

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W BUDYNKU W POLSKICH WARUNKACH KLIMATYCZNYCH

POSSIBILITIES OF USE SOLAR RADIATION IN BUILDING IN POLISH CLIMATE CONDITIONS

K. Różycki

Instytut Techniki Ciepłej, MEiL Politechnika Warszawska,
Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Warszawa, Polska

STRESZCZENIE

W niniejszym artykule podjęto próbę kompleksowego opisu możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego w polskich warunkach klimatycznych. Na początku wytłumaczono dlaczego należy w coraz większym stopniu zastępować konwencjonalne źródła energii źródłami odnawialnymi, szczególnie w budynkach. Następnie opisano dlaczego jednym z najbardziej perspektywicznych rozwiązań jest wykorzystanie energii promieniowania słonecznego oraz wskazano jej zalety i wady. Przedstawiono sposoby konwersji takiej energii na ciepło i energię elektryczną oraz opisano wybrane możliwości jej zastosowania w budynkach. Dzięki znajomości obecnej sytuacji na rynku oraz dostępnych technologii, projektowanie instalacji słonecznych jeszcze na etapie projektu budynku pozwala znacznie obniżyć koszty całego systemu i może stać się bardzo korzystne, nie tylko w kwestiach ekologicznych, ale również finansowych.

ABSTRACT

This article is an attempt of comprehensive description of the possibilities of using solar radiation in Polish conditions. At the beginning, it explains why we should substitute more and more conventional sources of energy with renewable sources, especially in buildings. Next part describes why solar radiation is one of the most perspective solutions of use energy and it indicates its advantages and disadvantages. This article explains how to convert this energy into heat and electricity and describes some possibilities how to use it in buildings. Knowledge of the current situation in the market and the available technologies can allow us to design solar installations even at the design stage of the building. This is turn significantly reduces costs of the system and it can become very beneficial, not only on environmental issues, but also on financial issues.

WPROWADZENIE

Wiek XVIII i XIX to czas rewolucji przemysłowej, będącej okresem gwałtownego rozwoju technologii i gospodarki oraz wielu innych zmian, przede wszystkim społecznych. Cały proces został podyktowany koniecznością zaspokojenia potrzeb stale

rosnącej liczby ludności. Nałożenie się tych wszystkich czynników w jednym czasie, spowodowało wzrost zapotrzebowania na energię na skalę dotąd nieznaną.

Paliwa konwencjonalne

Od czasów rewolucji przemysłowej podstawowym, wydawać by się mogło niezastąpionym, źródłem energii są surowce kopalne, głównie węgiel. Do grona paliw konwencjonalnych dołączyły również między innymi gaz ziemny oraz ropa naftowa. Tylko te trzy nośniki energii stanowią ponad 80% (Popkiewicz, 2015) światowego zapotrzebowania na energię. Polska jest jeszcze bardziej uzależniona od paliw kopalnych, głównie węgla. Według danych GUS-u (Główny Urząd Statystyczny, 2015) w naszym kraju udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w roku 2014 wyniósł tylko 11,45% (z czego tylko około 0,21% pochodziło z konwersji promieniowania słonecznego). Nieodnawialne źródła energii mają jednak podstawową wadę, kiedyś się skończą. Choć dzięki wieloletnim praktykom obecne koszty związane z wydobyciem paliw, przetworzeniem ich oraz przesłaniem do odbiorcy końcowego są relatywnie niskie, w związku z coraz trudniejszym dostępem do złóż, zauważalny jest stopniowy wzrost cen energii. Jednym z negatywnych aspektów produkcji takiej energii jest również niekorzystny wpływ na człowieka i środowisko, związany z emisją wielu szkodliwych gazów i cząstek stałych (Foit, 2013).

Dlaczego odnawialne źródła energii?

Zarówno wymienione powyżej, jak i pozostałe wady energetyki konwencjonalnej, połączone ze wzrostem świadomości ekologicznej człowieka, sprawiają że próbuje się znaleźć alternatywne źródła energii. Odpowiedzią na poszukiwania stają się odnawialne źródła energii (oZE). Przede wszystkim odnawiają się one w stosunkowo krótkim czasie. Dodatkowymi zaletami są dużo mniejszy wpływ na środowisko w porównaniu ze spalaniem nośników konwencjonalnych obojętność dla środowiska oraz cena nośnika energii, która jest znacznie niższa niż w przypadku paliw kopalnych (biomasa) lub nawet

darmowa (np. słońce, wiatr). Przewiduje się, że w ciągu kilku najbliższych lat odnawialna energia będzie konkurencyjna nie tylko ze względu na jej obecne zalety, ale także ze względu na cenę (Zimny, 2010). Już teraz są rejony na świecie, w których energia wyprodukowana z odnawialnych źródeł energii osiągnęła poziom cen energii jak z nośników tradycyjnych, tzw. „grid parity”. Stosowanie odnawialnych źródeł energii jest próbą dążenia do samowystarczalności energetycznej zarówno w skali mikro (domy jednorodzinne), jak i makro (kraje) oraz chęcią uniezależnienia się od nieodnawialnych źródeł. Obecnie, ze względu na wysokie koszty związane z magazynowaniem energii oraz niestałość jej dostaw, ciężko jednak wyobrazić sobie korzystanie tylko z oze, bez wsparcia źródeł konwencjonalnych.

Odnawialne źródła energii w budynkach

W ciągu wielu lat struktura zużycia energii zmieniała się. W Polsce w 2013 wg danych GUS-u (Główny Urząd Statystyczny, 2014) zużycie energii elektrycznej w sektorze gospodarstw domowych (łącznie z gospodarstwami domowymi rolników) stanowiło prawie 19% łącznej energii. W przypadku zużycia ciepła wartość ta sięgała 38%. Polska należy do Unii Europejskiej (UE) i będąc jednym z członków zobowiązała się do poprawy efektywności energetycznej.

Zmniejszając zapotrzebowanie na energię w skali mikro (w budynku), zmniejsza się ono również w skali makro (kraj, UE). Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii pozwala ograniczyć zapotrzebowanie na energię pierwotną. Do odnawialnych źródeł energii zaliczamy energię słoneczną, biomasę i biogaz, wiatrową, wodną oraz geotermię. Wyżej wymienione źródła energii, znajdują zastosowanie w budynkach, dlatego też warto dokładnie się przyjrzeć każdemu z osobna. W niniejszym artykule przedstawiono tylko wykorzystanie energii promieniowania słonecznego, które jest jednym z najbardziej perspektywicznych.

ENERGIA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

Energia z promieniowania słonecznego ma największy potencjał pośród odnawialnych źródeł energii. Wszystkie odnawialne źródła energii są pochodną energii ze Słońca (poza geotermią oraz prądami morskimi i oceanicznymi). Można ją wykorzystać na wiele sposobów, zarówno do zaspokojenia potrzeb na ciepło, jak i energię elektryczną. Energia słoneczna ma pewne wady. Największą jest zmienne w czasie natężenie promieniowania słonecznego, zarówno w ciągu doby, jak i w ciągu roku. Ze względu na brak przewidywalności utrudnione jest planowanie wykorzystania tej energii. Pomimo stosunkowo wysokich kosztów inwestycyjnych, wykorzystanie energii słonecznej, szczególnie w budynkach, jest coraz

dynamicznie rozwijającym się sektorem branży energetycznej.

Podstawowe parametry

Wartość docierającej do instalacji słonecznej energii ze Słońca, zależy przede wszystkim od szerokości geograficznej, pory dnia i roku, ukształtowania terenu oraz od stanu powietrza. Energia ta jest scharakteryzowana przez wiele parametrów. Jednym z ważniejszych, który bezpośrednio przekłada się na możliwość do wykorzystania energii jest natężenie promieniowania słonecznego, będące gęstością energii promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię w danym czasie. Kolejnym parametrem jest stała słoneczna, która określa wartość natężenia promieniowania jakie dociera do zewnętrznych warstw atmosfery. Zgodnie z Polską Normą PN-EN ISO 9488 jej wartość wynosi $1367 \text{ [W/m}^2] \pm 7 \text{ [W/m}^2]$ (Polski Komitet Normalizacyjny, 2002). Samo promieniowanie słoneczne dzieli się na bezpośrednie (mające największe znaczenie dla uzyskanej energii w instalacjach słonecznych), rozproszone (którego udział średnioroczny w Polsce to około 50%, przy czym w grudniu może sięgać nawet 72% (Jastrzębska, 2007) oraz odbite. Przechodząc przez atmosferę, pojawiają się pewne straty związane między innymi z napotkaniem cząsteczek (O_2, O_3), pyłów i innych zanieczyszczeń, przez co wartość która może dotrzeć do instalacji słonecznych jest znacznie niższa. Przyjmuje się, że gęstość promieniowania słonecznego na terenie Polski znajduje się w granicach od 900 do 1200 kWh/m² (Nantka, 2014). Warto zaznaczyć, że w naszym kraju panują warunki meteorologiczne zbliżone do niemieckich, a Niemcy to państwo przodujące w wykorzystaniu energii promieniowania słonecznego – szczególnie w budownictwie.

Bierne systemy słoneczne

Energię z promieniowania słonecznego, na cele grzewcze budynku, można wykorzystać w sposób bierny bądź aktywny. Systemy bierne, zwane inaczej pasywnymi, pozyskują energię, dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu obudowy budynku oraz doborze materiałów. Istotne są również odpowiednia lokalizacja budynku, jego ukierunkowanie względem stron świata, odległość od najbliższych zabudowań oraz wykorzystanie odpowiednich przegród oszklonych, pełnych czy transparentnych (Nantka, 2014). Zmieniające się warunki pogodowe, wpływają na dostępność promieniowania słonecznego. Najczęściej stosowaną klasyfikacją systemów pasywnych jest podział na systemy zysków pośrednich i bezpośrednich (Chwieduk, 2011 oraz Albers et al., 2007).

System zysków bezpośrednich

System zysków bezpośrednich, jak sama nazwa wskazuje, bezpośrednio wykorzystuje energię, która dotrze do pomieszczeń budynku. Jest to bardzo powszechnie stosowana metoda, gdyż system taki posiada każde pomieszczenie, w którym znajduje się przegroda przeszklona. Zdecydowaną zaletą takich rozwiązań jest prostota i niska cena. Promieniowanie

słoneczne przedostaje się przez przegrody przezroczyste do środka budynku a następnie jest akumulowane w przegrodach wewnętrznych i innych elementach wewnętrznych. Gdy temperatura w pomieszczeniu zacznie się obniżać, zakumulowane ciepło zostaje do niego oddane. Zastosowanie żaluzji wewnętrznych lub zewnętrznych, a także rolet i innych elementów ograniczających dostęp promieniowania słonecznego może znacznie poprawić komfort użytkownika budynku, szczególnie w miesiącach charakteryzujących się występowaniem podwyższonej wartości docierającego do powierzchni Ziemi promieniowania słonecznego.

System zysków pośrednich

System zysków pośrednich polega również na wykorzystywaniu energii słonecznej, tym razem jednak, nie dociera ona bezpośrednio do pomieszczeń, lecz na swojej drodze napotyka np. ścianę magazynującą, którą zazwyczaj maluje się czarną farbą, w celu zmaksymalizowania możliwej do zabsorbowania ilości energii. Wyróżniamy ścianę kolektorowo-magazynującą (zwaną ścianą Trombe'a) i ścianę kolektorową. Pierwsza z nich, może być pełna bądź też wentylowana (wtedy jest zwana ścianą Trombe'a – Mitchela). W obu przypadkach wykorzystuje się procesy wymiany ciepła: przewodzenie (ściana magazynująca) i przejmowanie (powietrze wewnątrz pomieszczenia). Zastosowanie otworów w ścianie wentylowanej umożliwi cyrkulację powietrza. Otworem w dolnej części ściany wydostaje się zimne powietrze, które po podgrzaniu między ścianą, a osłoną wraca do pomieszczenia górnym otworem (Chwieduk, 2011). Ściana Trombe'a jest to tak naprawdę akumulator ciepła w krążącym w obiekcie powietrze wentylacyjnym (Nantka, 2014). Drugim rodzajem ścian magazynujących, jest wspomniana wcześniej ściana kolektorowa, której podstawowymi elementami są kolektor z grawitacyjnym obiegiem powietrza, absorber oraz warstwa akumulacyjna. Tym razem wykorzystywany jest proces konwekcji, a energia jest magazynowana w wewnętrznych elementach budynku. Osłona kolektora powinna mieć wysoką przepuszczalność promieniowania słonecznego, a także odporność na często niekorzystne, zwłaszcza w naszych wysokościach geograficznych, warunki zewnętrzne. W celu minimalizacji strat ciepła do otoczenia, zaleca się, aby materiał absorbera miał dużą absorpcyjność promieniowania słonecznego oraz niską emisyjność promieniowania cieplnego (Nantka, 2014).

Aktywne systemy słoneczne

Jak już wcześniej napisano, energię promieniowania słonecznego można wykorzystać stosując słoneczne systemy pasywne i aktywne. Za pomocą systemów aktywnych można pokryć zapotrzebowanie zarówno na ciepłą wodę użytkową (c.w.u.), ciepło (c.o.), jak i energię elektryczną (e.e.). W pierwszym przypadku, aktywne słoneczne systemy grzewcze konwertują energię promieniowania słonecznego na ciepło do przygotowania c.w.u. lub na

cele ogrzewania. Jest to jeden z podziałów tych systemów (ze względu na funkcje), lecz nie jedyny. Wyróżnia się wiele innych, z czego najbardziej popularne to podział ze względu na czynnik roboczy (ciecz – kolektory cieczowe, powietrze – kolektory powietrzne) i sposób wykorzystania energii (bezpośredni, pośredni z wykorzystaniem wymiennika ciepła) (Albers at al., 2007).



Rys. 1. Budynek wyposażony w instalację fotowoltaiczną oraz kolektory słoneczne (fot. J. Bigorajski)

Urządzeniami wchodzącymi w skład takiego systemu są przede wszystkim kolektory słoneczne, których podstawowym zadaniem jest odbiór energii promieniowania słonecznego, jej konwersja na ciepło i oddanie jej przepływającemu czynnikowi robocznemu w systemach cieczowych lub powietrze w powietrznych systemach (Chwieduk, 2014). W polskich warunkach, ze względu na klimat, w kolektorach cieczowych czynnikiem roboczym nie jest woda, lecz niezamarzająca mieszanka glikolowa. Kolektory słoneczne, można podzielić ze względu na ich typ. Dla polskich warunków klimatycznych odpowiednie są przede wszystkim płaskie kolektory cieczowe, kolektory próżniowe i niskotemperaturowe kolektory-absorbery (Chwieduk, 2011 oraz Chwieduk, 2014). Jest również kilka innych, mniej znaczących typów kolektorów, z których warto nadmienić cieczowe magazynujące i skupiające, płaskie powietrzne, paraboliczne. Nie opisano ich jednak w niniejszym artykule, a skupiono się na rozwiązaniach najczęściej stosowanych w położeniu geograficznym, w jakim znajduje się Polska.

Kolektory płaskie

Kolektory płaskie pojawiły się najwcześniej, a technologia ich produkcji jest najprostsza i najbardziej dopracowana. Wiąże się to oczywiście z niższymi kosztami produkcji niż dla pozostałych rozwiązań. Podstawowymi elementami, z których zbudowany jest kolektor są (Chwieduk, 2011 oraz Albers at al., 2007) osłona przezroczysta, absorber (płytowy lub rurowy), izolacja cieplna oraz obudowa zewnętrzna. Każdy z elementów pełni określoną

funkcję. Osłona przezroczysta ochrania absorber przed uszkodzeniami mechanicznymi (czynniki pogodowe) i zbyt intensywną wymianą ciepła z otoczeniem. Absorber pochłania energię promieniowania słonecznego przekazując ją dalej czynnikowi robocznemu. Dodatkowo powinien się on charakteryzować krótkim czasem nagrzewania, odpornością na korozję, a także wysokowydajnym przekazywaniem ciepła czynnikowi robocznemu. Wśród kolektorów płaskich cieczowych wyróżnia się kolektory z selektywnymi i nieselektywnymi pokryciami absorberów. W kolektorze znajduje się również izolacja cieplna, której zadaniem jest ograniczenie do możliwie minimalnej wartości strat ciepła do otoczenia. Ostatnim elementem, równie ważnym, jest obudowa zewnętrzna, łącząca pozostałe elementy w całość i podobnie jak osłona przezroczysta, dodatkowo osłaniająca moduł przed niekorzystnymi dla kolektora czynnikami atmosferycznymi (Chwieduk, 2011 oraz Albers at al., 2007).

Kolektory próżniowe

Kolektory próżniowe są coraz bardziej rozwijającą się technologią na świecie, szczególnie w Chinach. W Polsce ich udział stanowi około kilka procent. Wyróżnia się kolektory próżniowe rurowe (które zostaną opisane), a znacznie rzadziej próżniowe płaskie. Urządzenia rurowe mogą składać się z pojedynczej rury próżniowej, bądź też podwójnej, zwaną rurą Dewara. Po za rurą próżniową, w skład kolektora rurowego wchodzi absorber (pochłaniający energię promieniowania słonecznego) oraz rury z czynnikiem roboczym (przez które czynnik jest transportowany) (Chwieduk, 2011). Próżniowe szklane rury mają średnice około 65-100 mm (Albers at al., 2007). Dzięki zastosowaniu podciśnienia wewnątrz rur zapobiega się przepływowi powietrza i minimalizuje się straty związane z wymianą ciepła przez konwekcję i przewodzenie. Typowy kolektor składa się z 6-30 rur.



Rys. 2. Kolektor próżniowy

Porównanie podstawowych technologii kolektorów

Porównując obie technologie – kolektory płaskie i próżniowe, zauważyć można, że te pierwsze charakteryzują się znacznie niższą ceną od drugich. Wynika to przede wszystkim z przedstawionego już wcześniej warunku, czyli bardziej rozwiniętej technologii i prostoty wykonania pierwszego z rozwiązań. Prosta budowa sprawia również, że można się spodziewać dłuższej żywotności urządzenia. Skomplikowana konstrukcja kolektora próżniowego daje możliwość pozyskiwania większej ilości energii, z drugiej jednak strony pojawiają się kolejne elementy, które mogą ulec awarii, a przez to również prawdopodobieństwo długiego czasu eksploatacji zmniejsza się. Główną różnicą w obu rozwiązaniach, po za strukturą wykonania, jest występowanie różnych sprawności, zarówno w ciągu dnia, jak i całego sezonu. W rurach kolektora próżniowego znajduje się próżnia, dzięki czemu występują mniejsze straty ciepła do otoczenia – brak konwekcji. Absorber znacznie szybciej może się ogrzać, ponieważ nie wymaga się od niego podgrzania powietrza, którego nie ma wewnątrz. To znacząco zwiększa jego sprawność, szczególnie w okresie zimowym gdy dostępność promieniowania słonecznego jest znacznie ograniczona w stosunku do ciepłych miesięcy. Kolektory próżniowe posiadają niestety pewne wady. Próżnia, sprawia, że w mroźne dni powierzchnia rurek ma niższą temperaturę, a szron dłużej na nich zostaje zmniejszając wydajność pracy. W upalne dni, gdy nie występuje zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową, temperatura czynnika roboczego może na tyle wzrosnąć, że potrzebne będzie odprowadzenie nadmiaru ciepła. Kolektor płaski oddaje nadmiar energii przez obudowę, przy pomocy specjalnej pompy wymuszającej przepływ. Próżniowe urządzenie, ze względu na występowanie próżni będącej pewnego rodzaju izolacją, będzie miało problemy z oddaniem ciepła. W wielu przypadkach jednym z rozwiązań tego problemu będzie zasłonięcie instalacji, zrzucanie nadmiaru ciepła do basenu lub do gruntowego wymiennika ciepła, który może stać się dolnym źródłem ciepła dla pompy ciepła. Podsumowując, kolektor płaski jest lepszym rozwiązaniem jeśli planuje się używać instalacji słonecznej sezonowo. W ciągu całego roku, zaleca się jednak stosowanie kolektorów próżniowych.

Panele fotowoltaiczne

Panele fotowoltaiczne (PV), wykorzystując efekt fotowoltaiczny, konwertują energię promieniowania słonecznego, na energię elektryczną. System fotowoltaiczny składa się z paneli fotowoltaicznych, panele z modułów, te z kolei z ogniw. Ogniwa PV wytwarza się kilkoma sposobami. Najbardziej popularnym i w przeważającej mierze stosowanym materiałem do produkcji ogniw jest krzem krystaliczny, który może mieć strukturę monokrystaliczną, polikrystaliczną oraz amorficzną. Monokryształy półprzewodników otrzymuje się stosując najczęściej tzw. metodę Czochralskiego, czyli powolne wyciąganie zarodka krystalicznego z roztopionego materiału. Proces przebiega w specjalnie kontrolowanym tempie,

pozwalając uzyskać odpowiednie warunki do utworzenia cylindrycznego monokryształu, z którego powstana ogniwa PV. Znacznie łatwiejszy i wymagający mniej energii, jest proces wytwarzania ogniw krzemowych poli-kryształicznych. Zmielony polikrzem jest uformowany w blok, po czym poddaje się go kontrolowanemu podgrzaniu i ochłodzeniu. Krzem zaczyna krystalizować wokół wielu przypadkowych zarodków, co wpływa na niejednorodną budowę ogniwa i niższą sprawność (<http://www.pveducation.org/>). Zgodnie z różnymi danymi, na bazie krzemu produkuje się około 80-90% ogniw. Przyczyną takiej popularności krzemu są przede wszystkim powszechność jego występowania w naturze, nieszkodliwość dla środowiska podczas czasu użytkowania, a także fakt wykorzystywania tego materiału w innych branżach, między innymi w przemyśle elektronicznym.

Ogniwa pierwszej generacji

Wyróżnia się różne metody przekształcania krzemu na materiał na ogniwa, który może mieć strukturę (jak już wcześniej zasygnalizowano): monokryształiczną (mono-Si), multikryształiczną (mc-Si) (polikryształiczną), a także amorficzną (a-Si) (Werner, 2010). Dwie pierwsze należą do ogniw tzw. pierwszej generacji. Pierwsze z nich charakteryzują się wysoką sprawnością (15-20%), przy jednocześnie stosunkowo wysokich kosztach produkcji (zależnych od procesu wytwarzania, jak np. wcześniej opisana metoda Czochralskiego). Ogniwa mc-Si wykonuje się znacznie prostszymi metodami, mniej dokładnymi niż w mono Si, ale i mniej energochłonnymi, czego skutkiem są niższe sprawności (12-17%) i koszty ogniwa. Sprawności laboratoryjne ogniw są jednak znacznie wyższe i wynoszą odpowiednio dla technologii monokryształicznej 26% i dla multikryształicznej 21% (Green et al., 2015). Ogniwa pierwszej generacji są najczęściej stosowanymi ogniwami w panelach fotowoltaicznych wykorzystywanych w budynkach.

Ogniwa drugiej generacji

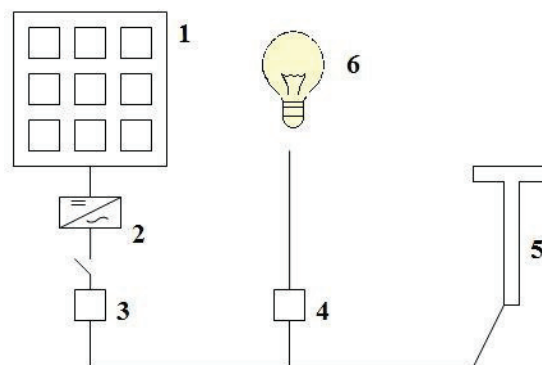
Do drugiej generacji należą ogniwa zbudowane w większości przypadków z innych materiałów niż krzem, wyjątkiem jest krzem amorficzny, który znajduje zastosowanie przede wszystkim w urządzeniach o małej mocy jak np. gadzety elektroniczne. W porównaniu do podstawowych ogniw krzemowych, grubość ogniw z drugiej generacji jest znacznie niższa, dlatego też często nazywane są cienkowarstwowymi. Najczęściej stosowanymi materiałami do produkcji ogniw tego typu, oprócz krzemu amorficznego, są tellurek kadmu CdTe, selenek indow - miedziowy CIS czy arsenek galu GaAs (Jastrzębska, 2007). Koszty produkcji, ale przy tym również sprawności są niższe niż w przypadku powszechnie stosowanych ogniw pierwszej generacji (do 14%). Od pewnego czasu trwają próby połączenia zalet ogniw z dwóch generacji i stworzenia ogniw trzeciej generacji, które charakteryzowałyby się nie tylko niskimi cenami, ale i wysokimi sprawnościami.

Budowa modułu fotowoltaicznego

Jak już wyżej stwierdzono, dla zastosowań w budynkach, w znacznej części wykorzystuje się moduły składające się z ogniw monokryształicznych i multikryształicznych. Moduł „krzemowy” PV jest najważniejszym z elementów w systemie fotowoltaicznym. Łączy on wszystkie ogniwa w całość powiększając moc układu. W celu zapewnienia ochrony ogniw przed uszkodzeniami zewnętrznymi stosuje się specjalną szybę (o odpowiednich współczynnikach transmisyjności) ze szkła hartowanego. Istotne jest również dokładne zhermetyzowanie go, aby do wnętrza nie dostała się wilgoć będąca przyczyną korozji elektrycznych. Ogniwa są dodatkowo umieszczone pomiędzy warstwami folii EVA. Moduł jest zazwyczaj wykończony płytą szklaną i oprawiony w aluminiową ramę (Sarniak, 2008 oraz Waclawek, Rodziewicz, 2011). Ostatnimi czasy moduły fotowoltaiczne są coraz częściej pozbawione takiej ramy. Pojawiają się rozwiązania pozwalające na integrację modułu PV z budynkiem (BIPV - Building-integrated photovoltaics). W takim wypadku oprócz funkcji związanej z konwersją energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną, moduł pełni dodatkowo rolę konstrukcyjną. Podobnie dzieje się z kolektorami słonecznymi. Systemy słoneczne integruje się z obudową budynku, jeszcze na etapie projektowania, co zmniejsza koszty inwestycyjne.

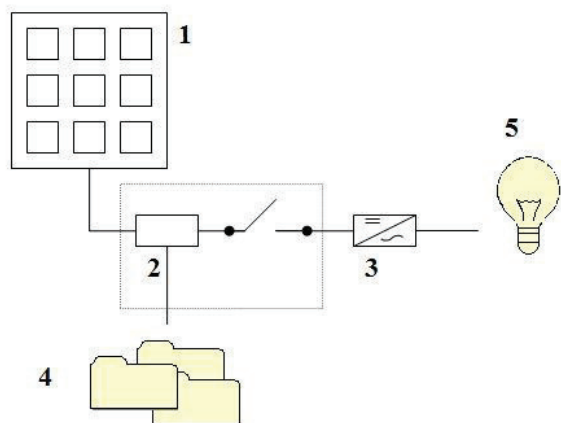
Podział systemów fotowoltaicznych

Stosując odnawialne źródła energii wytwarzające energię elektryczną z paneli fotowoltaicznych wyróżnia się systemy podłączone do sieci elektroenergetycznej (on-grid) lub też działające tylko na potrzeby budynku, autonomiczne, nie połączone z siecią (off-grid). Ze względu na wysoką cenę akumulatorów, nie są one popularne przy małych instalacjach domowych, a tylko w miejscach z dala od sieci. Gdy istnieje możliwość przyłączenia do sieci, to stosuje się rozwiązania typu on-grid pozwalające nadmiar energii elektrycznej sprzedać do sieci, a gdy jest ona potrzebna wykorzystać na potrzeby własne budynku. Gdy rozwiną się technologie akumulatorowe, a ich ceny będą niższe stosowanie systemów oze stanie się bardziej korzystne.



Rys. 3. Schemat systemu PV podłączonego do sieci (rysunek autora (Różycki, 2012))

1. Panele fotowoltaiczne
2. Falownik
3. Licznik energii wyprodukowanej przez system fotowoltaiczny
4. Licznik energii dostarczanej z sieci do obiektu
5. Sieć elektroenergetyczna
6. Obciążenie



1. Panele fotowoltaiczne (Moduły)
2. Regulator ładowania
3. Falownik
4. Akumulatory
5. Obciążenie

Rys.4. Schemat autonomicznego systemu PV (rysunek autora (Różycki, 2012))

Aspekty prawne

W Polsce zgodnie z Prawem budowlanym (Prawo budowlane, 1994) zarówno urządzenia fotowoltaiczne (PV) do mocy zainstalowanej 40 kW, jak i kolektory słoneczne, nie wymagają pozwolenia na budowę. Dodatkowo dla mikroinstalacji o mocy instalacji do 40 kW nie jest wymagana koncesja. Przepis te znacznie ułatwiają sytuację dla osób chcących wybudować małe instalacje słoneczne produkujące energię na potrzeby własne budynku. Wydaje się, że taka sytuacja może pomóc rozwojowi instalacji słonecznych na terenie naszego kraju. Coraz szersze wykorzystanie energii z promieniowania słonecznego, szczególnie w budynkach, będzie sprzyjało dalszemu rozwojowi tego niezwykle perspektywicznego sektora rynku energetycznego i obniżaniu się cen, a to z kolei przysporzy następnych klientów. Od 20 lutego 2015 roku w Polsce obowiązuje Ustawa o Odnawialnych Źródłach Energii. Zgodnie z nią od 1 stycznia 2016 roku istnieje możliwość sprzedaży nadwyżek wytwarzanej energii elektrycznej w mikroinstalacji po cenie stanowiącej 100 % średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w poprzednim kwartale (dla instalacji o mocy do 40 kW), która jest ogłaszana przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki URE. Do tej pory wartość ta wynosiła 80 % tej ceny. W celu wsparcia rozwoju instalacji prosumenckich (prosumentem nazywamy osobę, która nie jest przedsiębiorcą i sama produkuje energię, którą następnie wykorzysta na potrzeby

własne) zaproponowano system taryf gwarantowanych, który miał zacząć obowiązywać od 1 stycznia 2016 roku. Zgodnie z nim wysokość taryfy dla instalacji o mocy do 3 kW miała wynosić 0,75 zł/kWh, a 0,65 zł/kWh dla instalacji o mocy 3-10 kW. Nowelizacja ustawy OZE z dnia 29 grudnia 2015 roku przesunęła jednak termin wprowadzenia tego przepisu o pół roku. Obecnie trwają prace nad kolejnymi zmianami, które powinny być znane jeszcze w pierwszej połowie 2016 roku. W obecnym systemie wsparcia dla instalacji odnawialnych źródeł energii do mocy 40 kW obowiązuje system rozliczeń ilości energii wyprodukowanej z instalacji i zakupionej z sieci w bilansach półrocznych, tzw. net – metering (Ustawa o odnawialnych źródłach energii, 2015).

PODSUMOWANIE

Decydując się na odnawialne źródła energii w budynkach należy poprawnie zaprojektować system, najlepiej, jeśli to możliwe, jeszcze w trakcie opracowywania projektu budynku. Gdy zamawiający i projektant podporządkują się tej zasadzie i rozważą zastosowanie OZE przed budową domu, może to obniżyć koszty budowy, w stosunku do budowy domu etapami, tzn. wykonując najpierw sam budynek, a dopiero w kolejnym etapie, po jakimś czasie, dołączając instalację wykorzystującą odnawialne źródła energii. Szczególnie zauważalna różnica w kosztach końcowych wykonania całej inwestycji jest w przypadku kolektorów słonecznych i systemów fotowoltaicznych, które przybliżono w niniejszym artykule. Ważne jest, aby pamiętać, że wiele czynników wpływa na to, które elementy w systemie powinno się dobrać. Najważniejszymi czynnikami, które należy rozważyć podczas doboru urządzeń do budynku są przede wszystkim warunki meteorologiczne, lokalizacja, zacienienie, a także potrzeby użytkowników budynku.

Odnawialne źródła energii stają się coraz bardziej konkurencyjne. W pewnych przypadkach systemy wykorzystujące energię z promieniowania słonecznego są nawet tańsze niż ich odpowiedniki konwencjonalne. Gdy instalacje słoneczne zaczną być wykorzystywane na masową skalę będą jeszcze bardziej korzystne ekonomicznie dla inwestorów. Zastosowanie technologii odnawialnych źródeł energii w budynku pozwala na znaczne zmniejszenie zużycia energii z konwencjonalnych źródeł przygotowania ciepłej wody użytkowej, ciepła i energii elektrycznej. Jak wynika z analiz przedstawionych w raporcie pt. „Jak zostać prosumentem” (Federacja Konsumentów, 2016) przy korzystnych warunkach i odpowiednich systemach wsparcia, budowa systemu wytwarzającego energię odnawialną mogłaby się zwrócić w ciągu 8-10 lat od uruchomienia instalacji. Autorzy raportu uważają, że wprowadzenie tych wszystkich systemów wsparcia nie spowoduje gwałtownego wzrostu liczby instalacji wykorzystujących technologie odnawialne,

ani nie zagrozi stabilności systemu elektroenerge-
pozwalający na zrównoważony rozwój tego typu
instalacji.

Wiele argumentów przemawia za stosowaniem OZE
w budynkach. Surowce kopalne się kończą, stan
środowiska wciąż się pogarsza, polskie kopalnie oraz
bloki węglowe potrzebują bardzo kosztowych
remontów. Wykorzystanie odnawialnych technologii
w znacznym stopniu może odciążyć obecnie
pracujący system elektroenergetyczny oparty w
przeważającej części na węglu. Z racji tego, że ponad
1/3 bloków energetycznych ma ponad 40 lat (Kwinta,
2006) inwestycje w nowe energetyczne jednostki
wytwórcze lub modernizacje już istniejących są
potrzebne. Należy się jednak zastanowić i
przeanalizować, nie tylko ekonomicznie, ale również
biorąc pod uwagę inne argumenty, jak stan środowiska
czy zobowiązania wobec Unii Europejskiej, czy warto
wykorzystać ten moment i zastąpić przynajmniej
częściowo konwencjonalne źródła energii, na
odnawialne.

Dla użytkowników domków jednorodzinnych, ale
także bloków wielorodzinnych, w których znajdują się
tradycyjne indywidualne źródła ogrzewania
i przygotowania ciepło wody użytkowej, zastosowanie
odnawialnych źródeł energii to przede wszystkim
poprawa jakości komfortu użytkownika obiektu,
będącego bardziej przyjaznym środowisku
i mieszkańcom. Instalacje OZE mogą rozwiązać
problem związany z niską emisją, z zanieczyszczeniem
powietrza, który między innymi dzięki kampaniom
edukacyjnym jest w ostatnim czasie coraz bardziej
dostrzegany. Ostatnim, wcześniej już wymienionym
argumentem, dla niektórych najważniejszym, w wielu
przypadkach decydującym o zakupie instalacji OZE,
jest koszt związany z eksploatacją domu. Chociaż
należy zakupić urządzenia do produkcji odnawialnej
energii i koszt początkowy jest często wysoki, to po
wykonaniu inwestycji koszty za paliwo są znacznie
niższe niż w budownictwie tradycyjnym.

LITERATURA

- Albers J., Dommel R., Montaldo-Ventsam H., Nedo
H., Ubelacker E., Wagner J., 2007, *Systemy
centralnego ogrzewania i wentylacji. Poradnik dla
projektantów i instalatorów*, WNT Warszawa
- Chwieduk D., 2011, *Energetyka słoneczna budynku*,
Wydawnictwo Arkady, Warszawa
- Chwieduk D., 2014, *Kolektory słoneczne - Studia
podyplomowe: Budownictwo energooszczędne,
Certyfikacja Energetyczna, Audyty Energetyczny
i Termomodernizacja Budynków*, Warszawa
- Foit H., 2013, *Zastosowanie odnawialnych źródeł
energii w ogrzewnictwie i wentylacji*,
Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice
- tycznego. Będzie to jednak odpowiedni bodziec
([http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-
energia/energia/zuzycie-paliw-i-nosnikow-energii-
w-2013-r-6,8.html](http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-paliw-i-nosnikow-energii-w-2013-r-6,8.html)) (9.12.2014)
- ([http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-
energia/energia/energia-ze-zrodel-odnawialnych-w-
2014-roku.3,9.html](http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/energia-ze-zrodel-odnawialnych-w-2014-roku.3,9.html)) (18.12.2015)
- Green M. A., Emer K., Hishikawa Y., Warta W.,
Dunlop E. D., 24 Listopad 2015, *Solar cell
efficiency tables (version 47)*, Progress in
Photovoltaics: Research and Applications, 24: 3–
11. doi: 10.1002/pip.2728
- Federacja Konsumentów, 2016, *Raport: Jak zostać
prosumentem*, [http://www.federacja-
konsumentow.org.pl/n,159,1307,91,1,raport-
federacji-konsumentow.html](http://www.federacja-konsumentow.org.pl/n,159,1307,91,1,raport-federacji-konsumentow.html) (17.04.2016)
- Jastrzębska G., 2007, *Odnawialne źródła energii
i pojazdy proekologiczne*, Wydawnictwa Naukowo-
Techniczne, Warszawa
- Kwinta W. *Alarmujący stan elektrowni, IX-X 2006*,
<http://www.cire.pl/pliki/2/alarmujacystan.pdf>,
[http://www.mae.com.pl/odnawialne-zrodla-energii-
energia-sloneczna.html](http://www.mae.com.pl/odnawialne-zrodla-energii-energia-sloneczna.html). (3.11. 2015)
- Nantka M.B., 2014, *Techniczne aspekty gospodarki
energetycznej w budownictwie*, Wydawnictwo
Politechniki Śląskiej, Gliwice
- Polski Komitet Normalizacyjny, *PN-EN ISO
9488:2002 Energia słoneczna – Terminologia*
- Popkiewicz M., 2015, *Rewolucja energetyczna. Ale
po co?*, Wydawnictwo SONIA DRAGA Sp. z o.o.,
Katowice
- PV Education.org: (<http://www.pveducation.org/>). (17
04 2016).
- Różycki K., 2012, *Koncepcja systemu fotowolta-
icznego domu letniskowego*, Praca inżynierska,
Politechnika Warszawska, Warszawa
- Sarniak M. T., 2008, *Podstawy fotowoltaiki*, Oficyna
Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994r. Prawo budowlane (Dz.
U. z 2013 r. poz. 1409 z późn. zm.)*
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych
źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478)*
- Wacławek M., Rodziewicz T., 2011, *Ogniwa
słoneczne. Wpływ środowiska naturalnego na ich
pracę*, WNT, Warszawa

Werner B.A., 2010, *Model fizyczny cienko-warstwowych modułów fotowoltaicznych II-(III)-VI pracujących w warunkach naturalnych – rozprawa doktorska*, Wrocław

Green M. A., Emer K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E. D., 24 Listopad 2015, *Solar cell efficiency tables (version 47)*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 24: 3–11. doi: 10.1002/pip.2728