

Pozyskiwanie i przetwarzanie energii odnawialnej

Jan Górzyński

1. Wprowadzenie

Wyczerpywanie paliw kopalnych i degradacja środowiska prowadzą do zwiększenia udziału źródeł odnawialnych w pokryciu zużycia energii, przynajmniej do czasu opanowania innych możliwości zaspokojenia potrzeb energetycznych. Istnieje bowiem powszechne przekonanie, że wykorzystanie odnawialnych źródeł energii nie narusza ekosystemu planety, a wielkość zasobów wydaje się uzasadniać nadzieję na zaspokojenie większości potrzeb energetycznych. Według [97] znane są jednak liczne ograniczenia tych możliwości, ponieważ wykorzystanie energii odnawialnych wiąże się również z wieloma problemami ekologicznymi, innymi niż występujące przy zagospodarowaniu tradycyjnych paliw kopalnych, powodujące jednak istotne ograniczenia możliwości ich wykorzystania.

Wykorzystanie energii odnawialnej jest zawsze związane z pewnym zużyciem zasobów nieodnawialnych, ponieważ materiały niezbędne do zbudowania odpowiednich instalacji są zwykle wytwarzane z surowców i przy użyciu energii pochodzącej ze źródeł nieodnawialnych. Odnawialne zasoby zastosowane do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła jednak w istotny sposób mogą wpłynąć na spowolnienie wyczerpywania nieodnawialnych zasobów energetycznych.

Obecne techniki wykorzystania odnawialnych źródeł energii również powodują obciążenia środowiska naturalnego, co może znacznie ograniczyć ich wykorzystanie na większą skalę. Rozległe obszary niezbędne do pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych (szczególnie z biomasy) stanowią podstawowe ograniczenie w ich stosowaniu. Na przykład budowa dużych scentralizowanych systemów energetycznych do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, przy zastosowaniu źródeł odnawialnych o największych możliwościach ilościowych (biomasa, energia promieniowania słonecznego, wiatr), wymagałaby zagospodarowania znacznych obszarów powierzchni Ziemi, ograniczając tym samym tereny do produkcji rolniczej i leśnej. W przypadku wykorzystania energii słonecznej i wiatru istnieją ograniczenia natury technicznej i ekonomicznej, związane z dużymi kosztami ich budowy. Z kolei elektrownie wodne wiążą się z koniecznością istnienia odpowiednich uwarunkowań geograficznych i również wymagają dużych nakładów na budowę. Budowane przy zaporach lub bezpośrednio na rzekach niekiedy okazują się przedsięwzięciami bardzo ryzykownymi ze względu na ochronę środowiska i straty społeczne.

Należy mieć na uwadze, że odnawialne źródła energii mają często charakter lokalny i największe korzyści ekonomiczne i ekologiczne w wyniku ich zagospodarowania można uzyskać, wykorzystując je w pobliżu miejsc występowania, na przykład w lokalnych systemach ciepłowniczych. W systemach ogrzewania obiektów budowlanych najczęściej jest wykorzystywana

energia promieniowania słonecznego (produkcja ciepła i energii elektrycznej), biomasa, energia geotermiczna.

Odnawialne źródła energii wykorzystywane w Polsce to głównie: biomasa, energia wodna i energia wiatru oraz w znacznie mniejszym stopniu energia geotermalna. Natomiast udział energii promieniowania słonecznego jest jak dotychczas niewielki. Wydaje się, że taka struktura wykorzystania odnawialnych źródeł energii w najbliższych latach może się zmienić, notuje się bowiem znaczący rozwój wykorzystania biomasy, energii słonecznej i w szczególności energii wiatru, mimo nakładów inwestycyjnych znacznie większych na jednostkę zainstalowanej mocy niż w przypadku paliw kopalnych.

Zgodnie z założeniami zawartymi w dokumencie *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.* największe możliwości pozyskania energii ze źródeł odnawialnych mogą zapewnić biomasa (uprawy energetyczne, drewno opałowe, odpady rolnicze, przemysłowe i leśne, biogaz) i energia wiatru. W dalszej kolejności są zasoby energii wodnej i geotermicznej. Natomiast technologie słoneczne z powodu wysokich kosztów w produkcji energii elektrycznej mogą odgrywać istotną rolę praktycznie wyłącznie do produkcji ciepła. Można mieć uzasadnione wątpliwości co do wykorzystania energii wiatru w Polsce ze względu na występowanie wiatru o niewystarczającym potencjale na przeważającej powierzchni kraju.

Już w 1997 r. Komisja Europejska przyjęła dokument określający strategię bezpieczeństwa energetycznego. Celem strategicznym Unii Europejskiej jest uzyskanie w 2020 r. 20-procentowego udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w bilansie energii pierwotnej. Obecne plany UE to dążenie do uzyskania tego udziału w dalszych latach na poziomie 50%. Istotnym argumentem za rozwojem tej formy energii jest konieczność realizacji zobowiązań międzynarodowych, wynikających z Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, uzupełnionej Protokołem z Kioto, oraz z paryskiego porozumienia klimatycznego przewidującego zobowiązania w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Porozumienie z Konferencji Stron Ramowej Konwencji ONZ w sprawie zmian klimatu, która odbyła się w Paryżu w dniach 30.11–12.12.2015 r., zostało podpisane 22 kwietnia 2016 r. W porozumieniu tym przewiduje się, że każdy kraj zapewni udział w redukcji odpowiednio do swoich możliwości. W celu wspierania wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych KE wydała dyrektywę [U2] w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych.

W raporcie przygotowanym na potrzeby Banku Światowego oceniono, że ze źródeł odnawialnych można w Polsce pokryć nawet do 30% zapotrzebowania na energię pierwotną.

Największym odbiorcą energii ze źródeł odnawialnych stanowią prawdopodobnie rolnictwo i mieszkalnictwo. Szczególnie dla regionów dotkniętych bezrobociem odnawialne źródła energii stwarzają możliwości w zakresie powstawania nowych miejsc pracy. Ponadto tereny rolnicze, które ze względu na silne zanieczyszczenie gleb nie nadają się do uprawy roślin jadalnych, mogą być wykorzystane do uprawy roślin energetycznych przeznaczonych do produkcji biopaliw.

2. Wykorzystanie energii słonecznej

2.1. Sposoby wykorzystania energii słonecznej

Energia słoneczna jest w coraz większym stopniu wykorzystywana do zaopatrzenia budynków w ciepło i energię elektryczną. Jest stosunkowo łatwo dostępna, ale gęstość strumienia energii promieniowania słonecznego jest niewielka i w dużym stopniu zależy od miejsca położenia na Ziemi, pory dnia i roku. Stwarza to określone problemy w praktyce zagospodarowania tej formy energii.

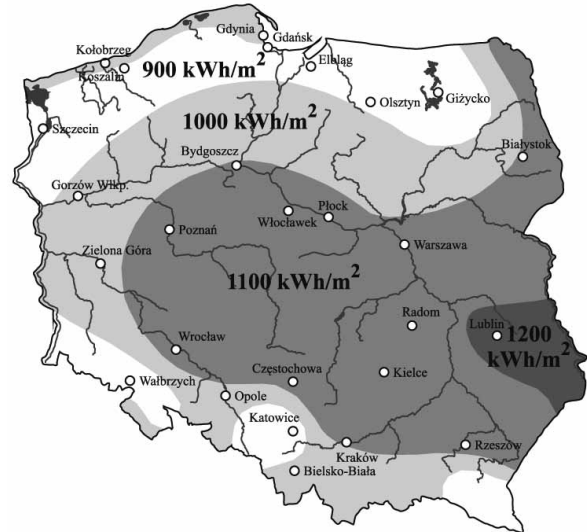
Nasłonecznienie różnych regionów Polski jest zbliżone, przy czym na powierzchnię horyzontalną pada strumień promieniowania słonecznego w zakresie 930–1163 W/(m²·rok). Gęstość energii docierającej do powierzchni Ziemi na obszarze Polski wynosi 950–1090 kWh/(m²·rok) (średnio 1000 kWh/(m²·rok)). Czas nasłonecznienia (uśłonecznienie) w ciągu roku wynosi od 1460–1620 godzin, przy tym udział energii promieniowania bezpośredniego do całkowitego wynosi około 50% [16]. Na rys. 1 przedstawiono rozkład nasłonecznienia na obszarze Polski, a na rys. 2 rozkład nasłonecznienia w poszczególnych miesiącach.

Około 80% energii słonecznej w Polsce dociera do powierzchni Ziemi w okresie wiosenno-letnim (rys. 1), czyli głównie w okresie, kiedy ogrzewanie budynków nie jest wykorzystywane lub jest wykorzystywane przy niewielkim obciążeniu. Natomiast ponad 55% rocznego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków musi być dostarczone w trzech miesiącach zimowych (grudzień, styczeń, luty). Wynika stąd, że w warunkach klimatycznych Polski instalacje słoneczne w zastosowaniu do ogrzewania budynków mogą jedynie wspomagać tradycyjne systemy ogrzewania. Większe możliwości istnieją w zastosowaniu do przygotowania ciepłej wody użytkowej, na którą zapotrzebowanie występuje praktycznie równomiernie w ciągu całego roku.

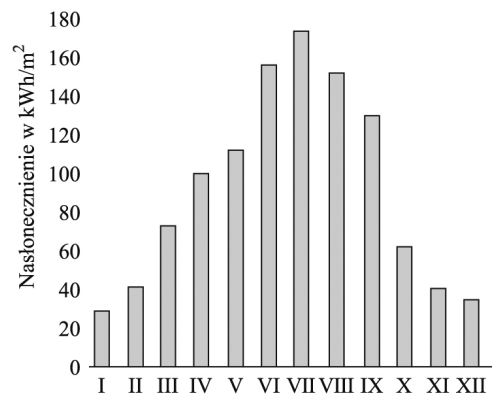
Obecne techniki umożliwiają efektywne pozyskiwanie i przetwarzanie energii promieniowania słonecznego na ciepło i energię elektryczną. W Polsce podstawowymi sposobami przetwarzania energii promieniowania słonecznego na energię użyteczną są:

- konwersja fototermiczna;
- konwersja fotowoltaiczna.

Konwersja fototermiczna polega na bezpośredniej przemianie energii promieniowania słonecznego w ciepło. Do tego celu wykorzystuje się kolektory słoneczne, stanowiące podstawowy element tzw. aktywnych systemów słonecznych, lub elementy obudowy budynku, tworzące tzw. bierne systemy słoneczne. W obu przypadkach przemiana energii słonecznej w ciepło zachodzi w elementach stanowiących absorber energii. Systemy pasywne nie wymagają dostarczania dodatkowej energii



Rys. 1. Rozkład nasłonecznienia na obszarze Polski [w6]

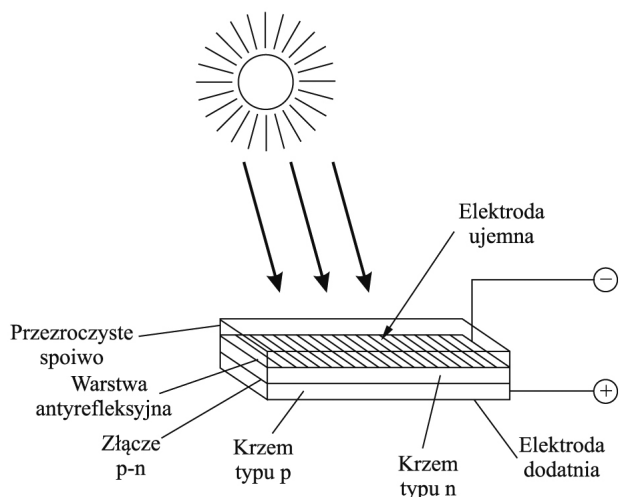


Rys. 2. Nasłonecznienie w poszczególnych miesiącach na obszarze Polski [w6]

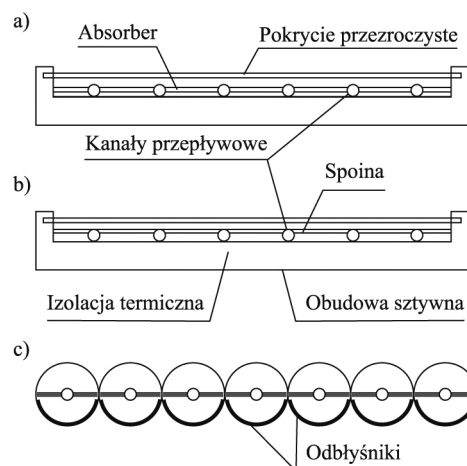
zewnętrznej, natomiast systemy aktywne wymagają dodatkowego zasilania w energię z zewnątrz.

W budynkach zawsze w pewnym stopniu ma zastosowanie bierne (pasywne) wykorzystanie energii słonecznej, którego efektywność można zwiększyć, wprowadzając odpowiednie rozwiązania, bierne systemy słoneczne. Pasywny system ogrzewania słonecznego polega na wykorzystaniu naturalnego dopływu energii słonecznej i przetwarzaniu jej na ciepło w elementach konstrukcji budynku. Elementy te spełniają rolę kolektorów i akumulatorów ciepła, które ułatwiają użyteczne wykorzystanie zmagazynowanego ciepła w budynku bez potrzeby stosowania pośredniego czynnika grzejącego.

Konwersja fotowoltaiczna polega na bezpośredniej przemianie energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych, których działanie opiera się na wykorzystaniu zjawiska fotoelektrycznego zachodzącego w złączach półprzewodnikowych. Przy oddziaływaniu promieniowania słonecznego na elementy półprzewodnikowe (rys. 3) fotony promieniowania o energii większej niż progowa dla danego materiału uwalniają część elektronów, generując siłę elektromotoryczną.



Rys. 3. Schemat powstawania efektu fotowoltaicznego



Rys. 4. Przekroje poprzeczne spotykanych konstrukcji cieczowych kolektorów słonecznych [99]

Najczęściej stosowanym materiałem półprzewodnikowym jest krzem (monokrystaliczny, polikrystaliczny lub amorficzny), a ponadto: german, arsenek galu, tellurek i siarczek kadmu, selen. Sprawność energetyczna wytwarzania energii elektrycznej w doświadczalnych ogniwach fotowoltaicznych dochodzi do 23%, a w praktycznych zastosowaniach jest szacowana na 10–11%. Podstawowym elementem stosowanym do budowy systemów konwersji fotowoltaicznej są tzw. moduły fotowoltaiczne o określonych wymiarach i parametrach, które mogą być montowane bezpośrednio w miejscu wykorzystania. Koszt produkcji modułów fotowoltaicznych wykazuje tendencję spadkową.

2.2. Aktywne systemy wykorzystania energii słonecznej

2.2.1. Kolektory słoneczne

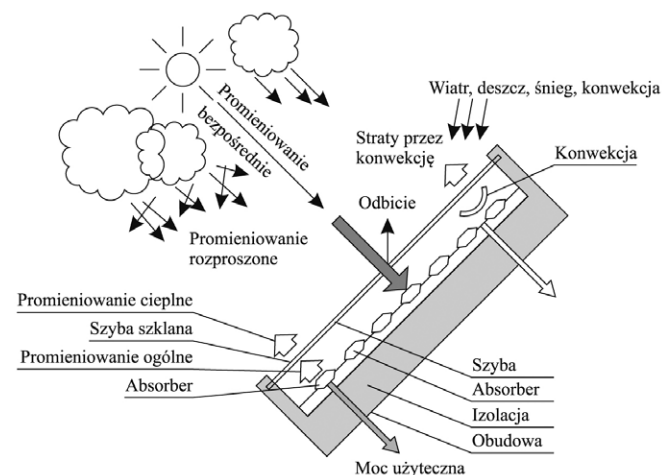
Do przemiany energii promieniowania słonecznego w przyrost entalpii fizycznej czynnika roboczego służą aktywne systemy słoneczne, których podstawowym elementem są kolektory. Wykorzystuje się kolektory słoneczne płaskie lub koncentrujące (skupiające), w których energia słoneczna podgrzewa czynnik roboczy (woda, ciecz niezamarzająca, powietrze) wprowadzany następnie do zasobników ciepła. W kolektorach koncentrujących można osiągnąć wyższą temperaturę podgrzania czynnika, z kolei kolektory płaskie wykorzystują rozproszone promieniowanie słoneczne i charakteryzują się bardziej stabilnym strumieniem dostarczanego ciepła. Osiągana sprawność energetyczna kolektorów płaskich jest w zakresie 35–50% [16]. Na zachodzącą w kolektorze przemianę energii mają wpływ parametry charakteryzujące stan środowiska zewnętrznego: temperatura powietrza, opady, wiatr. Istotne jest, aby docierająca do kolektora energia promieniowania słonecznego powodowała przyrost entalpii czynnika z jak najwyższą sprawnością. W praktyce w większości przypadków układy ogrzewania z wykorzystaniem energii słonecznej są instalowane z tradycyjnymi systemami ogrzewania.

Według Chwieduk [16] na obszarze Polski ze względu na duży udział promieniowania rozproszonego w stosunku do całkowitego (ok. 50%) uzasadnione jest stosowanie płaskich kolektorów

(pochłaniających zarówno promieniowanie bezpośrednie, jak i rozproszone) nad kolektorami koncentrującymi (wykorzystującymi przede wszystkim promieniowanie bezpośrednie).

Schematy typowych cieczowych płaskich kolektorów słonecznych z rurami roboczymi przedstawiono na rys. 4 [98]. Kolektor składa się z obudowy wyłożonej wewnątrz materiałem izolacyjnym, zakrytej płytą przezroczystą (szkło lub tworzywo). We wnętrzu jest umieszczony absorber wykonany z płaskiej płyty z kanałami, przez które przepływa czynnik roboczy. Kanały najczęściej stanowią integralną część płyty absorbera (rys. 4 a), przylutowane do płyty absorbera (rys. 4 b). Obecnie najczęściej stosowane są kolektory próżniowe (rys. 4 c), w których elementy absorbera z kanałami przepływowymi umieszczone są wewnątrz szklanych rur z wysoką próżnią.

Zasada działania kolektora słonecznego polega na wykorzystaniu efektu cieplarnianego (rys. 5). Podstawowym elementem kolektora jest absorber pochłaniający energię promieniowania słonecznego. Szklane przekrycie absorbera jest w dużym stopniu przepuszczalne dla krótkofalowego promieniowania słonecznego, natomiast w znacznie mniejszym dla



Rys. 5. Płaski rurowy cieczowy kolektor energii promieniowania słonecznego – przekrój poprzeczny

promieniowania długofalowego emitowanego przez absorber. W wyniku złożonych zjawisk wymiany ciepła zachodzących w przestrzeni między szklaną płytą a absorberem wzrasta temperatura powierzchni absorbującej. Zależnie od gęstości promieniowania, strat ciepła i aktualnych warunków odbioru ciepła przez czynnik roboczy ustala się temperatura równowagi, przy której strumienie dopływającej do absorbera energii równoważą strumienie energii odpływającej.

Istnieje wiele różnych schematów układu rur dla przepływu czynnika w absorberach kolektorów słonecznych, których dwa przykłady ilustruje rys. 6.

Kolektory słoneczne są instalowane na dachu zwróconym w kierunku południowym lub z niewielkim odchyleniem od tego kierunku. Istotny jest także kąt nachylenia kolektora, który bardzo często jest uwarunkowany istniejącym już nachyleniem połaci dachu. Na powierzchni gruntu lub na dachu poziomym kolektory umieszcza się na konstrukcji stalowej o odpowiednim nachyleniu. Przy projektowaniu nowego budynku można nachylenie dachu odpowiednio dostosować do ustawienia kolektora słonecznego.

Kolektor rurowy próżniowy z rurami ciepła ma budowę podobną do typowego próżniowego rurowego kolektora, przy czym płyta absorbera jest połączona z rurami cieplnymi, wypełnionymi cieczą chłodniczą o temperaturze parowania (30–60°C). Kolektory z rurami ciepła efektywnie funkcjonują nawet przy niewielkim nasłonecznieniu i przy niskiej temperaturze powietrza atmosferycznego, dlatego też są szczególnie zalecane w układach ogrzewania w warunkach klimatycznych Polski [16].

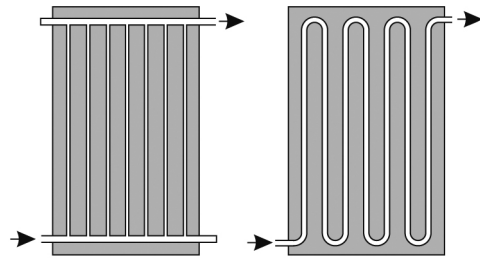
W strefie klimatycznej Polski celowe jest stosowanie przede wszystkim płaskich kolektorów energii słonecznej do podgrzewania wody użytkowej, wody w basenach kąpielowych oraz powietrza, wykorzystywanych następnie do ogrzewania pomieszczeń.

2.2.2. Wykorzystanie aktywnych systemów słonecznych

Według [99] kolektory słoneczne w polskich warunkach klimatycznych są lub mogą być stosowane w następujących dziedzinach:

- suszarnictwo: dosuszanie siana, dosuszanie ziarna zbóż i roślin niezborowych, suszenie owoców i warzyw, suszenie ziół, suszenie wierzby, trocin;
- produkcja zwierzęca: podgrzewanie wody użytkowej do celów sanitarnych, przygotowania pasz, pojenia zwierząt, ogrzewanie budynków inwentarskich;
- hodowla ryb: podgrzewanie wody w stawach rybnych;
- budynki mieszkalne i produkcyjne: ogrzewanie pomieszczeń, podgrzewanie wody użytkowej, podgrzewanie wody w basenach, a także szklarnie, hale, magazyny.

Wykorzystanie aktywnych systemów energetyki słonecznej, mimo ciągłego wzrostu efektywności energetycznej, jest stosunkowo niewielkie. Najczęściej są stosowane w budownictwie jednorodzinnym, pokrywając ok. 30% zapotrzebowania na ciepło (cwu i co) w budynkach. Coraz więcej słonecznych systemów ogrzewania instaluje się także w dużych budynkach mieszkalnych wielorodzinnych. Instaluje się również wielkogabarytowe systemy słoneczne współpracujące z osiedlowymi i miejskimi



Rys. 6. Przykłady układów rur w absorberach płaskich kolektorów słonecznych [99]

sieciami ciepłowniczymi. Ze względu na działania administracyjne na rzecz wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych ocenia się, że w najbliższych latach w budownictwie nastąpi znaczący rozwój zastosowania techniki słonecznej.

Kolektory słoneczne są wykorzystywane głównie do podgrzewania ciepłej wody użytkowej. W Polsce jest to 98% zastosowanych instalacji w budynkach. W Europie stanowią one 90% instalacji, a pozostałe 10% stanowią małogabarytowe instalacje do podgrzewania ciepłej wody użytkowej i ogrzewania w budownictwie jednorodzinym (6%) oraz instalacje wielkogabarytowe cwu i co w zabudowie wielorodzinnej, skojarzone z osiedlowymi i centralnymi sieciami ciepłowniczymi (4%) [16]. Charakterystyczną wielkością kolektorowych systemów słonecznych stosowanych w budynkach jest wskaźnik pozyskania energii na jednostkę zainstalowanej mocy, który w klimacie środkowoeuropejskim zawiera się w granicach 500–1000 kWh/kW.

Występuje wiele odmian aktywnych systemów słonecznych, zależnie od warunków nasłonecznienia występujących w miejscu lokalizacji budynku oraz spełnianej przez nie funkcji i sposobu wykorzystania energii. Dlatego rodzaj systemu, poziom techniczny rozwiązania instalacji i jej wyposażenie powinny być dostosowane do potrzeb odbiorców i funkcji spełnianej w systemie ogrzewania.

Średnia efektywność pozyskiwania ciepła z energii promieniowania słonecznego w sezonie grzewczym zależy od temperatury czynnika stosowanego w systemie ogrzewania. Im niższa jest temperatura tego czynnika, tym wyższa jest efektywność energetyczna całego systemu. Nowe rozwiązania techniczne w budownictwie i energetyce słonecznej (ogrzewanie płaszczyznowe) umożliwiają bardzo efektywne ogrzewanie pomieszczeń przy wykorzystaniu niskotemperaturowych systemów grzewczych.

Przy realizacji przedsięwzięcia termomodernizacyjnego budynku niezbędne jest dostosowanie istniejącej instalacji ogrzewania do współpracy z nowym systemem przez odpowiednie zwiększenie powierzchni wymiany ciepła istniejących grzejników lub konieczna jest całkowita przebudowa instalacji istniejącej na system wykorzystujący niskotemperaturowy czynnik grzewczy.

2.2.3. Przykłady aktywnych systemów słonecznych

Promieniowanie słoneczne jest źródłem energii dostępnym okresowo, natomiast zapotrzebowanie na energię występuje również w czasie braku promieniowania słonecznego. Stąd

potrzeba magazynowania energii i budowy odpowiednich instalacji. Typową słoneczną instalację energetyczną, wyposażoną w układ magazynowania ciepła, ilustruje schemat przedstawiony na rys. 7 [99]. Ciepło pozyskiwane z kolektorów słonecznych może być magazynowane w formie przyrostu entalpii cieczy lub ciał stałych.

Najprostsza instalacja grzewcza z obiegiem wodnym nie różni się w sposób zasadniczy od instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej. Zapotrzebowanie na ciepło grzewcze jest zwykle kilkakrotnie większe niż do przygotowania cwu, dlatego w instalacjach ogrzewania z jednoczesnym przygotowaniem ciepłej wody dogodniejsze jest wydzielenie do tego celu odrębnego układu. Przedstawiona konstrukcja może być rozbudowana do współpracy na przykład z kotłem do podgrzewania wody.

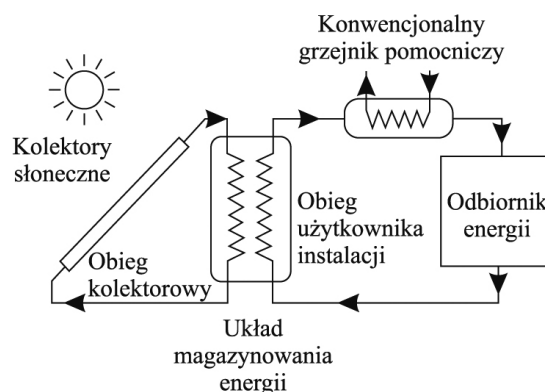
Rozwiązaniem alternatywnym do systemu tradycyjnego może być wykorzystanie innego odnawialnego źródła energii (gruntu, ciekłego wodnego, powietrza atmosferycznego) w układzie z pompą ciepła (rys. 8). Zastosowanie znajdują sprężarkowe pompy ciepła, które dzięki energii elektrycznej pobieranej na napęd sprężarki zapewniają możliwość przekazania ciepła ze źródła o temperaturze niższej do czynnika o temperaturze wyższej. Układy czerpiące energię z różnych źródeł odnawialnych są nazywane układami hybrydowymi.

Układ szeregowy (rys. 8) jest typowym rozwiązaniem stosowanym w ciekowych instalacjach grzewczych, w których pompa ciepła jest elementem pośredniczącym między zbiornikiem magazynującym a instalacją ogrzewania w budynku. W takim układzie w sprzyjających warunkach nasłonecznienia energia do ogrzewania budynku może być pobierana z pominięciem pompy ciepła. W układach szeregowych alternatywnym źródłem energii jest najczęściej energia gruntu, wówczas parownik pompy ciepła może być ogrzewany za pośrednictwem takich czynników, jak solanka lub wodny roztwór glikolu, przepływających przez gruntowy wymiennik ciepła.

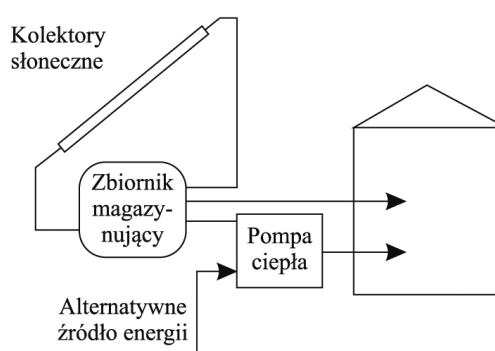
Budowa indywidualnych słonecznych instalacji ogrzewania nie wymaga wydzielenia dodatkowych terenów na instalację kolektorów. Podobnie jak w przypadku systemów fotowoltaicznych oddziaływanie na środowisko systemów fototermicznych jest niewielkie jedynie w instalacjach małej mocy instalowanych na potrzeby małych odbiorców. W przypadku dużych instalacji słonecznych (elektrownie) podczas budowy i eksploatacji występuje wiele problemów wymagających rozwiązania.

2.3. Bierne wykorzystanie energii słonecznej

Warunki cieplne kształtujące się wewnątrz budynku są wypadkową „odpowiedzi” konstrukcji budynku i jego systemu grzewczo-wentylacyjnego na zmieniające się warunki zewnętrzne zależne od temperatury powietrza, promieniowania słonecznego, opadów, przepływu wilgoci w przegrodach, prędkości i kierunku wiatru. Poszczególne elementy budynku, w zależności od ich orientacji w przestrzeni i parametrów cieplnych, reagują odmiennie na zmianę warunków zewnętrznych. Dlatego każdy projekt pasywnej instalacji słonecznej powinien być poprzedzony analizą lokalnych warunków klimatycznych (temperatura, prędkość i kierunek wiatrów, rozkład czasowy promieniowania słonecznego i jego charakter, stopień



Rys. 7. Schemat typowej energetycznej instalacji słonecznej [99]

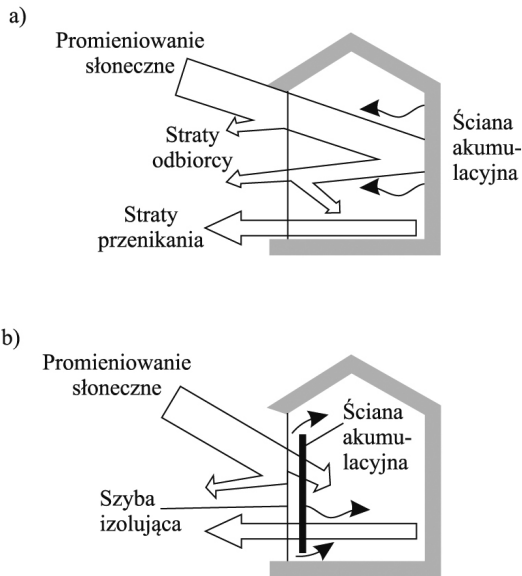


Rys. 8. Słoneczna instalacja grzewcza z pompą ciepła w układzie szeregowym [99]

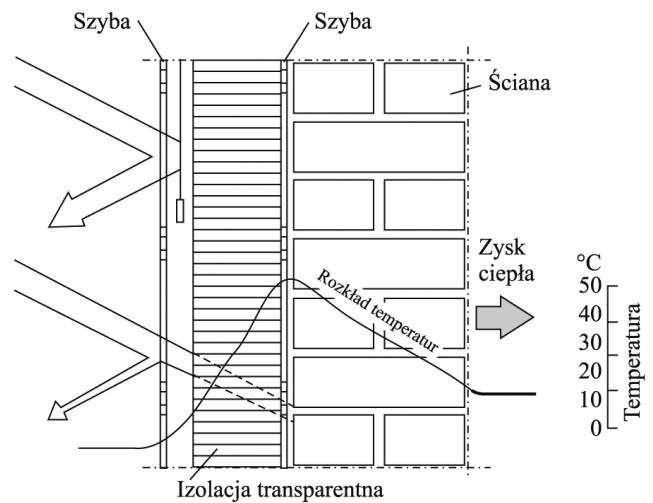
zachmurzenia, miejscowe zanieczyszczenia atmosfery). Niezbędna jest również analiza potrzeb energetycznych budynku i możliwości pozyskania energii, a w szczególności – zależność między chwilowymi stratami i zyskami przy założonej konstrukcji budynku.

System zysków bezpośrednich jest najprostszym pasywnym systemem ogrzewania. Przeszklona całkowicie lub w większej części południowa ściana pomieszczenia umożliwia bezpośredni dopływ promieniowania słonecznego do wnętrza, gdzie podlega przemianom w ciepło i w postaci energii wewnętrznej jest magazynowana w przeciwległych ścianach i podłodze, a także w znajdujących się w pomieszczeniu przedmiotach. Zmagazynowana w ten sposób energia jest częściowo przekazywana do powietrza w pomieszczeniach. Elementem integralnym takiej instalacji (rys. 9 a) jest okap utrudniający przegrzewanie pomieszczenia w okresie letnim, a nie stanowiący przeszkody dla promieniowania zimą. Stosuje się zabezpieczenia pomieszczeń (np. rolety) przed utratą energii w godzinach nocnych.

W systemach zysków pośrednich wzrost temperatury w pomieszczeniach jest w dużym stopniu zgodny w fazie z okresem występowania promieniowania słonecznego i wzrostem temperatury otoczenia (rys. 9 b). Efektem są bardzo duże wahania temperatury w ciągu doby, mimo stosowania dodatkowych przesłon izolacyjnych na przeszklonej ścianie w godzinach nocnych i dniach bezsłonecznych. Dlatego w budownictwie



Rys. 9. Zasada działania systemu zysków [99]: a) bezpośrednich, b) pośrednich ze ścianą kolektorowo-akumulacyjną



Rys. 10. Budowa panelu ogrzewania pasywnego wykorzystującego izolację komórkową [99]

systemy zysków bezpośrednich zwykle uzupełniają inne słoneczne lub tradycyjne systemy grzewcze.

Efektywnym sposobem złagodzenia dużych zmian temperatury występujących w systemie zysków bezpośrednich jest odizolowanie wnętrza budynku od bezpośredniego promieniowania słonecznego za pomocą układu magazynującego w postaci masywnej ściany i przesunięcie czasowe okresu dostarczania energii do pomieszczenia na późniejsze godziny doby. Konstrukcja, w której wykorzystuje się powyższy efekt, charakteryzująca się istnieniem szczeliny wentylacyjnej między nasłonecznioną powierzchnią ściany a szybami osłaniającymi, znana jest jako ściana kolektorowo-akumulacyjna (ściana Trombe'a) (rys. 10) [99].

W ścianie Trombe'a promieniowanie słoneczne przechodzi przez pokrycia szklane i jest absorbowane przez ciemną powierzchnię ściany akumulacyjnej, powodując wzrost jej temperatury. W przypadku otwarcia kanałów łączących ogrzewane pomieszczenie ze szczeliną między szybą a ścianą, przy sprzyjających warunkach nasłonecznienia wystąpi przepływ powietrza przez szczelinę. Odpowiednio dobrane do lokalnych warunków klimatycznych grubość i pojemność cieplna ściany umożliwiają przekazywanie zakumulowanej w niej energii drogą przewodzenia w kierunku pomieszczenia z odpowiednim przesunięciem fazowym względem godzin operacji słonecznej, a przez dławienie przepływów w kanałach wentylacyjnych można regulować temperaturę pomieszczenia w godzinach dziennych. Do wnętrza pomieszczenia zasysane jest wówczas chłodniejsze powietrze z północnej zacienionej strony budynku lub pobierane z gruntowego wymiennika ciepła.

Stosuje się również system zysków bezpośrednich z przeszkloną werandą, zabezpieczających przed utratą zmagazynowanej energii w godzinach nocnych.

Pasywne instalacje ogrzewania budynków wprowadzają ryzyko pogorszenia jakości powietrza wewnątrz pomieszczeń.

W ogrzewaniu biernym na ogół wymaga się szczelności obiegu powietrza będącego nośnikiem energii, czyli w czasie pracy instalacji budynek wymaga systemu wentylacji z odpowiednim układem automatyki.

Ściana kolektorowo-akumulacyjna wykorzystywana w budynkach najczęściej jest budowana z zastosowaniem izolacji transparentnej komórkowej typu plaster miodu (rys. 10). Pokazany na rysunku rozkład temperatury w przegrodzie (bez izolacji komórkowej i z jej zastosowaniem) wskazuje na znaczne podwyższenie temperatury przegrody, co dowodzi zasadności zastosowania izolacji komórkowej. Roleta z opuszczaną w godzinach nocnych kotarą dodatkowo zabezpiecza przed utratą energii zmagazynowanej w ścianie w ciągu dnia, natomiast przy dużym nasłonecznieniu nie dopuszcza do przegrzania budynku.

W środkowoeuropejskich warunkach klimatycznych układ przedstawiony na rys. 10 w najprostszym wykonaniu może dostarczyć do ogrzewanego budynku ok. 40 kWh/(m² · rok) energii. Przykładem obiektu, w którym wykorzystuje się izolacje transparentne, jest eksperymentalny samowystarczalny energetycznie budynek mieszkalny we Freiburgu (Niemcy) [99].

Wszystkie potrzeby energetyczne tego budynku pokrywa energia ze źródeł odnawialnych, która pochodzi z czterech niezależnych układów:

- systemu zysków bezpośrednich (przez okna po stronie południowej);
- ścian kolektorowo-akumulacyjnych z izolacją transparentną (70 m²);
- gruntowego wymiennika ciepła (podgrzewanie wstępne);
- pomocniczego podgrzewacza zasilanego wodorem uzyskanym z elektrolizy wody energią elektryczną z ogniw fotowoltaicznych (w okresie letnim);
- odzysku do 85% ciepła z powietrza wentylacyjnego usuwanego na zewnątrz ($n = 0,5$ l/h).

Budynek ma układ umożliwiający sezonowe magazynowanie energii. W okresie letnim, przy braku zapotrzebowania na energię i przy dużym nasłonecznieniu, energia elektryczna z ogniw fotowoltaicznych jest częściowo gromadzona w akumulatorach, a jej nadmiar służy do elektrolizy wody. Wodór i tlen uzyskiwane z elektrolizy są gromadzone w zbiornikach. Sieć elektryczna budynku jest zasadniczo zasilana z ogniw fotowoltaicznych i akumulatorów. Może być też pozyskiwana z ogniw paliwowych wodorowych. Ciepło odzyskiwane z układu chłodzenia ogniw paliwowych wspomaga przygotowanie ciepłej wody użytkowej.

Układ cwu składa się z kolektorów słonecznych dwustronnie opromieniowanych z izolacją transparentną oraz zbiornika magazynującego o pojemności 1000 litrów. Kolektory słoneczne oraz panele fotowoltaiczne są umieszczone na nachylonej pości dachowej.

Roczne zapotrzebowanie na energię do ogrzewania kształtuje się na poziomie od 12 do 15 kWh/(m²·rok) oraz ok. 45 kWh/(m²·rok) na pozostałe potrzeby. Jednak niektóre rozwiązania techniczne zastosowane w instalacjach byłyby jeszcze obecnie bardzo kosztowne i zapewne w najbliższych latach nie zostaną rozpowszechnione.

Obiektami, które zapewniają szczególnie efektywne wykorzystanie energii słonecznej, są budynki pasywne.

2.4. Wykorzystanie systemów fotowoltaicznych

W Polsce rozwój zastosowania ogniw fotowoltaicznych do 2014 r. był stosunkowo niewielki. Od września 2013 r. obowiązuje nowelizacja ustawy *Prawo energetyczne*, która umożliwia podłączenie systemu fotowoltaicznego do sieci elektroenergetycznej bez potrzeby uzyskiwania zezwoleń. Dało to impuls do zwiększenia zastosowania systemów fotowoltaicznych. Systemy fotowoltaiczne są stosowane przede wszystkim jako trwałe, o dużej niezawodności źródła energii elektrycznej w elektrowniach słonecznych, obiektach budowlanych, kalkulatorach, zegarkach, satelitach, samochodach z napędem hybrydowym, w automatyce, jako czujniki fotoelektryczne i fotodetektory w fotometrii. Wśród znanych innych zastosowań można wymienić:

- elektronika użytkowa, kalkulatory, lampy ogrodowe, oświetlenie znaków drogowych, wspomaganie sygnalizacji świetlnej;
- zasilanie elektroniki sond i promów kosmicznych, stacji orbitalnych, sztucznych satelitów Ziemi;
- doładowanie akumulatorów w dzień i wykorzystywanie w nocy, na przykład na kempingach, jachtach;
- zasilanie układów telemetrycznych w stacjach pomiarowo-rozliczeniowych energii elektrycznej, gazu ziemnego;
- zasilanie układów automatyki przemysłowej i układów pomiarowych.

Układy fotowoltaiczne mogą pracować wyłącznie z udziałem światła słonecznego, a więc tylko w ciągu dnia. Dlatego ich zastosowanie jako samodzielnie funkcjonujących rozwiązań w wielu przypadkach w przemyśle i budownictwie nie jest wystarczające. Niezbędne jest uzupełnianie energii z innych źródeł, na przykład energią elektryczną z sieci energetycznej czy gazu ziemnego lub płynnego.

Sprawność ogniw fotowoltaicznych dochodzi do 21%, co w przypadku klasycznych ogniw jest wynikiem zbliżonym do

Tabela 1. Produkcja energii elektrycznej przez system PV o mocy 1 kW w okolicach Katowic w kWh

	kWh	%
Styczeń	31,0	3,4
Luty	44,2	4,8
Marzec	84,0	9,1
Kwiecień	108,0	11,7
Maj	115,6	12,5
Czerwiec	111,3	12,1
Lipiec	111,3	12,1
Sierpień	110,1	11,9
Wrzesień	85,8	9,3
Październik	59,5	6,5
Listopad	35,1	3,8
Grudzień	26,0	2,8

teoretycznego maksimum tej technologii. Jednak w praktycznych zastosowaniach ich sprawność wynosi 15–18%, aczkolwiek ciągle dąży się do jej zwiększenia.

W celu scharakteryzowania ilości energii elektrycznej uzyskiwanej z systemów fotowoltaicznych w poszczególnych miesiącach w tabeli 1 podano odpowiednie dane liczbowe ilustrujące możliwości systemu PV o mocy 1 kW dla okolic Katowic (dane pobrane w dniu 4.11.2016 r. ze strony internetowej [w5]).

Z powyższych danych wynika, że roczny uzysk energii elektrycznej z systemu PV o mocy 1 kW wynosi 922 kWh, przy czym 60% tej energii uzyskuje się w ciągu pięciu miesięcy w okresie wiosenno-letnim (od kwietnia do sierpnia). W miesiącach grudzień i styczeń produkcja jest najniższa (wynosi ok. 3%), co świadczy o dużej nierównomierności uzysku energii z systemów PV w ciągu roku (2,8–12,5%).

W Polsce najczęściej zastosowanie znalazły układy z instalacją zamontowaną na dachu budynków lub na gruncie niezacienionym wraz z regulatorami ładowania, akumulatorami oraz inwertorem napięcia stałego na napięcie sieciowe 230 V. Obecnie po wprowadzeniu nowelizacji prawa energetycznego układy z kosztownym akumulatorem nie będą musiały być wszędzie stosowane. Jedynie wtedy, gdy miejsce zainstalowania układu fotowoltaicznego jest w znacznej odległości od sieci elektroenergetycznej. Dlatego systemy sieciowe stają się obecnie bardzo popularne.

Ze względu na możliwość znacznych wahań cen odsprzedaży energii do sieci elektroenergetycznej instalacje fotowoltaiczne najkorzystniej jest budować, gdy istnieje możliwość jak największego wykorzystania energii wytworzonej w instalacji na potrzeby obiektu, w którym ją zainstalowano.

2.5. Systemy fotowoltaiczne zintegrowane z budynkiem

Obecnie systemy fotowoltaiczne (PV) znajdują coraz większe zastosowanie. Obserwowany rozwój techniki produkcji ogniw i modułów fotowoltaicznych, szczególnie wzrost ich wydajności, trwałości, odporności na warunki klimatyczne oraz możliwości zmiany barwy i kształtu sprawił, że systemy te stają się atrakcyjnymi elementami architektonicznymi w budynkach. Doprowadziło to do powstania fotowoltaiki zintegrowanej z architekturą

(*Building Integrated Photovoltaics*, BIPV) [96]. Powstały możliwości rozwoju niekonwencjonalnych rozwiązań budowlanych w powiązaniu z zaopatrzeniem w energię elektryczną, co zapewne w przyszłości doprowadzi do modyfikacji struktury sieci zasilających. Budynki i elementy miejskiej zabudowy mogą być wykorzystane jako konstrukcja nośna dla ogniw słonecznych bez potrzeby przewidywania dodatkowego miejsca na instalację. Przy tym zdecydowanie skraca się odległość między wytwórcą energii elektrycznej a jej odbiorcą. Zasoby budowlane zapewniają na dachach budynków przestrzeń niezbędną do instalowania paneli fotowoltaicznych w celu produkcji energii elektrycznej.

Korzyści wynikające z zasilania w energię elektryczną za pomocą systemów PV zamiast zasilania tradycyjnego są następujące [96]:

- system może być zaprojektowany z dostosowaniem do potrzeb lokalnych odbiorców;
- moduły fotowoltaiczne zintegrowane z dachami lub fasadami budynków nowych mogą zastąpić tradycyjne materiały budowlane, szczególnie wykończeniowe, zmniejszając koszt instalacji fotowoltaicznych;
- w projektach nowoczesnej architektury moduły słoneczne mogą być wykorzystane w celu uzyskania ciekawych efektów wizualnych.

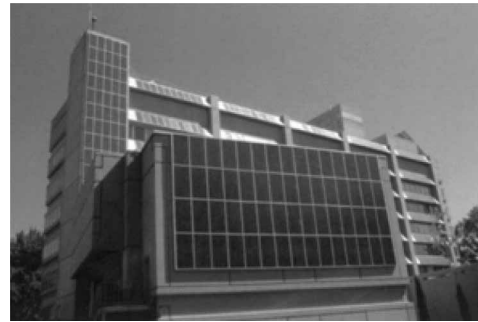
Rozwój techniki, zmniejszające się koszty elementów modułów fotowoltaicznych oraz łatwo dostępne zasoby energii promieniowania słonecznego prowadzą do powstawania coraz tańszych rozwiązań i możliwości ich zastosowania. Zrealizowane systemy dowodzą, że możliwa jest uzasadniona ekonomicznie integracja modułów fotowoltaicznych z budynkami, do czego przyczynia się wciąż poszerzana oferta rynkowa.

W wielu budynkach mieszkalnych i budynkach użyteczności publicznej na świecie korzysta się obecnie z systemów fotowoltaicznych do pokrycia częściowego lub całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną. Systemy te instaluje się na dachach domów jednorodzinnych lub na fasadach budynków, gdyż właśnie te miejsca, ze względu na dostępną powierzchnię i stopień nasłonecznienia, są odpowiednie do zainstalowania modułów PV.

Moduły PV zastępują konwencjonalne materiały pokryć dachowych i przejmują ich funkcje. Mogą być projektowane jako izolacja szklana ze współczynnikiem przenikania ciepła $1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ tak, aby zachować odpowiednią izolacyjność cieplną w każdych warunkach. Poszczególne ogniwa pochłaniają ok. 50% promieniowania, a ich sprawność dochodzi do ok. 23%.

Elementy fotowoltaiczne mogą całkowicie zastąpić tradycyjne materiały budowlane, w szczególności przy wymianie starych pokryć. Przykładem może tu być renowacja ambasady USA w Genewie (2005 r.) – 20-letni budynek wyposażono w nowoczesny system fotowoltaiczny (rys. 11). Zarówno dach, jak i fasadę budynku przekształcono w małą elektrownię słoneczną z zastosowaniem różnych rozwiązań fotowoltaiki w architekturze.

Stosowane panele fotowoltaiczne wzajemnie dopełniają się z wieloma materiałami i techniką budowlaną. Zwłaszcza fasady budynków, tarasy, skośne powierzchnie i dachy przepuszczające



Rys. 11.
Ambasada USA w Genewie po renowacji z wykorzystaniem modułów fotowoltaicznych [96]



Rys. 12.
Systemy fotowoltaiczne na fasadzie budynku Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej [96]

światło są istotne przy projektowaniu architektonicznym w powiązaniu z zaopatrzeniem w energię elektryczną. Pełna integracja systemu fotowoltaicznego z budynkiem, w sensie nie tylko techniczno-architektonicznym, ale również w produkcji energii elektrycznej i efektywnego jej wykorzystania, wymaga uwzględnienia aspektów konstrukcyjnych w powiązaniu z budową systemów elektronicznych i elektroenergetycznych.

W Polsce jednym z pierwszych systemów fotowoltaicznych zintegrowanych z architekturą budynku są systemy o mocy 56,0 kW i powierzchni ok. 550 m² zainstalowane na fasadzie i dachu budynku Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej (2007 r.) [96]. Zainstalowane moduły są wykonane w dwóch technologiach: krzemu amorficznego i multi-kryształicznego (dwóch różnych producentów). Przedsięwzięcie zostało zaprojektowane i zrealizowane przez Centrum Fotowoltaiki Politechniki Warszawskiej (rys. 12).

Moduły fotowoltaiczne zintegrowane z budynkami charakteryzują się możliwością różnych zastosowań, pozwalających na uzyskiwanie rozwiązań architektoniczno-budowlanych interesujących zarówno z punktu widzenia estetycznego, jak i użytkowego.

Produkcja ogniw fotowoltaicznych charakteryzuje się dużą energochłonnością [96, 99], przy obecnie osiąganym sprawności 8% i żywotności 20 lat. Ze względu na małą dyspozycyjność systemów fotowoltaicznych (15–25%) ich przyłączenie do sieci elektroenergetycznej wiąże się z poważnymi problemami. ■

Bibliografia dostępna pod linkiem: nis.com.pl/bibliografia.html

Fragment pochodzi z książki:

Efektywność energetyczna w działalności gospodarczej,

Jan Górzyński,

Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017