

dr inż. architekt Piotr Kuczia*

Fotowoltaiczne systemy zintegrowane z budynkiem

Building-Integrated Photovoltaics

Streszczenie. Fotowoltaiczne systemy zintegrowane z budynkiem (BIPV) są ciągle jeszcze rozwiązaniem niszowym w stosunku do systemów addytywnych (BAPV). Postęp techniczny i spadek cen przyczyniają się do ich rozpowszechnienia jako integralnych elementów przegród zewnętrznych, otwierając nowe możliwości architektonicznego kształtowania budynków. W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania i perspektywy rozwoju BIPV oraz ich klasyfikację, wymagania projektowe i ograniczenia oraz uwarunkowania ekonomiczne. Na podstawie modelowego projektu domu jednorodzinnego zbadany został potencjał ekonomiczny i energetyczny stosowania BIPV w warunkach polskich i wskazano szanse rozwoju.

Słowa kluczowe: systemy fotowoltaiczne, BIPV.

Abstract. The Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) is still a niche solution compared to the Building Applied Photovoltaics BAPV. Technological progress and price decline contribute to spreading of the BIPV as integral elements of the buildings outer skin, opening new possibilities in the architectural design. The application and development possibilities of BIPV are presented, the common solutions are classified, the planning-related requirements and limitations are discussed and the economic circumstances are analysed. Based on a pilot project of a passive house, the energetic and economic potential of the implementation of the BIPV in Poland are examined and the future aspects are demonstrated.

Keywords: Building-Integrated Photovoltaics, BIPV.

Fotowoltaiczne systemy zintegrowane z budynkiem BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) przejmują lub zastępują część funkcjonalnych, technicznych i estetycznych zadań elementów budowlanych lub warstw przegród zewnętrznych [1]. Do funkcji BIPV należą m.in. ochrona przed oddziaływaniami atmosferycznymi; zacinienie; ochrona cieplna; osłona przed wględem; refleksja światła naturalnego; tłumienie hałasu i fal elektromagnetycznych; ochrona przed włamaniem; estetyka, design. Oznacza to, że panele fotowoltaiczne zintegrowane z budynkiem spełniają w obiekcie co najmniej o jedno zadanie więcej niż pozyskiwanie energii elektrycznej [2].

Stan obecny i perspektywy rozwoju

Ogniwa fotowoltaiczne dotychczas spotykane to przede wszystkim elementy addytywne BAPV (Building Applied Photovoltaics) montowane najczęściej na gotowych połaciach dachowych, rzadziej na elewacjach.

Postęp techniczny na rynku ogniw fotowoltaicznych, w szczególności roz-

wój technologii ogniw cienkowarstwowych, przyczynia się do zwiększenia udziału rozwiązań zintegrowanych w stosunku do addytywnych. Wzrost zainteresowania inwestorów i architektów integracją paneli solarnych związany jest także z poprawą estetyki oferowanych produktów: od montowanych niewidocznie bezramowych paneli elewacyjnych (fotografie 1 i 2), przez solarne dachówki i elastyczne pokrycia dachowe, po panele z ogniwami o zróżnicowanej kolorystyce.

Instalacje BIPV zaczęły nabierać znaczenia i pojawiać się w architekturze w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia. Mimo że przepowiedziano im wtedy szybki rozwój – do dziś nie zostały rozpowszechnione, np. w Niemczech stanowią jedynie 1 – 2% wszystkich zainstalowanych systemów fotowoltaicznych [3]. Przyczyny ich cią-



Fot. 1. Bezramowy panel fotowoltaiczny



Fot. 2. Przykład zastosowania bezramowych paneli fotowoltaicznych zintegrowanych z fasadą – projekt autora

gle niewielkiej popularności, to oprócz wysokich kosztów lub konieczności uwzględniania zintegrowanych rozwiązań solarnych od samego początku inwestycji, mało rozpowszechniona wiedza na ten temat. W ostatnim czasie obserwuje się jednak wzmożone zainteresowanie tematem i wzrost liczby realizacji BIPV.

Na rynku ogniw fotowoltaicznych dominują panele na bazie technologii krystalicznych ogniw krzemowych, cienkowarstwowe ogniwa fotowoltaiczne stanowią ok. 1/10 oferowanego asortymentu. Potencjał dalszego rozwoju BIPV tkwi w technologii elastycznych materiałów cienkowarstwowych z krzemu amorficznego, CdTe, CIGS lub ogniw organicznych.

* Verein fuer Oekologie und Umweltbildung Osnabrueck c/o Universitaet Osnabrueck, Niemcy

Klasyfikacja i zastosowanie

Rozróżnić można trzy stopnie integracji systemów fotowoltaicznych w architekturę budynku [4; 5]: integrację wizualną; konstrukcyjną addycję; konstrukcyjną integrację.

Integracja wizualna obejmuje rozwiązania, w których panele fotowoltaiczne pod względem wizualnym należą do przegrody zewnętrznej, lecz nie przejmują jej zasadniczych funkcji technicznych. Takie rozwiązanie zastosowano np. na dachu budynku usługowego w Ibbenbüren (Niemcy) w 2012 r. (fotografia 3).



Fot. 3. Integracja ogniw fotowoltaicznych przez aplikację – dach budynku usługowego w Ibbenbüren, Niemcy

Konstrukcyjna addycja polega na przejęciu przez panele solarne części funkcji przegrody zewnętrznej, np. ochrony przed warunkami atmosferycznymi. Panele stają się elementarną częścią przegrody. Przykładem konstrukcyjnej addycji jest fasada budynku magazynowego w Bielefeldzie (Niemcy) z 2012 r., gdzie panele ogniw fotowoltaicznych przejmują funkcje zewnętrznej powłoki elewacji i są jednocześnie nośnikami informacji promującym inwestora (fotografia 4).

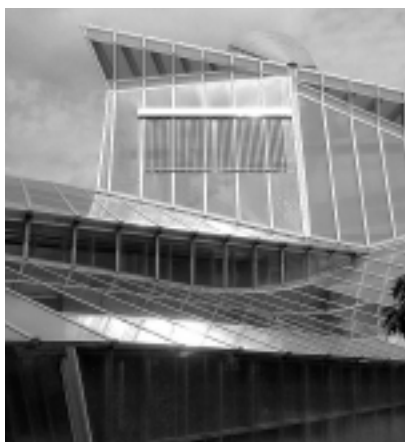
Konstrukcyjna integracja oznacza przejęcie przez panele solarne więk-



Fot. 4. Integracja ogniw fotowoltaicznych przez konstrukcyjną addycję – hala fabryczna w Bielefeldzie, Niemcy

szości lub wszystkich funkcji przegrody zewnętrznej, a więc ochrony przed oddziaływaniami atmosferycznymi, ochrony cieplnej, akustycznej itd. Powszechnie spotykanym przykładem konstrukcyjnej integracji są panele fotowoltaiczne zintegrowane z przeszkleniami. Takie rozwiązanie występuje w przegrodach zewnętrznych hali Akademii Mont Cenis w Herne (Niemcy) z 1999 r. lub na dachu pawilonu na wyspie kąpielowej jeziora Steinhuder Meer (Niemcy) z 2000 r. (fotografia 5), gdzie ogniwa fotowoltaiczne zintegrowane z przeszkleniami pełnią funkcje zacięniające.

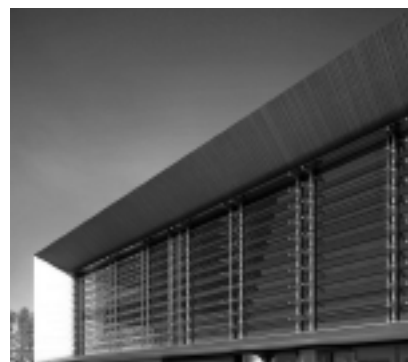
Zintegrowane panele solarne stosować można także w przypadku renowacji istniejących budynków. Przykładem może być przebudowa w 2003 r. historycznych koszarów w Osnabrück na budynki uniwersyteckie. Ogniwa fotowoltaiczne są tam integralną częścią pokrycia dachowego z blachy cynkowej.



Fot. 5. Konstrukcyjna integracja ogniw fotowoltaicznych – pawilon na wyspie kąpielowej na Steinhuder Meer, Niemcy

BIPV można integrować z różnymi elementami budynku [6; 7], takimi jak dachy, elewacje, elementy zacięniające, przegrody przezroczyste lub stosować jako samodzielne. Przykładem integracji ogniw z elementami przeciwslonecznymi jest projekt budynku 3E dla Politechniki Wrocławskiej z 2012 r. (fotografia 6).

BIPV jako samodzielny element ozdobny przyciągający uwagę przechodniów („żagiel solarny”) zastosowano np. w budynku pływalni Melittabad w Minden z 1998 r. (fotografia 7). Dalsze możliwości to integracja ogniw fotowoltaicznych z elementami małej architektury, wolno stojącymi zadaszeniami, ekranami akustycznymi itd.



Fot. 6. BIPV w postaci ruchomych osłon przeciwslonecznych – projekt autora: Budynek 3E dla Wydziału IS Politechniki Wrocławskiej



Fot. 7. „Żagiel solarny” pływalni Melittabad w Minden, Niemcy

Wymagania projektowe i ograniczenia

Poprawna architektoniczna integracja systemów solarnych wymaga uwzględnienia w projekcie zasadniczych typologicznych właściwości przegród zewnętrznych. W przypadku dachów sprowadza się to głównie do kształtu, nachylenia i rodzaju pokrycia. Natomiast projektując fasady z BIPV, należy uwzględnić m.in. podział, strukturę, proporcje. Liczne dotychczasowe realizacje, mimo poprawnej pod względem technicznym i konstrukcyjnym integracji systemów fotowoltaicznych, nie wykazują dostatecznej estetyki. Istnieje potrzeba dalszego rozwoju w tej dziedzinie i jest to zadanie, które wymaga interdyscyplinarnej współpracy między specjalistami z wszystkich dziedzin uczestniczących w procesie inwestycyjnym.

Stosowanie BIPV narzuca konieczność uwzględnienia tych systemów w koncepcji architektonicznej od najwcześniejszych faz projektowych. Tylko w ten sposób można zapewnić spójność z architekturą budynku, odpowiednie właściwości techniczno-konstrukcyjne oraz żadaną wydajność energetyczną.

Projektując rozwiązania ze zintegrowanymi panelami fotowoltaicznymi – oprócz uwzględnienia czynników estetycznych – należy dążyć do zapewnienia m.in.:

- ich optymalnej orientacji względem słońca (kierunki ekspozycji względem stron świata, kąty nachylenia połaci);
- redukcji zacienienia branych pod uwagę powierzchni przegród;
- zapobiegania osiadanemu śniegu względnie zapewnienia możliwości odśnieżania;
- możliwości wymiany lub naprawy uszkodzonych paneli;
- możliwości czyszczenia powierzchni;
- miejsc do sytuowania koniecznych dodatkowych urządzeń technicznych w odległości wymaganej względami technicznymi (np. falowników).

Panele fotowoltaiczne oferowane obecnie na rynku mają przeważnie charakter modułarny i wymiary określone wymaganiami technologicznymi. Względnie ekonomiczne zmuszają producentów do unifikacji wyrobów i wytwarzania dużych serii paneli solarnych o jednakowych parametrach technicznych. Wynikiem jest niska dywersyfikacja rynkowa dostępnych formatów i ich wielkości. Oznacza to często konieczność projektowania budynku (wymiary połaci przegród, rozmieszczenie okien itp.) w oparciu o siatkę wymiarów modułów. Ogranicza to swobodę projektanta. Z drugiej strony, taka unifikacja prowadzi do uporządkowania struktur przegród zewnętrznych, co często pozytywnie odzwierciedla się w estetyce obiektu.

W stosunku do paneli solarnych instalowanych addytywnie BAPV, rozwiązania zintegrowane BIPV ograniczają swobodę w doborze optymalnej orientacji względem słońca. Konieczność stosowania ich od samego początku eksploatacji budynku nie pozwala na odkładanie decyzji o ich rodzaju, ilości lub rozmieszczeniu dopiero na późniejsze fazy procesu inwesty-

cyjnego. Wysokie są jednocześnie wymagania względem precyzji wykonania prac budowlanych.

Wraz ze wzrostem temperatury spada wydajność ogniw fotowoltaicznych. Integracja z przegrodami zewnętrznymi ogranicza często możliwości ich chłodzenia przez naturalną wentylację od spodu. Należy uwzględnić także fakt, że oczekiwana żywotność instalacji fotowoltaicznych wynosi 20 – 30 lat [6].

Uwarunkowania ekonomiczne

W ostatnich latach na rynku obserwuje się wyraźny spadek cen ogniw fotowoltaicznych. Oprócz postępu w technologii produkcji, przyczyną były liczne inwestycje w zakłady produkcyjne w Europie Zachodniej, będące odpowiedzią na wysokie dotacje państwowe i stymulowany nimi wzrost popytu. Jednocześnie nastąpił szybki rozwój fabryk produkujących panele solarne w Chinach. Doprowadziło to do nadprodukcji, przyspieszenia spadku cen wyrobów i wyparcia z rynku części producentów.

W związku ze spadkiem cen, zastosowanie BIPV może obecnie w niektórych przypadkach okazać się opłacalną inwestycją, nawet bez dodatkowych dotacji lub systemów cen gwarantowanych za energię oddawaną do sieci.

Kluczem do uzyskania takiej opłacalności jest zastąpienie panelami solarnymi konwencjonalnych materiałów wykończeniowych przegród zewnętrznych. W ten sposób – po odjęciu od ceny instalacji solarnej kosztów niezbędnych konwencjonalnych materiałów fasadowych lub dachowych, które ta instalacja jest w stanie zastąpić, możliwa jest amortyzacja pozostałych kosztów inwestycji solarnej przez oszczędności powodowane wykorzystaniem pozyskanej solarnie w obiekcie energii elektrycznej. Dodatkowo należy wymienić ograniczenie kosztów montażu dzięki możliwości instalacji BIPV przy użyciu konwencjonalnych narzędzi i technik fasadowych lub dekarских, zmniejszenie niebezpieczeństwa uszkodzeń przegród zewnętrznych powodowanych przez późniejszą instalację paneli solarnych, mniejsze niż w przypadku BAPV obciążenia statyczne np. przez eliminację dodatkowych konstrukcji nośnych. Spodziewany dalszy rozwój techniczny (podwyższenie wydajności), spadek cen ogniw fotowoltaicznych i wzrost cen energii elektrycznej będą pogłębiać te tendencje.

Analiza energetyczno-ekonomiczna BIPV na podstawie modelowego projektu domu

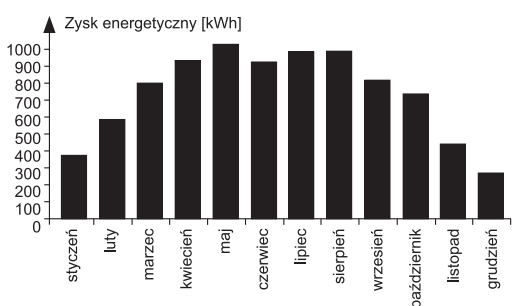
Podstawą analizy jest projekt modelowego domu plus-energetycznego „Mądrian” (fotografia 8). Jest to budynek pasywny (uzyskał wstępny certyfikat Polskiego Instytutu Budownictwa Pasywnego i Energii Odnawialnej) przeznaczony do powielania jako projekt typowy. Projekt opracowany został jako praca konkursowa w konkursie wydawnictwa Murator „Energoooszczędny dom dostępny” w 2013 r., w którym zdobył wyróżnienie honorowe i nagrodę sponsora [8].



Fot. 8. Modelowy dom pasywny „Mądrian” – projekt autora

Fasada i połac dachu od strony południowej pokryte są całkowicie bezramiennymi, cienkowarstwowymi modułami fotowoltaicznymi. Stanowią one estetyczny materiał wykończeniowy elewacji i dachu, a jednocześnie chronią pozostałe warstwy przegród przed oddziaływaniami atmosferycznymi. Łączna powierzchnia zainstalowanych ogniw wynosi 101 m², a obliczeniowa moc nominalna systemu 11 kWp. Jest przykładem projektowania zintegrowanego – koncepcja domu od samego początku powstawała w ścisłej współpracy ze specjalistami z branż instalacyjnej, energetycznej i konstrukcyjnej.

Podczas prac projektowych prowadzone były szczegółowe symulacje energetyczne i analizy ekonomiczne obiektu. W ich wyniku udało się zoptymalizować bilans energetyczny budynku tak, żeby w stosunku rocznym wytwarzał on więcej energii w ogniwach fotowoltaicznych, niż będzie zużywał podczas eksploatacji. Jak wynika z obliczeń, dom będzie pozyskiwał rocznie ok. 8900 kWh energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych (miesięczne zyski energetyczne przedstawiono na rysunku). Jego za-



Roczny bilans energii pozyskiwanej z ogniw fotowoltaicznych w budynku „Mądrian”

[oprac. autora na podstawie symulacji firmy AVANCIS]

potrzebowanie na energię użytkową wyniesie w tym okresie ok. 4600 kWh, a na pozostałą energię elektryczną w gospodarstwie domowym ok. 3400 kWh. Ogniw solarne będą więc wytwarzać nadwyżkę energii ok. 880 kWh/rok.

Z przeprowadzonych analiz ekonomicznych wynika, że po odjęciu kosztów zaoszczędzonych materiałów fasadowych i dachowych zastąpionych przez panele, przy obecnych cenach ogniw, koszty instalacji solarnej ulegną redukcji o 30%. Moduły fotowoltaiczne wytwarzać będą rocznie prąd o wartości 7 – 10% tej pozostałej kwoty, a więc możliwa jest amortyzacja inwestycji nawet w ciągu jednej dekady lub kilkun-

stu lat – w zależności od cen energii elektrycznej. Jednocześnie powierzchnie dachu i fasady pokryte są trwałym i estetycznym materiałem.

Podsumowanie i wnioski

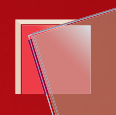
Atuty wynikające ze stosowania BIPV w budynkach nie są w wystarczającym stopniu wykorzystywane. Montaż BIPV na powierzchni dachów i fasad budynków może przynosić korzyści energetyczne, ekonomiczne i estetyczne, np. w Niemczech – kraju przodującym na świecie pod względem zastosowania paneli fotowoltaicznych – ocenia się, że do integracji BIPV nadaje się co najmniej 1700 mln m² powierzchni przegród zewnętrznych [9; 10].

Biorąc pod uwagę zbliżone warunki klimatyczne i nasłonecznienie, można przyjąć, że także w Polsce istnieje znaczny potencjał zastosowania zintegrowanych rozwiązań solarnych BIPV. Spadek cen paneli i oszczędności uzyskiwane przez zastąpienie nimi materiałów przegród zewnętrznych przemawiają za intensyfikacją zastosowania fotowoltaicznych systemów zintegrowanych z budynkiem.

Wszystkie fotografie – Autor

Literatura

- [1] Kuczia P. *Tendencje rozwojowe architektury solarnej na przykładzie realizacji w Niemczech*, praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2008.
- [2] Kortlücke N., Pieprzyk B.: *Gebäudeintegrierte Photovoltaik – Einbindung von BIPV als eigenständiger Bestandteil*, Bundesverband Bausysteme e.V., Koblenz 2011.
- [3] Raport IEA: *Potential for Building Integrated Photovoltaics*, St. Ursen 2002.
- [4] Hermansdörfer I., Rüb Chr.: *SolarDesign*, Jovis Verlag, Berlin 2005.
- [5] Rexroth S.: *Untersuchung von Gestaltungspotential von Photovoltaikmodulen als neue Bauelemente*, praca doktorska, Universität der Künste Berlin, Berlin 2005.
- [6] Danner D.: *Die klima-aktive Fassade, Edition Intelligente Architektur*, Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen 1999.
- [7] Lee E. J.: *Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten von Photovoltaik an Gebäuden in Südkorea*, praca doktorska, Technische Universität Dortmund, Dortmund 1999.
- [8] Okołowska A.: *Dom produkujący energię. Pasywny dom zeroenergetyczny czy plus-energetyczny*, Murator nr 6/2013, Warszawa 2013.
- [9] Krippner R.: *Die Gebäudehülle als Wärme-erzeuger und Stromgenerator*, Gebäudehüllen pod red. Schittich Chr., Berlin 2001.
- [10] Alonso R., Roman A.: *Potential and Benefits of BIPV, project PURE*, Hiszpania 2009.



fensterbau
frontale 2014

TARGI.
OKNA –
DRZWI –
FASADY.

NORYMBERGA, 26 – 29 MARCA 2014

frontale.de

Informacje
MERITUM s.c.
Tel +48 22.8 28 27 34
meritum@meritum.it.pl



Równoległe z

HOLZ-HANDWERK

NÜRNBERG MESSE