiwania energii z promieniowania słonecznego i jej transformacji w ciepło użyteczne i w energię elektryczną. Na tym tle przedstawiono istniejące w Katedrze Techniki Ciepłej Politechniki Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie) stanowiska badawcze z kolektorami słonecznymi i panelami fotowoltaicznymi, służące między innymi do doświadczalnej weryfikacji możliwości pozyskiwania obu rodzajów energii.*

### 1. WPROWADZENIE

Jednym ze sposobów obniżenia tempa zużycia zasobów paliw kopalnych jest wykorzystanie proekologicznych technologii pozyskiwania energii, a w szczególności wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Do 2010 r. w krajach Unii Europejskiej przewidywany jest średni wzrost z 6% do 12% udziału energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii, przy czym niektóre kraje już dzisiaj mają ten udział znacznie większy, np. Szwecja - 25,4%, Austria - 24,3% [4,5].

Jedną z alternatyw dla tradycyjnych systemów ogrzewania bazujących na paliwach kopalnych jest wykorzystanie energii promieniowania słońca, a najprostszym sposobem użycie tzw. kolektorów słonecznych, przydatnych zwłaszcza w układach przygotowania ciepłej wody.

W urządzeniach tych energia promieniowania zamieniana jest w ciepło użyteczne, przez podniesienie temperatury czynnika obiegowego. Problem wykorzystania kolektorów tkwi głównie w tym, że największą efektywność uzyskują w okresie lata, kiedy zapotrzebowanie na ciepło jest najmniejsze.

Drugim interesującym sposobem pozyskania energii ze słońca są panele fotowoltaiczne, których działanie polega na bezpośredniej konwersji promieniowania słonecznego w energię elektryczną [3,6].

Szacuje się, że po roku 2010 powinien uwidocznić się znaczny wzrost wykorzystania energii promieniowania słonecznego, przy jednoczesnym spadku zużycia konwencjonalnych nośników energii takich jak węgiel i ropa naftowa, a po roku 2030 - również gaz ziemny. Należy podkreślić, że w zasadzie wszystkie scenariusze rozwoju energetyki przewidują, że energia słoneczna będzie w przyszłości odgrywać znaczną rolę w zaspokajaniu potrzeb energetycznych ludzkości [2,4,5].

Z praktycznego punktu widzenia przy wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego do celów technicznych, istotną rolę odgrywają dwa rodzaje konwersji, a mianowicie:

- **konwersja fototermiczna** związana z zamianą energii promieniowania słonecznego na ciepło z zastosowaniem absorberów stanowiących istotny element tzw. kolektorów słonecznych,
- **konwersja fotowoltaiczna** umożliwiająca zamianę promieniowania słonecznego na energię elektryczną z wykorzystaniem półprzewodników w tzw. ogniwach słonecznych.

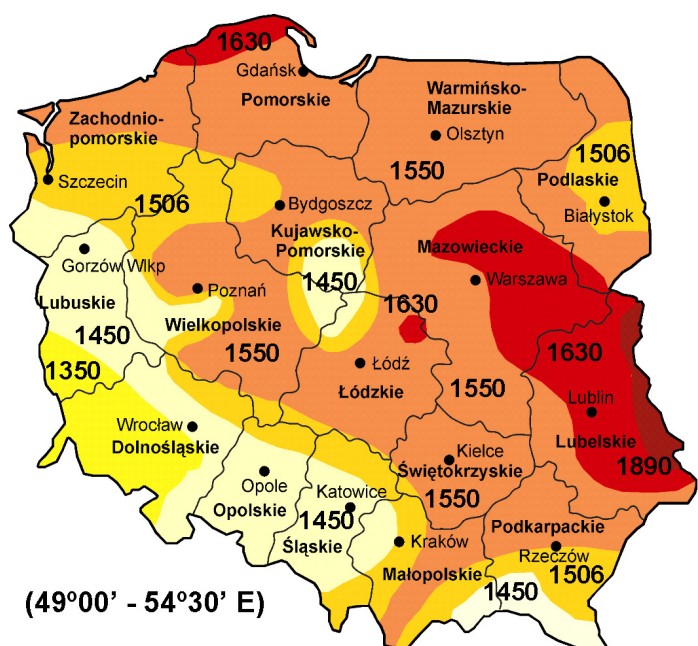
Energia promieniowania słonecznego, w odróżnieniu od innych rodzajów odnawialnych źródeł energii, posiada szereg zalet, do których można zaliczyć między innymi praktyczną niewyczerpalność, dostępność na dużej części powierzchni kuli ziemskiej oraz zerowe koszty dostarczania. Do podstawowych wad tej energii należy okresowość i niepewność jej dostarczania, wynikające ze zmiennych warunków atmosferycznych. Jednocześnie ze względu na stosunkowo małe natężenie promieniowania, przy pozyskiwaniu energii słonecznej należy stosować duże powierzchnie odbiorników, co znacząco wpływa na koszty tych urządzeń. Są one szczególnie wysokie w przypadku ogniw fotowoltaicznych.

## 2. ZASOBY ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W POLSCE

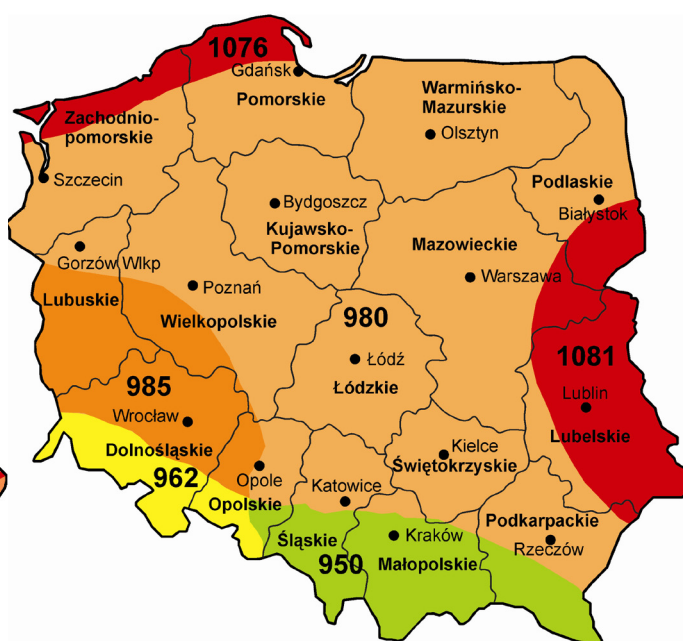
Ocenę zasobów energii promieniowania słonecznego oraz możliwości jej pozyskiwania dla celów technicznych można przeprowadzić na podstawie dwóch podstawowych wielkości, jakimi są:

- średnioroczne usłonecznienie wyrażane w godz./rok,
- roczna gęstość promieniowania słonecznego wyrażona w kWh/m<sup>2</sup>rok.

Warunki usłonecznienia na obszarze Polski leżącej w strefie klimatu umiarkowanego pomiędzy 49° 00' a 54° 30' szerokości geograficznej północnej, odpowiadają warunkom panującym w niektórych krajach Europy Środkowej, jak np. w Niemczech, Austrii i Czechach, czy też na Węgrzech, Słowacji i Ukrainie [2,5,8]. Średnioroczne sumy usłonecznienia dla reprezentatywnych rejonów Polski pokazane są na rysunku 1, z którego wynika, że sumy usłonecznienia zależą od regionu i zawarte są w granicach od 1300 do 1900 godzin. Średnia roczna suma usłonecznienia dla Polski wynosi około 1600 godzin, co stanowi 18,2% okresu całego roku i dotyczy przeważającej części kraju.



Rys. 1. Średnioroczne sumy usłonecznienia dla reprezentatywnych rejonów Polski [godz.] [2]



Rys. 2. Średnioroczne sumy promieniowania na jednostkę powierzchni poziomej [kWh/m<sup>2</sup> rok] [2]

Drugą istotną wielkością są średnioroczne sumy promieniowania padającego na jednostkę powierzchni, wyrażone w kWh/m<sup>2</sup>rok, które można traktować jako wielkość całkowitych zasobów energii promieniowania w ciągu roku. Na podstawie wieloletnich badań promieniowania słonecznego na terenie Polski ustalono, że roczna gęstość promieniowania na powierzchnię poziomą waha się w granicach od 950 do 1250 kWh/m<sup>2</sup> rok (rysunek 2).

## 3. KOLEKTORY SŁONECZNE

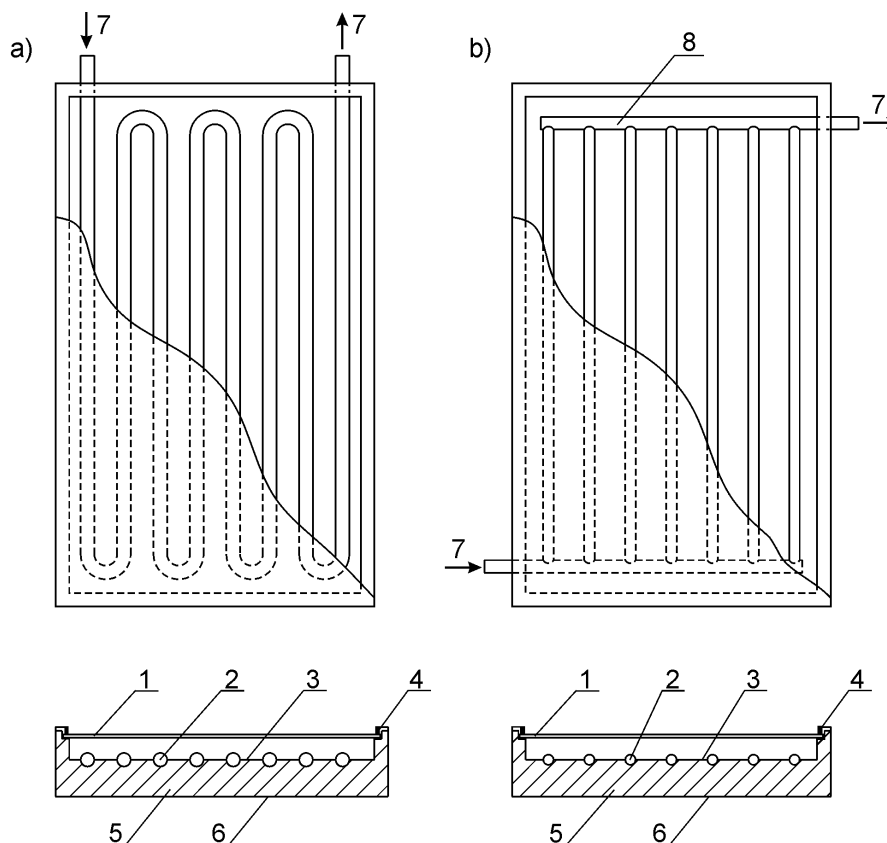
Do pozyskiwania ciepła użytecznego z energii promieniowania słonecznego stosowane są tzw. kolektory słoneczne. Istotnym ich elementem jest absorber, pochłaniający energię promieniowania i przekazujący ją na sposób ciepła do czynnika roboczego. Przyjmując rodzaj czynnika roboczego za kryterium podziału kolektorów, urządzenia te można podzielić na dwie zasadnicze grupy, to jest na:

- kolektory cieczowe,
- kolektory powietrzne.

W grupie pierwszej, to jest w grupie kolektorów cieczowych, można wyodrębnić niżej podane typy, różniące się budową i przeznaczeniem, a mianowicie:

- kolektory płaskie,
- kolektory próżniowe,
- kolektory magazynujące,
- kolektory elastyczne.

Najczęściej stosowanymi urządzeniami do podgrzewania cieczy są kolektory płaskie, budowane w kształcie prostokątnych modułów. Schemat dwóch typowych rozwiązań pokazany jest na rys. 3. Kolektor składa się z układu kanałów przepływowych nośnika ciepła jakim jest ciecz, z absorbera promieniowania słonecznego, obudowy zewnętrznej oraz warstwy izolacji termicznej, która oddziela dolną powierzchnię kolektora od obudowy. Od strony górnej absorber osłonięty jest szybą szklaną lub z tworzywa sztucznego, stanowiącą przezroczystą osłonę o wysokiej transmisyjności dla promieniowania słonecznego [1,10].



Rys. 3. Schemat typowych rozwiązań konstrukcyjnych cieczowych kolektorów płaskich:  
 a) z kanałami połączonymi szeregowo; b) z kanałami połączonymi równoległe;  
 1 – szyba, 2 – kanały, 3 – absorber, 4 – uszczelka, 5 – izolacja, 6 – obudowa, 7 – czynnik roboczy, 8 – kanał łączący

Opisy innych rozwiązań płaskich kolektorów cieczowych, a także kolektorów magazynujących i z absorberami próżniowymi można znaleźć w pracach [1,2,4,5,6,7,8,9,10].

W grupie tzw. kolektorów powietrznych, największe znaczenie mają następujące rozwiązania, różniące się między sobą rodzajem absorbera, a mianowicie:

- z absorberem płaskim,
- z absorberem o powierzchni rozwiniętej,
- z absorberem porowatym,

W kolektorach tych ciepło od nagrzanego absorbera pobierane jest przez powietrze przepływające pod/nad absorberem. W celu poprawienia sprawności stosowane są absorbery o powierzchni rozwiniętej (np. profilowanej). W porównaniu z kolektorami cieczowymi, kolektory powietrzne mają szereg zalet, do których zalicza się brak korozji elementów metalowych, brak zmian stanu skupienia nośnika ciepła (wrzenie, zamarzanie) i proste rozwiązania konstrukcyjne kanałów. Do wad można zaliczyć opory przekazywania ciepła od absorbera do powietrza, w wyniku czego absorbery posiadają wyższą temperaturę, co powoduje zwiększenie strat ciepła do otoczenia w porównaniu z kolektorami cieczowymi.

Poza kolektorami płaskimi stosowane są kolektory z tworzyw sztucznych, proste do wykonania i nadające się do stosowania tam, gdzie wymagane są niewielkie przyrosty temperatury.

#### 4. INSTALACJE Z KOLEKTORAMI SŁONECZNYMI

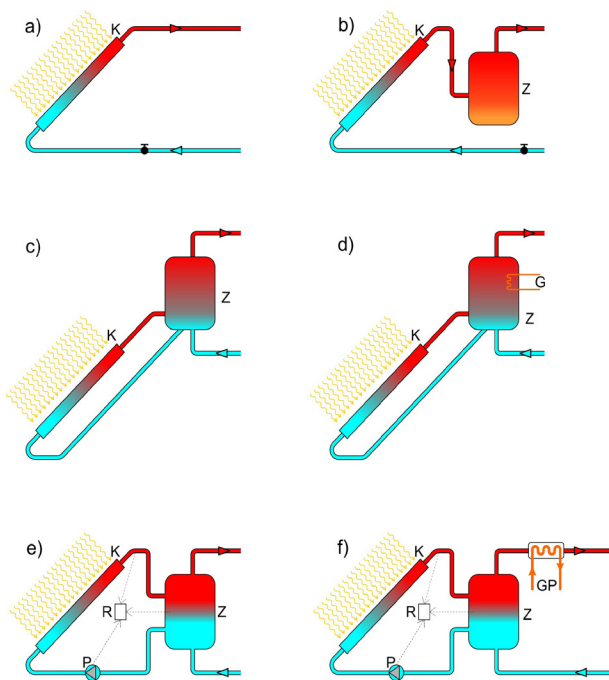
Jednym ze sposobów wykorzystania energii promieniowania słonecznego są instalacje służące do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz podgrzania wody na potrzeby centralnego ogrzewania. Ich zaletą jest prostota oraz to, że mogą być podłączone do konwencjonalnych systemów c.o. i c.w.u.

Zasadę ich działania omówiono na przykładzie instalacji wykorzystujących energię słoneczną do przygotowania c.w.u., których stopień złożoności zależy od ilości i rodzaju elementów wchodzących w skład systemu. Podstawowym elementem instalacji są kolektory oraz rurociągi służące do transportu nośnika ciepła między kolektorami i odbiornikami c.w.u. Wszystkie systemy przygotowania c.w.u. z kolektorami słonecznymi można podzielić na dwie grupy, to jest na:

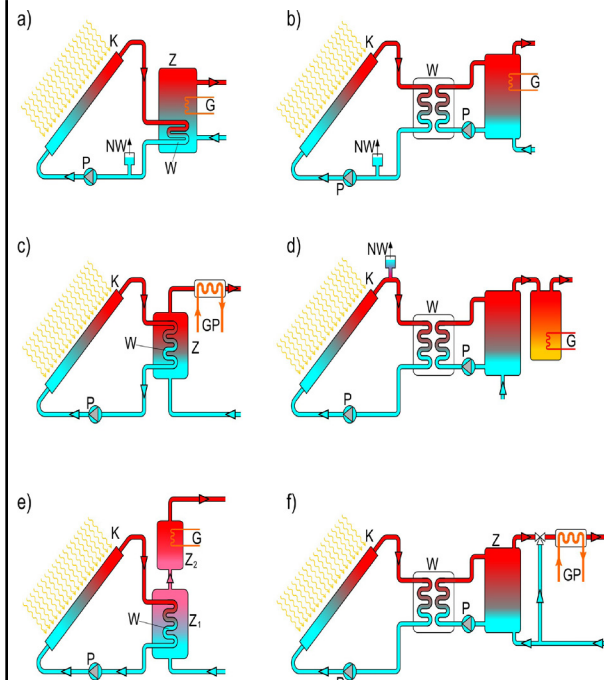
- systemy bezpośrednie (rysunek 4),
- systemy pośrednie (rysunek 5).

W najprostszych systemach bezpośrednich (rys. 4a) zimna woda przepływa przez kolektor i po podgrzaniu może być wykorzystana w instalacji użytkowej. Ich wadą jest duża zależność temperatury wody od chwilowej gęstości promieniowania słonecznego i od wielkości poboru wody, zaś przyrosty temperatury podgrzewanej wody są niewielkie. Korzystniejszymi rozwiązaniami są te, w których zastosowano tzw. zasobnik ciepła (rys. 4b). Uzyskuje się w nich wyższą temperaturę oraz większą jej stabilizację. Jeszcze korzystniejsze parametry pracy, to jest wyższą i ustabilizowaną temperaturę, można uzyskać stosując system, w którym zastosowano grawitacyjny obieg wody (rys. 4c,d). W celu zapewnienia bardziej równomiernego nagrzewania wody, w instalacji może być zastosowana pompa obiegowa (cyrkulacyjna). Dla zapewnienia właściwej pracy kolektora słonecznego, stosuje się układy sterowania pompą, która jest włączana, jeżeli temperatura wody w kolektorze przewyższa temperaturę wody w zbiorniku o ok. 3K (rys. 4e,f). Czasami, aby zapewnić właściwą temperaturę wody użytkowej (około 55°C) stosuje się dodatkowe źródło ciepła, np. grzałkę elektryczną (rys. 4d).

W przypadku systemów pośrednich (rys. 5), które składają się z dwóch obiegów sprzężonych cieplnie przez wymiennik ciepła, obieg pierwotny obejmuje kolektor słoneczny i wymiennik, w którym następuje przekazywanie energii na sposób ciepła. Najczęściej wymiennik jest umieszczony w zasobniku ciepła. Stosowane są także rozwiązania, w których wymiennik ciepła jest umieszczony na zewnątrz zasobnika. Jako czynnik roboczy w obiegu pierwotnym mogą być stosowane: woda lub płyny o niskiej temperaturze zamarzania (glikole). W związku z tym, że strumień energii promieniowania słonecznego nie zawsze zapewnia właściwą temperaturę wody użytkowej (ok. 55°C) stosowane są dodatkowe źródła ciepła, np. kotły szczytowe lub grzałki elektryczne.



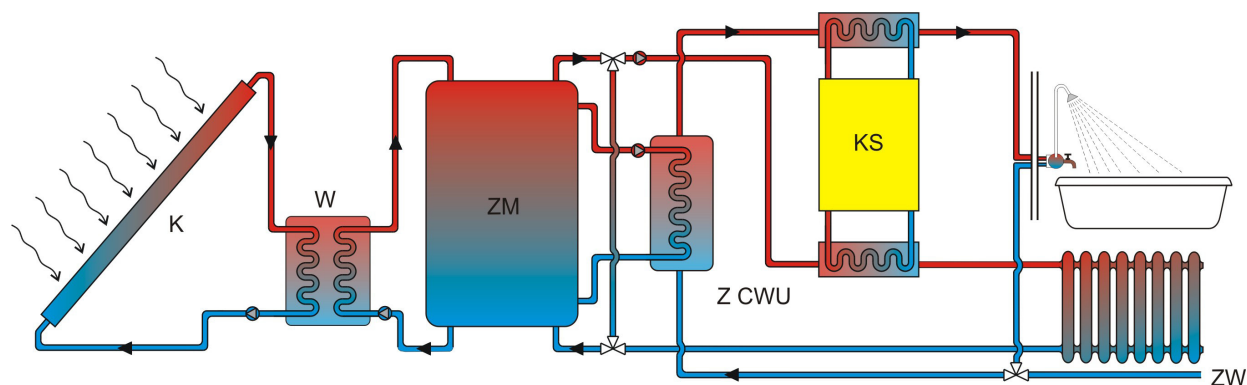
Rys. 4. Układy bezpośredniego podgrzewania wody w kolektorach słonecznych[5]:



Rys. 5. Układy pośredniego podgrzewania wody w kolektorach słonecznych[5]:

K – kolektor, Z – zasobnik, P – pompa cyrkulacyjna, W – wymiennik, G – grzałka elektryczna,  
GP – grzejnik przepływowy, R – regulator, NW – naczynie wzbiorcze

Poza prostymi instalacjami służącymi do przygotowywania c.w.u. z wykorzystaniem kolektorów cieczowych, stosowane są także klasyczne instalacje centralnego ogrzewania i ciepłej wody, współzasilane energią słoneczną (rys. 6), a także energią z innych źródeł np. energią gruntu pozyskiwaną za pomocą pomp ciepła. Różne rozwiązania tych instalacji omówiono w [1,5,6,7,10].



Rys. 6. Słoneczna instalacja grzewcza c.o. i c.w.u. współpracująca z kotłem konwencjonalnym[5]:  
K – kolektor, W – wymiennik, ZM – zasobnik, KS – kocioł, ZG – zasilenie zimną wodą, ZG – grzejnik

Poza instalacjami wykorzystującymi kolektory cieczowe, dość często stosowane są instalacje z kolektorami powietrznymi, służące do podgrzewania powietrza, przede wszystkim do ogrzewania pomieszczeń mieszkalnych i budynków inwentarskich oraz do suszenia płodów rolnych, drewna i materiałów budowlanych [1,2,5,6,8].

## 5. PANELE FOTOWOLTAICZNE

Promieniowanie słoneczne może być wykorzystane do wytwarzania energii elektrycznej za pomocą tzw. ogniw fotowoltaicznych. W swoim działaniu ogniwa fotowoltaiczne wykorzystują zjawisko konwersji fotowoltaicznej, polegające na bezpośredniej zamianie energii promieniowania słonecznego (światła) na energię elektryczną. Nie wnikając w szczegóły tego zjawiska, którego omówienie można znaleźć w literaturze przedmiotu, najistotniejszą jego cechą jest generacja nośników ładunku elektrycznego w wyniku absorpcji promieniowania przez półprzewodnik i w efekcie przepływ prądu elektrycznego w obwodzie zewnętrznym.

Cechą charakterystyczną ogniwa fotowoltaicznego jest sprawność konwersji i wielkość możliwej do wytworzenia mocy elektrycznej. Idealne ogniwo krzemowe o powierzchni 1 m<sup>2</sup>, przy mocy promieniowania padającego na tą powierzchnię równej 1000 W, może wytworzyć maksymalnie 210 W mocy elektrycznej, co oznacza że maksymalna teoretyczna sprawność przetwarzania wynosi 21%. Rzeczywista sprawność konwersji fotowoltaicznej jest mniejsza od teoretycznej, a ponadto zależy od rodzaju fotoogniwa.

Tabela. 1. Sprawność konwersji wybranych ogniw fotowoltaicznych [4]

Materiał	Struktura	Sprawność
Krzem	monokrystaliczna	18
Krzem	polikrystaliczna	7-14
Arsenek galu	monokrystaliczna	22
AlGaAs/Si	monolityczna (2 złącza p-n)	28,5

Istnieje wiele odmian ogniw fotowoltaicznych, różniących się przede wszystkim materiałem z którego są wykonane (krzem, półprzewodniki) oraz jego strukturą. Do najczęściej spotykanych należą:

- ogniwa fotowoltaiczne z krzemu monokrystalicznego,
- ogniwa fotowoltaiczne z krzemu polikrystalicznego,
- cienkowarstwowe ogniwa fotowoltaiczne z krzemu amorficznego,
- cienkowarstwowe ogniwa fotowoltaiczne z materiałów półprzewodnikowych, np.: tellurek kadmu (CdTe), selenek indowo-miedziowy (CIS) i inne.

Materiałem najczęściej używanym do produkcji ogniw fotowoltaicznych jest krzem, charakteryzujący się (w zależności od struktury materiału) sprawnością fotokonwersji 7 - 18%. Największe sprawności przetwarzania (do 30%) uzyskuje się w ogniwach wytworzonych na bazie arsenku galu.



Pojedyncze ogniwo dostarcza strumień energii elektrycznej o mocy 1 - 2 W, co jest wartością niewspółmiernie małą dla większości zastosowań praktycznych. Dla uzyskania odpowiednio dużych napięć i prądów ogniwa łączone są szeregowo i/lub równolegle, tworząc tzw. moduły fotowoltaiczne o mocy wyjściowej od kilku do kilkuset watów i zawierające od kilkunastu do kilkudziesięciu (kilkuset) ogniw. Moc modułów wyrażana jest jako moc szczytowa, uzyskiwana w warunkach standardowych, tj. przy promieniowaniu słonecznym o gęstości strumienia  $1000 \text{ W/m}^2$  i temperaturze otoczenia  $25^\circ\text{C}$ .

Typowa instalacja składa się z zespołu paneli fotowoltaicznych oraz urządzeń dostosowujących wytwarzany w nich prąd do potrzeb odbiorców. Jeżeli instalacja jest przewidziana do wytwarzania energii elektrycznej w celu zasilania urządzeń na prąd stały, niezbędne jest stosowanie układu akumulacji energii, np. zespołu akumulatorów, co z kolei wymaga stosowania układów kontroli ładowania i rozładowania, szczególnie w przypadku akumulatorów ołowiowo-kwasowych.

Z kolei stosowanie paneli fotowoltaicznych jako źródła energii dla urządzeń zmiennoprądowych wymaga stosowania falowników, których zadaniem jest zamiana wytwarzanego prądu stałego na prąd przemienny. W przypadku współpracy paneli fotowoltaicznych z niskonapięciową siecią energetyczną, zadaniem falownika jest między innymi synchronizacja częstotliwości wytwarzanego prądu przemiennego z częstotliwością prądu w sieci przesyłowej.



Rys. 7. Dach budynku z paneli fotowoltaicznych

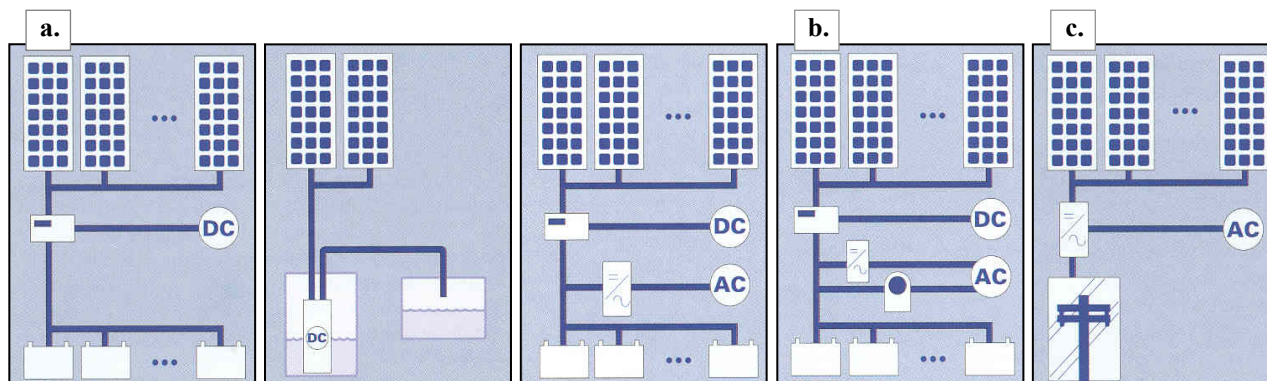


Rys. 8. Żaluzje okienne z panelami fotowoltaicznymi

W budowie instalacji fotowoltaicznych wyróżnia się trzy podstawowe konfiguracje, to jest instalacje: wolnostojące, hybrydowe i współpracujące z siecią (rysunek 9).

Instalacje wolnostojące składają się z paneli fotowoltaicznych, odbiornika energii, akumulatora i urządzenia kontrolującego stopień jego naładowania (rys. 9a). Akumulator musi mieć odpowiednią pojemność, aby zapewnić dostarczanie energii w nocy i w okresach złej pogody. Instalacje tego typu korzystają tylko z energii wytwarzanej w ogniwach fotowoltaicznych.

W instalacjach hybrydowych panel fotowoltaiczny współpracuje z innymi urządzeniami do wytwarzania energii elektrycznej (np. generator). Dla zapewnienia efektywnego wykorzystania różnych sposobów wytwarzania energii, instalacje hybrydowe wyposażone są w skomplikowane układy kontroli i sterowania pracą urządzeń (rys 9b).



Rys. 9. Systemy fotowoltaiczne [11]: a) wolnostojące, b) hybrydowe, c) dołączone do sieci

Instalacje współpracujące z siecią elektroenergetyczną, składają się z paneli fotowoltaicznych, przyłączonych do sieci poprzez falowniki (rys 9c). W instalacjach tych panele są głównym lub pomocniczym źródłem energii elektrycznej. W przypadku wystąpienia nadmiaru wytwarzanej w nich energii, jest ona odprowadzana do sieci elektroenergetycznej. Natomiast gdy ilość produkowanej energii jest ograniczona, co może wynikać z braku lub niedostatecznego nasłonecznienia, potrzeby pokrywane są z sieci elektroenergetycznej.

Ogniwa fotowoltaiczne stanowią interesujące źródło energii, co sprawia, że znajdują one zastosowanie w licznych urządzeniach i dziedzinach techniki, takich jak np:

- elektroniczny sprzęt powszechnego użytku (zegarki, kalkulatory, ...),
- systemy sygnalizacji i ostrzegania na drogach lądowych i wodnych oraz szlakach morskich,
- zasilanie lądowych i morskich stacji pomiarowych
- systemy telekomunikacyjne,
- urządzenia małej mocy w rolnictwie i hodowli (< 500W),
- samotnie stojące oraz dołączone do sieci obiekty mieszkalne i schroniska,
- różnego rodzaju urządzenia infrastruktury miejskiej (parkomaty, zegary, automaty biletowe),
- elektrownie fotowoltaiczne,
- obiekty kosmiczne itp.

Wymienione powyżej zastosowania paneli nie obejmują wszystkich dziedzin, ale wykazują jak szeroki jest obszar ich aplikacji, pomimo, że istotną wadą tych urządzeń jest stosunkowo niska sprawność i wysokie koszty inwestycyjne przekładające się na cenę wytworzonej energii.

## 6. ISTNIEJĄCE W POLSCE INSTALACJE POZYSKIWANIA I WYKORZYSTANIA ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Pierwsze instalacje z kolektorami słonecznymi zostały zbudowane w Polsce w latach 60. Z upływem lat ilość instalacji z kolektorami (cieczowymi i powietrznymi) stopniowo rosła, przy czym znaczny ich wzrost uwidocznił się pod koniec lat osiemdziesiątych. W znacznej części były to instalacje zbudowane w ramach działalności naukowo-badawczej w jednostkach naukowych, centrach branżowych i ośrodkach doradztwa rolniczego, bądź też jako instalacje promocyjne. Jednak wielu użytkowników tych instalacji, ze względu na niezwykle niskie ceny konwencjonalnych nośników energii, zrezygnowało z ich eksploatacji. Od początku lat dziewięćdziesiątych przy budowie instalacji wykorzystujących energię słoneczną były już brane pod uwagę efekty ekonomiczne wynikające z ograniczania tradycyjnych nośników energii na rzecz odnawialnych źródeł energii.

Dane dotyczące ilości istniejących i aktualnie pracujących instalacji z kolektorami słonecznymi są bardzo rozbieżne.

Według materiałów PAN, w roku 1993 w rolnictwie pracowało ponad 3000 termicznych suszarek przemysłowych o wydajności szacowanej na poziomie 10 - 60 t/h materiału suszonego, nie licząc około 80000 małych i prostych instalacji suszarniczych wykorzystywanych przez rolników indywidualnych. Według tych danych, łączna powierzchnia kolektorów słonecznych, powietrznych i wodnych, używanych dla celów rolniczych i przygotowania c.w.u. została oszacowana na 5800 m<sup>2</sup> [2].

Z kolei według IBMiER [7] ogólna ilość instalacji z kolektorami słonecznymi użytkowanych w rolnictwie przy suszeniu płodów rolnych oceniana jest na 50 - 60 suszarni o łącznej powierzchni 6000 m<sup>2</sup>. Według tych samych danych w Polsce zainstalowano około 1000 instalacji słonecznych do podgrzewania ciepłej wody użytkowej, o łącznej powierzchni kolektorów wodnych przekraczającej 10000 m<sup>2</sup>.

Natomiast według danych Gołębiowskiego pochodzących z roku 2001, w Polsce dla potrzeb przygotowania ciepłej wody użytkowej zainstalowane były kolektory słoneczne o łącznej powierzchni 13000 m<sup>2</sup> [7]. Według tego samego autora, w 2002 r. zainstalowane były instalacje z kolektorami słonecznymi, o powierzchni około 20000 m<sup>2</sup>.

## 7. OCENA WYKORZYSTANIA ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Wśród istniejących w Polsce instalacji słonecznych największy udział stanowią instalacje służące do przygotowania ciepłej wody użytkowej dla potrzeb domków jednorodzinnych. Część z nich pracuje również jako instalacje wspomagające w układach centralnego ogrzewania. Natomiast w rolnictwie stosowane są zarówno kolektory wodne jak i powietrzne, głównie w suszarnictwie produktów rolnych, takich jak zboże, zielonki, nasiona warzyw, tytoń i zioła. Kolektory słoneczne wodne stosowane są do podgrzewania wody do celów sanitarnych oraz do celów produkcyjnych, obejmujących np. przetwórstwo rolno-spożywcze, podgrzewanie gleby w szklarniach i tunelach foliowych oraz podgrzewanie zbiorników hodowli ryb [1]. Ponadto powietrzne kolektory słoneczne mogą być wykorzystywane do ogrzewania budynków mieszkalnych.

Przykładowe rozwiązania instalacji z różnymi typami kolektorów słonecznych stosowanymi do celów grzewczych w budynkach mieszkalnych i obiektach przemysłowych omówione są dostępnej literaturze tematu, między innymi w pracach [1-10].

Ponieważ instalacje z kolektorami słonecznymi budzą zarówno duże zainteresowanie jak i liczne uwagi i wątpliwości, w Katedrze Techniki Ciepłej powstał zespół stanowisk badawczych umożliwiających doświadczalną weryfikację pracy tych urządzeń w warunkach rzeczywistych. Należy zaznaczyć, że stanowiska te pełnią ważną rolę dydaktyczną, będąc między innymi realnym dowodem możliwości wykorzystania energii słońca.

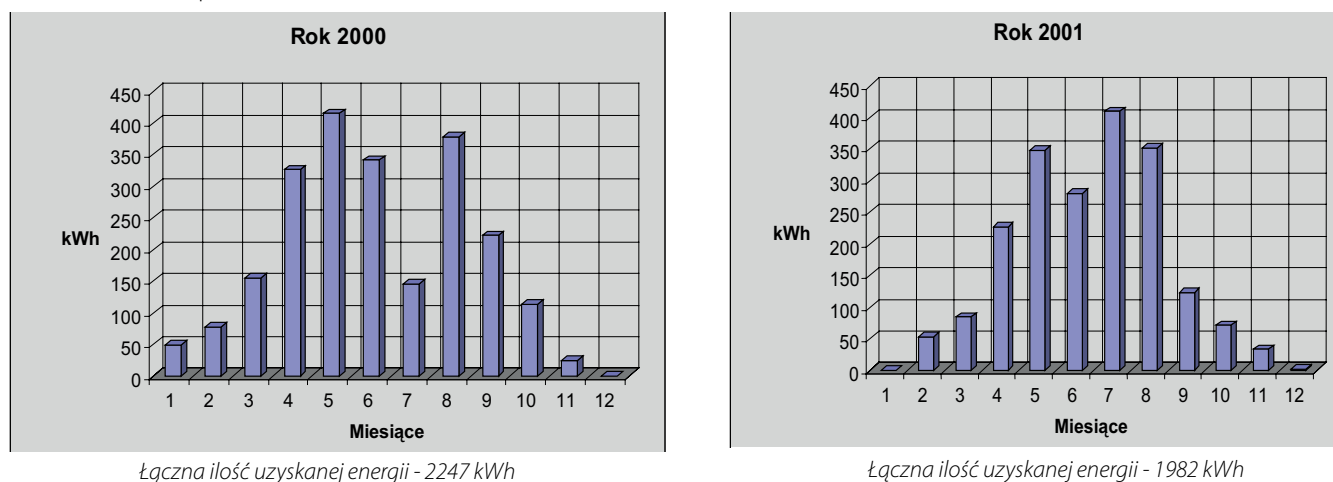
### 7.1. Instalacja z kolektorem słonecznym z absorberem płaskim

Głównym elementem zbudowanej w drugiej połowie lat 90. instalacji umożliwiającej prowadzenie prac nad wykorzystaniem energii słonecznej do celów grzewczych [5] jest kolektor cieczowy firmy Wagner, o powierzchni nominalnej 7,6 m<sup>2</sup>, współpracujący z pojemnościowym zasobnikiem ciepła (rys. 10). Elementem roboczym kolektora jest absorber płaski z warstwą TiNOx. Jako czynnik obiegowy krążący w instalacji stosowany jest wodny roztwór glikolu propylenowego, którego przepływ jest wymuszony za pomocą pompy obiegowej. Glikol dopływa do kolektora, skąd po ogrzaniu wraca do zasobnika, gdzie w przepływowym wymienniku oddaje ciepło do wypełniającej zasobnik wody. Instalacja wyposażona jest w specjalizowany regulator sterujący (Sungo XL) oraz w niezbędną dodatkową aparaturę pomiarową.



Rys. 10. Kolektor słoneczny firmy Wagner z absorberem płaskim z warstwą TiNOx

Stanowisko umożliwia prowadzenie prac związanych z wykorzystaniem energii słońca. Między innymi, prowadzone są badania mające na celu określenie ilości energii uzyskiwanej za pomocą kolektora, możliwej do praktycznego wykorzystania do celów grzewczych. Przykładowe, wyniki tych badań odniesione do lat 2000-2001 przedstawione są na rysunku 11 [5]. Wynika z nich, że ilość pozyskiwanego w ciągu roku ciepła jest zmienna i zależy między innymi od pory roku i od panujących warunków pogodowych. W analizowanym okresie ilość energii pozyskanej z 1 m<sup>2</sup> powierzchni kolektora kształtowała się średnio na poziomie 320 kWh/rok. Należy podkreślić, że pokazane na rysunku ilości energii odnoszą się do przypadku ciągłego jej odbioru w odbiornikach ciepła.



Rys. 11. Ilość energii pozyskanej w kolektorze słonecznym o powierzchni absorbera 7,6 m<sup>2</sup> (średnia ilość pozyskiwanej energii: 318,9 kWh/m<sup>2</sup>/rok)

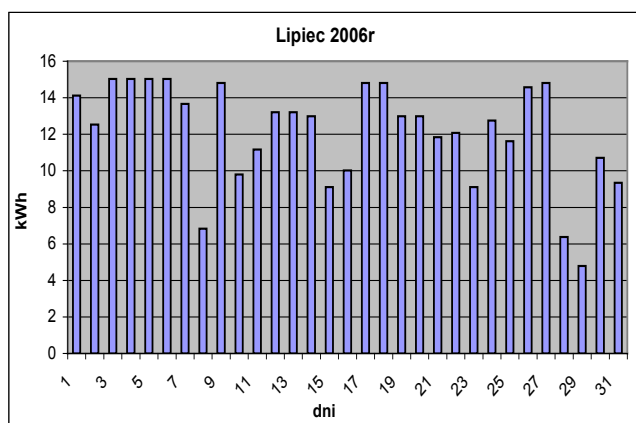


W ostatnim okresie stanowiska badawcze istniejące w KTC zostały wzbogacone o dwie nowe instalacje z kolektorami słonecznymi. Umożliwiają one prowadzenie badań kolektorów próżniowych (Vitasol-200) i kolektorów typu „rura cieplna” (Vitasol-300), każdy o powierzchni 4 m<sup>2</sup> (rysunek 12). Tym samym zespół istniejących stanowisk pozwala prowadzić badania mające na celu między innymi porównanie efektywności pracy różnych rodzajów kolektorów w tych samych warunkach eksploatacji.

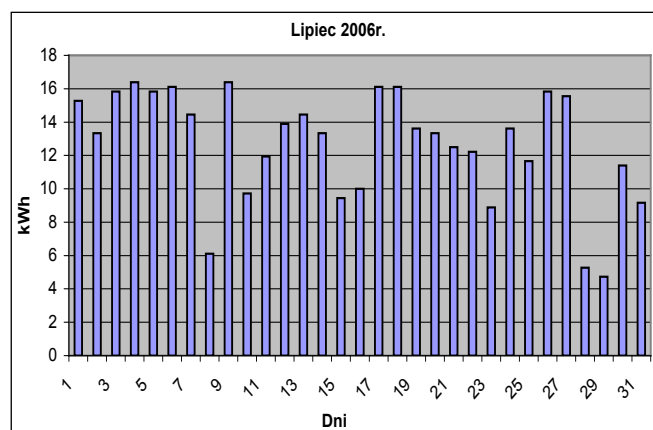


Rys. 12. Zespół kolektorów słonecznych i fotowoltaiczny na dachu budynku KTC

Przykładowe wstępne wyniki takich badań, prowadzonych dla dwóch różnych zestawów kolektorów typu Vitasol-200 i Vitasol-300, przedstawione są na rysunku 13.



Vitasol-200:  $Q = 375,53 \text{ kWh/m-c}$



Vitasol-300:  $Q = 392,53 \text{ kWh/m-c}$

Rys. 13 Ilość energii pozyskanej w kolektorze próżniowym

## 7.2. Instalacja fotowoltaiczna

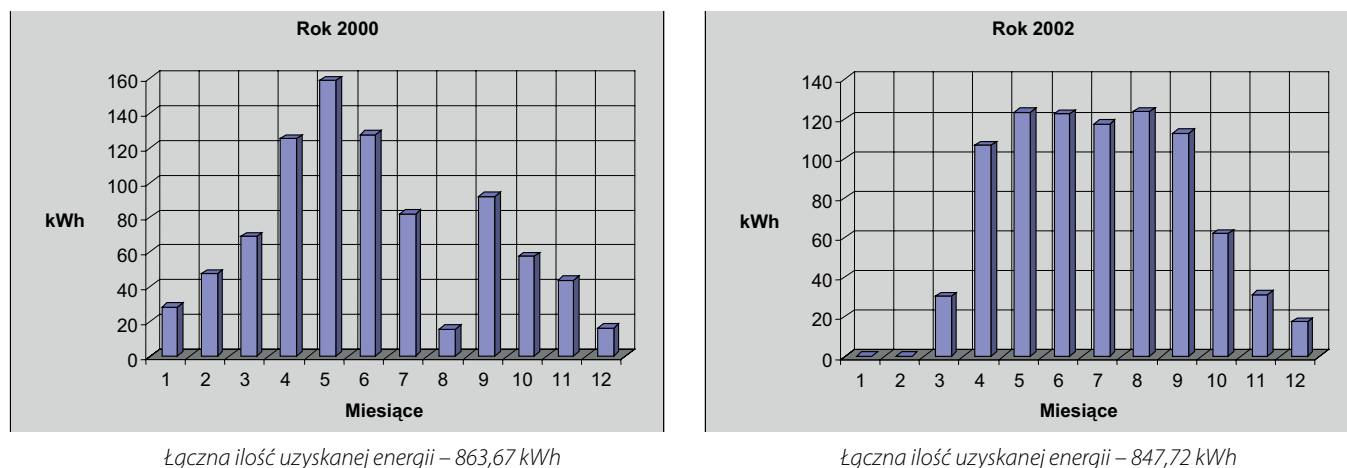
Uruchomiona w 1999 r. instalacja fotowoltaiczna składa się z 10 paneli typu M110 firmy Siemens, o łącznej mocy znamionowej 1,1 kW (rysunek 14) [5,11]. Każdy z paneli zbudowany jest z 72 ogniw z krzemu monokrystalicznego. Panele współpracują z falownikiem SunyBoy, typ SWR850, którego zadaniem jest transformacja prądu stałego na prąd przemienny 230 V, 50 Hz i dostarczanie go do sieci elektroenergetycznej budynku, po uprzednim zsynchronizowaniu.



Rys. 14. Zespół paneli fotowoltaicznych Siemens M110 o znamionowej mocy elektrycznej 1,1 kW

Praca instalacji monitorowana jest w sposób ciągły za pomocą komputera współpracującego z mikroprocesorem sterującym pracą falownika i zespołu paneli. Umożliwia to otrzymanie danych na temat pracy układu, a także uzyskanie informacji o jego funkcjonowaniu w dowolnym przedziale czasu. Podstawowymi wielkościami rejestrowanymi są: napięcie i prąd po stronie ogniw, napięcie i moc oddawana do sieci oraz czas pracy. Wielkości te pozwalają określić ilości energii elektrycznej wyprodukowanej i odprowadzonej do sieci elektrycznej w dowolnym okresie pracy instalacji.

Przykładowe dane pokazujące wielkość miesięcznej produkcji energii elektrycznej w wybranym przedziale czasowym lat 2000 i 2002 pokazane są na rysunku 15 [5].



Rys. 15. Produkcja energii elektrycznej przez zestaw paneli fotowoltaicznych (rok: 2000 i 2002)

## 8. PODSUMOWANIE

W pracy omówiono podstawowe zasady pozyskiwania energii promieniowania słonecznego oraz jego transformacji na ciepło i energię elektryczną. Na tym tle przedstawiono istniejące w KTC stanowiska badawcze z kolektorami słonecznymi i fotowoltaicznymi, służące do doświadczalnej weryfikacji możliwości pozyskiwania obu rodzajów energii.

Stanowiska te pokazują realne możliwości pozyskiwania i wykorzystania energii słońca do produkcji ciepła i energii elektrycznej. Jednak wadą tych instalacji jest stosunkowo niska sprawność konwersji i wysokie koszty inwestycyjne, przekładające się na koszt wytworzenia energii. Dotyczy to zwłaszcza energii elektrycznej pozyskiwanej w panelach fotowoltaicznych.

Wysokie koszty urządzeń sprawiają, że energia pozyskiwana z kolektorów jest w warunkach polskich mało konkurencyjna dla energii pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych. Nie mniej jednak obszar zastosowań zarówno kolektorów słonecznych, jak i paneli fotowoltaicznych jest coraz większy i według istniejących prognoz będzie nadal rósł.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Chochowski A., Czekalski D.: Słoneczne instalacje grzewcze. COIB, Warszawa 1999.
- [2] Gogół W. Konwersja termiczna energii promieniowania słonecznego w warunkach krajowych. PAN, Warszawa 1993.
- [3] Klugman E., Klugman-Radziemska E.: Alternatywne źródła energii. Energetyka fotowoltaiczna. Wyd. Ekonomia i Środowisko. Białystok 1999.
- [4] Lewandowski W. M.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej, WNT, Warszawa 2001.
- [5] Nowak W., Stachel A.A.: Stan i perspektywy wykorzystania niektórych odnawialnych źródeł energii w Polsce. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2004.
- [6] Pluta Z.: Słoneczne instalacje energetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [7] Projektowanie wielkowymiarowych instalacji grzewczych wyposażonych w kolektory słoneczne oraz systemy fotowoltaiczne. EC BREC, Warszawa, 2001.
- [8] Smolec W.: Fototermiczna konwersja energii słonecznej. PWN, Warszawa 2000.
- [9] Wiśniewski G.: Energia słoneczna. Przetwarzanie i wykorzystanie energii promieniowania słonecznego. Fundacja Ekologiczna Silesia, Katowice 1999.
- [10] Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M.: Kolektory słoneczne. Poradnik wykorzystania energii słonecznej. COIB, Warszawa 2001.
- [11] Zbiór katalogów i materiałów informacyjnych firmy Siemens dotyczących paneli fotowoltaicznych.

**MIEJSCE  
NA  
DUŻĄ  
REKLAMĘ**

