

dr inż. arch. Jarosław Figaszewski*

Zastosowanie komponentów energetycznych w przegrodzie wielowarstwowej

Tradycyjny, uogólniony podział budowlanych przegród zewnętrznych, z uwagi na funkcje energetyczne, wyróżnia dwie grupy rozwiązań: **transparentne**, odpowiedzialne za transmisję światła i promieniowania ciepłego oraz **nieprzeierne**, kojarzone ze ścianami jedno-, dwu- lub wielowarstwowymi, które chronią budynek przed utratą ciepła. Wymagania dotyczące energooszczędności w budownictwie zainicjowały w ostatnich latach zmiany, które mogą w przyszłości podważyć sensowność takiej klasyfikacji. Istotną rolę w tym procesie należy przypisać materiałom, które z uwagi na swoje szczególne właściwości stają się w przegrodzie komponentami energetycznymi, a więc takimi, które uczestniczą w metodach gospodarowania energią w budynku. Mogą one ujawniać swój udział w sposobach pozyskania, magazynowania, rozprządzenia lub zachowania energii.

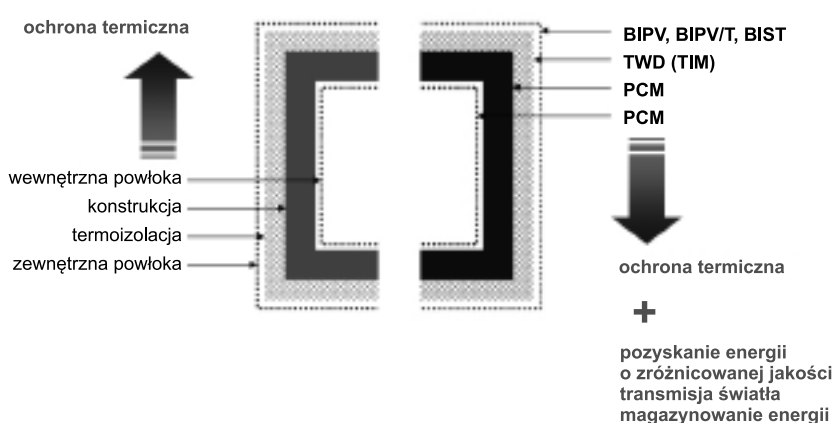
W ścianie wielowarstwowej poszczególne warstwy mają przypisane role, przy czym tylko jedna z nich pełni funkcję energetyczną:

- warstwa nośna – odpowiada za stabilność i trwałość budynku;
- warstwa izolacyjna – odpowiada za ochronę termiczną budynku;
- warstwa ochronna – osłania materiał izolacyjny przed uszkodzeniem mechanicznym oraz zawilgoceniem i jako zewnętrzna powłoka ma wpływ na estetykę budynku.

Ingerencja w tradycyjną strukturę ścian wielowarstwowych może dotyczyć nie jednej, ale kilku jej warstw. Proponowane rozwiązania materiałowe poszczególnych warstw przegrody (rysunek 1):

- warstwa ochronna – BIPV, BIST, BIPV/T, czyli zintegrowane z budynkiem systemy fotowoltaiczne i termalne;

* Politechnika Śląska, Wydział Architektury



Rys. 1. Aktywizacja energetyczna przegrody wielowarstwowej przy użyciu nowych rozwiązań materiałowych [Opracowanie: J. Figaszewski]

- warstwa izolacyjna – TIM, czyli transparentna termoizolacja;

- warstwa nośna i powłoka wewnętrzna – PCM, czyli materiały podlegające przemianom fazowym [1].

Ogólna charakterystyka komponentów energetycznych przegrody

Nowoczesne rozwiązania materiałowe, aktywizujące energetycznie przegrodę wielowarstwową, wchodzi w skład systemów:

- **czynnych** (aktywnych) – angażujących instalacje i urządzenia w celu pozyskania energii promieniowania słonecznego do celów użytkowych; w związku z ich użyciem aktywizacja przegrody nabiera podwójnego znaczenia;

- **biernych** (pasywnych) – stanowiących podstawowe elementy strukturalno-materiałowe budynku, stosowane w celu wykorzystania energii promieniowania słonecznego do ogrzewania i utrzymania właściwego komfortu cieplnego pomieszczeń.

Systemy aktywne, aby stać się integralną częścią przegrody, muszą być przymocowane do struktury budynku

bez udziału konstrukcji wyłącznie im przypisanej, czyli dodanej do właściwej obudowy. Warunek ten spełniają:

- zintegrowane struktury fotowoltaiczne (BIPV – ang. building integrated photovoltaics);

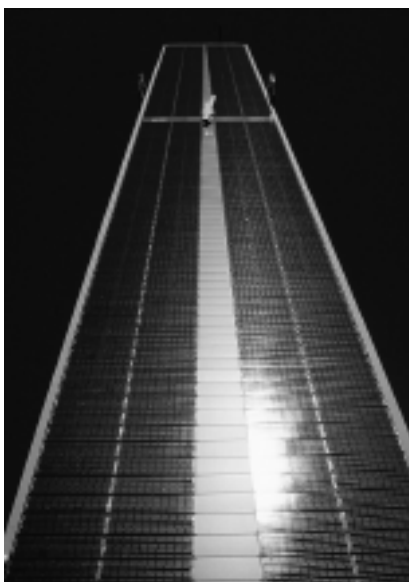
- zintegrowane systemy termalne (BIST – ang. building integrated solar thermal);

- zintegrowane hybrydy fotowoltaiczno-termalne (BIPV/T – ang. building integrated photovoltaic/thermal),

W wymienionych systemach panele fotowoltaiczne lub/i kolektory słoneczne stają się elementami poszycia ścian i dachów (fotografia) i będąc okładziną, przejmują jej podstawowe funkcje:

- chronią warstwę termoizolacyjną przed oddziaływaniem czynników zewnętrznych;

- odpowiadają za estetykę obiektu. Ponadto wnoszą nową wartość, pozwalając w użyteczny sposób zagospodarować dużą powierzchnię fasad i dachów. W zależności od rodzaju systemu dostarczają one energię na potrzeby energetyczne budynku. Jest to możliwe dzięki konwersji fototermicznej, zachodzącej w systemach termalnych, a także



Zintegrowane z fasadą struktury fotowoltaiczne. Wieża kościelna w Steckborn

[Fot: A. Lisik]

konwersji fotoelektrycznej, która ma miejsce w systemach fotowoltaicznych i fotowoltaiczno-termalnych. W pierwszym przypadku otrzymujemy ciepło do celów grzewczych budynku, a w drugim wytwarzana jest energia elektryczna przede wszystkim do zasilania urządzeń. Przy jej produkcji wyzwala się ciepło odpadowe, które można spożytkować do ogrzewania pomieszczeń. Fakt ten staje się podstawą współdziałania struktur fotowoltaicznych i termalnych (BIPV/T).

W ramach systemów pasywnych do konstruowania ścian wielowarstwowych można stosować następujące grupy nowatorskich rozwiązań materiałowych:

- transparentne izolacje termiczne (TIM – ang. transparent insulating material, TWD – niem. Transparente Wärmedämmung);

- materiały zmiennofazowe (PCM – ang. phase change materials).

Transparentne izolacje termiczne mają dobre właściwości termoizolacyjne, dzięki którym tworzą barierę zabezpieczającą wewnątrz budynku przed stratami ciepła. W przegrodzie mogą zatem zająć miejsce tradycyjnej izolacji cieplnej. Z uwagi na swoją przezierność dostarczają podobnych korzyści jak ściana przeszklona: gwarantują zyski ciepłe z izolacji i zapewniają transmisję światła dziennego. W ścianach wielowarstwowych są to najczęściej płyty komorowe z komorami o przekroju kapilarnym, ułożonymi prostopadle do powierzchni absorbującej energię z pro-

mieniowania słonecznego. Niską przewodność cieplną osiągają dzięki małej gęstości materiału i znacznemu udziałowi gazów wypełniających przestrzenie komorowe. Wymianę ciepła utrudnia ograniczona konwekcja w rurkowatych komorach o jak najmniejszych przekrojach [2]. Wysoką transmisyjność promieniowania podczerwonego (ok. 70%) uzyskują przez wykorzystanie materiałów transparentnych: szkła i tworzyw sztucznych na bazie akrylu (poliwęglan, poli-metakrylan metylu). Parametr ten nie zmienia się znacznie przy zwiększeniu grubości warstwy. Można zatem poprawiać właściwości termoizolacyjne przegrody bez ograniczania przepuszczalności promieniowania słonecznego.

Materiały zmiennofazowe aktywizują energetycznie przegrodę przez swoją zdolność wchłaniania, gromadzenia i uwalniania ciepła na skalę dotąd niespotykaną w budownictwie energooszczędnym. Pomimo małej gęstości ich pojemność cieplna osiąga wartość $18 \text{ MJ}/(\text{m}^3\text{K})$ i jest wielokrotnie większa niż materiałów powszechnie uznanych za akumulacyjne (kamień, beton, cegła). O znakomitej zdolności wchłaniania i uwalniania ciepła decyduje dobra przewodność cieplna materiałów zmiennofazowych. Podstawą ich funkcjonowania są cykliczne zmiany stanu skupienia (topnienie-zestalenie), wywołane fluktuacją temperatury pomieszczenia w zakresie dopuszczalnym przez komfort cieplny. Ulegając stopieniu, materiały PCM przejmują ciepło, które przechowują w postaci utajonej, czyli bez wyczuwalnej zmiany swojej temperatury. Obniżenie temperatury otoczenia inicjuje proces zestalania substancji, w efekcie którego uwalnia się ciepło. Efektywność zachodzących procesów i zdolność akumulacyjna pozwalają zapewnić stabilne warunki termiczne środowisku wewnętrznemu, korzystając w zimie z zysków słonecznych, a latem funkcjonując jak odbiornik ciepła. Dzięki temu materiały zmiennofazowe, obejmujące m.in. parafiny, kwasy tłuszczowe, sole i ich hydraty, umożliwiają ogrzewanie i chłodzenie budynku [2, 3, 6].

Sposoby modyfikacji przegrody wielowarstwowej

Nowe komponenty energetyczne mogą zaktywizować pojedyncze warstwy przegrody zewnętrznej, pobudzając do współpracy tradycyjne materiały:

- **powłoka ochronna zewnętrzna** – istnieją dwa sposoby modyfikacji,

pierwszy, występujący w zintegrowanych systemach termalnych, polega na wykorzystaniu naturalnych pokryć ceramicznych lub blaszanych, które nagrzewają się wskutek nasłonecznienia. Kolektor powietrzny przejmuje od nich ciepło i dostarcza je wymuszonym przez wentylator obiegiem do centrali wentylacyjno-grzewczej [4]. Drugi sposób zakłada zastosowanie, zamiast tradycyjnych rozwiązań materiałowych, różnych systemów przekryć dachowych (BIPV, BIST i BIPV/T) w celu pozyskania energii elektrycznej lub/i termicznej z promieniowania słonecznego. Mogą to być kolektory płaskie, powietrzne lub cieczowe kolektory hybrydowe, fotowoltaiczne panele okładzinowe na fasadach, cienkowarstwowe ogniwa w arkuszach, pokrywające całą powierzchnię dachu i odwzorowujące pokrycie z płaskiej blachy, fotowoltaiczne gonty w postaci arkuszy imitujących pokrycia bitumiczne, a także dachówki ceramiczne lub blachodachówki [5];

- **warstwa izolacyjna** – zestawy szklane z izolacją transparentną (TIM) zastępują powszechnie stosowane rozwiązania termoizolacyjne. Przepuszczając promieniowanie słoneczne uaktywniają one ścianę konstrukcyjną, która ze względu na swoją masę staje się w okresie grzewczym magazynem ciepła. W celu ograniczenia zysków cieplnych latem są one zintegrowane z osłonami przeciwsłonecznymi lub też zdystansowane od ściany akumulującej ciepło za pomocą szczeliny wentylowanej. Zestawy szklane z TIM są mocowane za pomocą rusztu do masywnej ściany budynku. Alternatywą są kapilarne płyty komorowe bezpośrednio mocowane do muru;

- **warstwa akumulacyjna** – wskutek zachowania tradycyjnej izolacji termicznej w ścianie materiały zmiennofazowe nie mogą gromadzić ciepła pochodzącego z bezpośredniego nasłonecznienia przegrody, lecz reagują wyłącznie na temperaturę wewnątrz budynku. Warstwę akumulacyjną tworzą porowate elementy budowlane (cegły, bloczki betonowe), których pory wypełnione są materiałem zmiennofazowym, np. bloczki ze spienionego betonu z dodatkiem zawiesiny Micronal. W przypadku jeśli ta warstwa nie pełni funkcji nośnej, to można wprowadzić zasobniki wypełnione PCM z dodatkiem stabilizatorów;

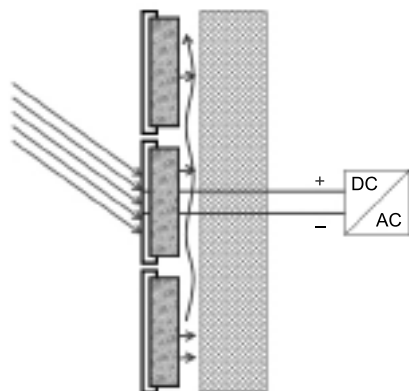
- **wykończeniowa warstwa wewnętrzna** – zaprawa gipsowa z dodatkiem materiału zmiennofazowego w po-

stacji mikrogranulatu stosowana jest w celu stabilizacji temperatury w pomieszczeniu [6].

Aktywizacja i współpraca dwóch warstw przegrody zewnętrznej daje możliwość osiągnięcia lepszych efektów energetycznych:

■ **łączenie BIPV i PCM** – podczas konwersji fotoelektrycznej wzrasta temperatura ogniwa PV, co zmniejsza jego sprawność i maksymalną moc. Aby ustabilizować temperaturę, można wykorzystać właściwości materiałów zmiennofazowych do odbioru ciepła. Dużego znaczenia nabierają ich zdolności akumulacyjne i sposób przechowywania ciepła. Płaskie, ożebrowane zasobniki wypełnione materiałami zmiennofazowymi są umieszczane w przegrodzie tuż za panelami PV. Materiał zmiennofazowy przejmuje ciepło wygenerowane pracą ogniw, zmienia swój stan skupienia i będąc cieczą, gromadzi je w sobie. Dzięki temu nie zmienia się temperatura zasobnika, który tym sposobem oddziałuje na moduły PV jako powierzchnia chłodząca. W wyniku krystalizacji substancji PCM uwalnia się ciepło, które w celach grzewczych przekazywane jest do wnętrza budynku (rysunek 2) [6, 7];

■ **łączenie TIM i BIST** – izolacja transparentna w zestawie szklanym z naniesionym absorberem na tylną powierzchnię szkła pozyskuje ciepło z promieniowania słonecznego. Następnie jest ono przechwytywane przez kolektor cieczowy zainstalowany tuż przed warstwą konstrukcyjną przegrody i doprowadzone za pomocą instalacji systemu do zbiornika akumulacyjnego (np. zasobnika wody), znajdującego się w innej części budynku. Proces ten przebiega w sposób kontrolowany za pomocą ze-



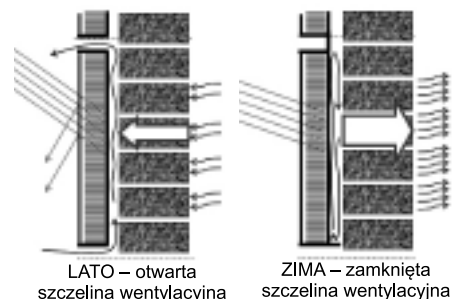
Rys. 2. Schemat funkcjonowania połączenia systemów BIPV i PCM w ramach przegrody [Opracowanie: J. Figaszewski]

społu sterującego. Taki układ hybrydowy ma dwie zalety: ciepło do celów grzewczych przekazywane jest z dłuższym przesunięciem w czasie oraz dostarcza do pomieszczeń usytuowanych od północy, niemających możliwości korzystania z nasłonecznienia [8];

■ **łączenie TIM i PCM** – transparentne materiały termoizolacyjne w zestawach szklanych przylegają do warstwy akumulacyjnej, bądź też zachowują w stosunku do niej pewien dystans, tworząc szczelinę wentylacyjną. W okresie grzewczym chronią one budynek przed stratami ciepła, ale także pozyskują energię z promieniowania słonecznego, która gromadzi się w masie termicznej. Warstwę akumulacyjną stanowią porowate materiały budowlane nasycone PCM lub zasobniki wypełnione materiałem zmiennofazowym. W drugim przypadku zwiększona przepuszczalność PCM w fazie ciekłej w ciągu dnia pozwala na transmisję światła do wnętrza. W okresie letnim wentylowana szczelina między TIM a PCM ogranicza zysk z promieniowania słonecznego. Ułatwia również pozbycie się nadmiaru ciepła z pomieszczenia w sytuacji, kiedy warstwa akumulacyjna z PCM funkcjonuje jako powierzchnia chłodząca w warunkach zmiennych obciążeń cieplnych wnętrza (rysunek 3).

Podsumowanie

Dzięki współczesnym rozwiązaniom materiałowym (BIPV, BIST, BIPV/T, TIM, PCM) przegroda wielowarstwowa przestaje wyłącznie chronić i izolować wnętrze budynku. Zwiększa ona swój udział w procesach gospodarowania energią o różnej jakości, stając się źródłem wymiernych korzyści, odczuwalnych w bilansie energetycznym działania. Zakres jej działań zależy od liczby elementów składowych i stopnia ich współpracy. Wytwarza ona energię elektryczną oraz wspomaga pracę aktywnych systemów w ramach energetyki cieplnej. W szczególnych przypadkach przegroda wielowarstwowa pośredniczy w transmisji światła dziennego w celu poprawy warunków oświetleniowych wnętrza, co w dalszej konsekwencji służy ograniczeniu udziału światła sztucznego. Ponadto, w ramach systemów pasywnych, bierze bezpośredni udział w pozyskaniu energii promieniowania słonecznego w celach grzewczych, pochłania jej ciepło i gromadzi na znacznie większą skalę niż w powszechnie stosowanych rozwią-



Rys. 3. Schemat funkcjonowania połączonych systemów TIM i PCM w ramach przegrody wielowarstwowej

[Opracowanie: J. Figaszewski]

zaniach, a następnie uwalnia je i rozprządza. Odgrywa też rolę w strategii chłodzenia, kształtując właściwy mikroklimat cieplny pomieszczeń. Udoskonalona w ten sposób przegroda wielowarstwowa daje początek urzeczywistnieniu idei ściany wielofunkcyjnej Mike'a Davisa (ang. polyvalent wall, dynamic skin). Jej teoretyczny model z 1981 r. zakładał pełną integrację i współdziałanie wszystkich warstw w celu osiągnięcia żądanych efektów energetycznych.

Literatura

- [1] Figaszewski J., *Aktywizacja energetyczna przegrody w związku z użyciem nowych materiałów [w:] Kierunki rozwoju budownictwa energooszczędnego i wykorzystania odnawialnych źródeł energii na terenie Dolnego Śląska* pod red. A. Bać i J. Kasperskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, 145 – 155.
- [2] Chwieduk D., *Energetyka słoneczna budynku*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2011.
- [3] Jain L., Sharma S. D., *Phase change materials for day lighting and glazed insulation in buildings*, Journal Of Engineering Science And Technology, Vol. 4, No. 3, 2009, 322 – 327.
- [4] Archibald J., *Building integrated solar thermal roofing systems history, current status and future promise*, American Solar Roofing Company, 1999 [w:] Global Solar Thermal Energy Council, <http://solarthermalworld.org/content/building-integrated-solar-thermal-roofing-systems-history-current-status-and-future-promise>.
- [5] Eiffert P., Kiss G., *Building integrated photovoltaic designs for commercial and institutional structures: a sourcebook for architects* [w:] National Renewable Energy Laboratory, <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/25272.pdf>.
- [6] Harland A., Mackay C., Vale B., *Phase change materials in architecture*, SB10 New Zeland [w:] Branz, <http://www.branz.co.nz/>
- [7] Huang M. J., Eames P. C., Norton B., *Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials*, Int. J. Heat and Mass Transfer, vol. 47, 2004, 2715 – 2733.
- [8] Radziszewska-Zielna E., *Metody ocieplania ścian za pomocą transparentnej izolacji cieplnej*, Przegląd Budowlany, luty 2004.