

Przegrody kolektorowo-akumulacyjne



dr inż.

JERZY SZYSZKA

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Politechnika Rzeszowska

ORCID: 0000-0002-3898-7491

Potrzeba redukcji energii konwencjonalnej związanej z użytkowaniem obiektów budowlanych stanowi inspirację do poszukiwania nowatorskich rozwiązań zewnętrznych ścian budynku. Znaczny potencjał w tym zakresie posiadają tzw. przegrody kolektorowo-akumulacyjne (PKA), nazywane także od nazwiska ich propagatora Felixa Trombe ścianami Trombe'a (TW).

Prace nad możliwością wykorzystania fototermicznej konwersji promieniowania słonecznego do poprawy bilansu termicznego ścian prowadzone są w wielu ośrodkach naukowych na całym świecie. W artykule przedstawiono wybrane koncepcje przegród kolektorowych w kontekście ich efektywności cieplnej i możliwości wykorzystania także w warunkach klimatu występującego w Europie Centralnej i Wschodniej.

Podstawowa przegroda kolektorowo-akumulacyjna składa się z tzw. rdzenia (murowanego lub monolitycznego) oraz usytuowanego od strony zewnętrznej przeszklenia (rys. 1.). Przeszklenie umożliwia przenikanie krótkofalowego wysokoenergetycznego promieniowania słonecznego i jego absorpcję na powierzchni ściany. Najprostszym sposobem poprawy jej właściwości absorpcyjnych jest naniesienie powłoki malarskiej wykonanej na bazie czarnej lub ciemnej farby matowej, w rezultacie uzyskuje się współczynnik absorpcji na poziomie 0,95 [1]. Özbalta i in. [2] wykazał wpływ koloru absorbera na sprawność funkcjonowania ściany Trombe'a. Roczne zyski energetyczne spowodowane zastosowaniem ściany pomalowanej najciemniejszymi farbami były blisko trzykrotnie większe niż w przypadku zastosowania kolorów jasnych. Przepływ ciepła w kierunku środowiska zewnętrznego jest ograniczony dzięki termoizolacyjnym właściwościom przeszklenia w zakresie długofalowego promieniowania cieplnego. Wysoka wartość oporu termicznego przeszklenia warunkuje zasadność stosowania przegród kolektorowo-akumulacyjnych w Polsce [3]. Aby ograniczyć straty ciepła wywołane konwekcją, należy instalować je w bliskiej odległości od absorbera. Według Torcelliniego i in. [4] odległość tę należy przyjmować w przedzia-

le 2–5 cm. Za podstawowe kryterium doboru materiału do budowy rdzenia ściany przyjmuje się ich dużą pojemność cieplną. Wykonuje się go z betonu lub cegły grubości w zakresie od 10 do 41 cm [4]. Grubość rdzenia ma zasadniczy wpływ na zdolność do magazynowania ciepła oraz czas jego oddawania do wnętrza. Przepływ ciepła w typowej PKA niewentylowanej spowodowany jest zjawiskiem przewodzenia wewnątrz ściany. W efekcie przepływu fali termicznej od absorbera w stronę powierzchni wewnętrznej następuje oddawanie ciepła do przyległego pomieszczenia. Zjawisko to zachodzi do momentu powrotu ściany do wyjściowego stanu energetycznego. W zależności od ilości zaabsorbowanego promieniowania i pojemności cieplnej ściany czas tego zjawiska może przekraczać 100 godzin przy sprawności wykorzystania zysków ciepła wahającej się w przedziale 25–45%.

Przegrody PKA-MZF

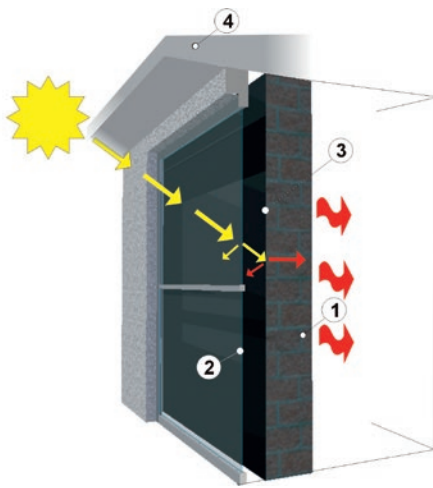
Sposobem zwiększenia pojemności cieplnej przegrody może być połączenie materiału, z którego wykonany jest rdzeń, z materiałem zmienno fazowym MZF (ang. *Phase Changing Materials* – PCM) [5]. Jest to związek chemiczny, który poddany oddziaływaniu temperatury przekraczającej wartość tzw. temperatury przemiany fazowej TPCH podczas zmiany stanu skupienia posiada zdolność absorbowania i akumulowania znacznej ilości energii 100–280 kJ/kg [6]. Wielkością charakteryzującą MZF oraz możliwością jego wykorzystania w budownictwie jest przede wszystkim zdolność do akumulacji ciepła, wyrażona wartością tzw. ciepła przemiany fazowej, oraz temperatura TPCH. Zmagazynowane w fazie ciekłej ciepło materiału MZF wraz z jego krzepnięciem jest od-

dawane do ściany z pewnym opóźnieniem, przedłużając efekt jej nagrzania. Wykorzystanie właściwości MZF wymaga pracy przegrody w temperaturze oscylującej w okolicach wartości TPCH. Największe przyrosty temperatury występują w okolicach absorbera i mogą przekraczać nawet 60°C. Przy powierzchni wewnętrznej ściany wartość temperatury waha się w okolicy 20°C.

Wśród zalet ścian modyfikowanych MZF wymienia się redukcję wywołanych przepływem ciepła fluktuacji temperatury, która przekłada się na poprawę komfortu użytkownika w przyległym do ściany pomieszczeniu. PKA-MZF zajmują mniej miejsca oraz są lżejsze w porównaniu ze ścianami masywnymi o tej samej pojemności cieplnej. Ścianka betonowa o grubości 0,15 m może być zastąpiona przez ściankę o grubości zaledwie 3,5 cm wykonaną z materiału zmienno fazowego, przy zachowaniu takiej samej pojemności termicznej [7]. Khalifa i Abbas [8] stwierdzili, że ścianka zawierająca kapsułkowaną sól uwodnioną o grubości 8 cm ma większą zdolność magazynowania ciepła niż 20-centymetrowej grubości ścianka betonowa. Ponadto redukowała amplitudę temperatury o 3°C i oddawała ciepło w nocy w czasie dwukrotnie dłuższym od ściany betonowej.

Ściana wentylowana

Ściany wentylowane wyróżnia wykorzystanie zjawiska konwekcji swobodnej lub wymuszonej działaniem wentylatora do dystrybucji zysków ciepła. Wzrostowi temperatury absorbera towarzyszy nagrzewanie znajdującego się przed nim powietrza. Dzięki usytuowanym w dolnej i górnej części ściany otworom wentylacyjnym możliwy jest przepływ ogrzewanego powietrza bezpośrednio

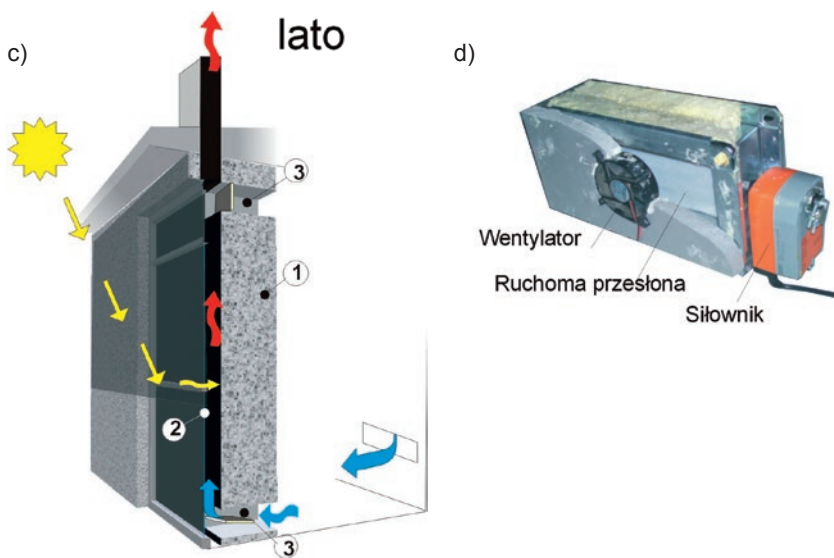
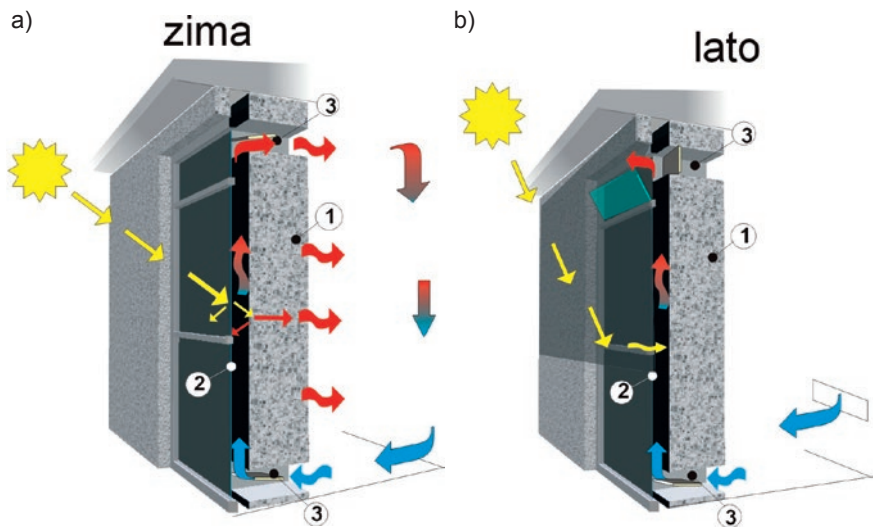


Rys. 1. Schemat ideowy typowej ściany Trombe'a: 1 – rdzeń, 2 – przeszklenie, 3 – absorber, 4 – element zacięający latem

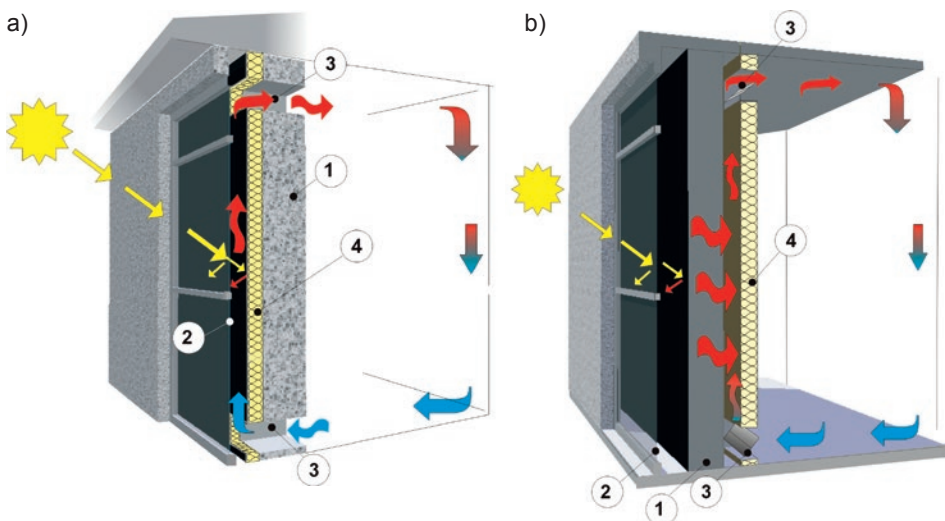
do przyległego pomieszczenia niezależnie od możliwości jego przenikania przez samą ścianę (rys. 2).

Rewersyjnemu przepływowi powietrza przez kanały w okresie niedostatecznego promieniowania słonecznego przeciwdziałają umieszczone w otworach wentylacyjnych zamykane kłapy, przepustnice itp. (rys. 2d). Optymalizacja czasu ich otwierania i zamykania może poprawić bilans cieplny ściany nawet o kilkanaście procent [9]. Przepustnice wykorzystuje się także do schładzania budynku w lecie. Ogrzewane w okolicy absorbera powietrze dzięki zjawisku konwekcji, wydostając się na zewnątrz budynku przez uchylone w górnej części przeszklenie, wytwarza podciśnienie. Intensyfikuje ono infiltrację powietrza przez rozszczelnione okna usytuowane od chłodniejszej strony budynku (rys. 2b). Poprawę infiltracji powietrza można uzyskać, łącząc ścianę z tzw. kominem słonecznym (rys. 2c) [10].

Publikowane w czasopiśmie naukowych informacje o wpływie wentylowanej ściany Trombe'a zintegrowanej z obudową budynku na poziom oszczędności energii do ogrzewania wykazują zależność sprawności nie tylko od parametrów fizycznych materiałów użytych do jej budowy, ale także od warunków klimatycznych, w których funkcjonują. Bojić i in. [11] wykazują redukcję energii do ogrzewania wynikającą z zastosowania wentylowanej ściany Trombe'a budynku zlokalizowanego we Francji na poziomie 20%. Jaber i in. w pracy [12] w wyniku optymalizacji powierzchni przegrody Trombe'a w kontekście kosztów związanych z jej wykonaniem i efektów ekonomicznych wynikających z osiągniętych zysków słonecznych wykazali możliwość maksymalnej redukcji zużycia energii na poziomie 37,5%. Zastosowana anali-



Rys. 2. Schemat ideowy wentylowanej ściany Trombe'a: a – funkcja zimowa, b, c – funkcja letnia, d – widok przykładowej przepustnicy instalowanej w kanałach wentylacyjnych, 1 – rdzeń, 2 – przeszklenie, 3 – otwory wentylacyjne



Rys. 3. Przegrody kompozytowe: a – izolacja umieszczona pod absorberem, b – izolacja usytuowana za rdzeniem ściany: 1 – rdzeń, 2 – przeszklenie, 3 – kanały wentylacyjne, 4 – warstwa termoizolacyjna

za LCC (ang. *Life Cycle Costing*) zakładała 30-letnią żywotność ściany oraz 65% sprawność konwersji fototermicznej. Przedstawione wyniki dotyczyły stosunku powierzchni przegrody Trombe'a do powierzchni południowej ściany wynoszącego 37%. Wśród zalet wentylowanej ściany kolektorowo-akumulacyjnej, obok większej od ścian niewentylowanych sprawności, wymienia się możliwość natychmiastowego wykorzystania zysków ciepła oraz opcję wspomaganie chłodzenia budynku latem. Podstawową wadą ścian tego typu, podobnie jak w ścianach niewentylowanych, jest stosunkowo niska wartość oporu termicznego, która w klimacie umiarkowanym lub chłodnym niesie ryzyko znacznych strat ciepła zimą w okre-

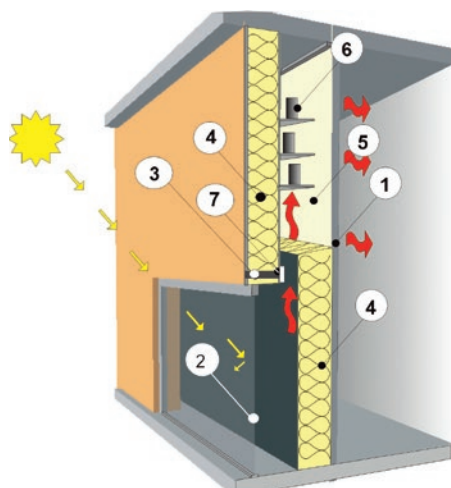
sach niedostatecznego promieniowania słonecznego.

Ściany kompozytowe

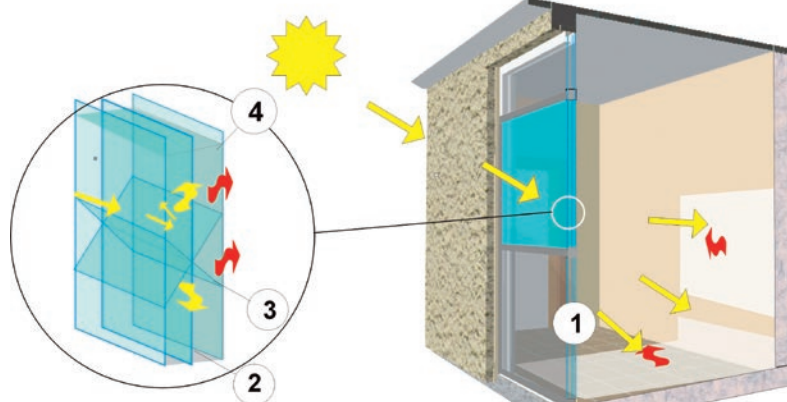
Rozwiązanie funkcjonujące pod nazwą kompozytowej ściany Trombe'a stanowi próbę eliminacji problemu niedostatecznego oporu termicznego przegród dzięki zastosowaniu warstwy termoizolacyjnej. Jest ona sytuowana pod absorberem lub za rdzeniem przegrody (rys. 3.).

Umieszczenie izolacji termicznej pod absorberem uniemożliwia magazynowanie przez rdzeń ciepła absorbowanego promieniowania. Funkcjonowanie termiczne przegrody kompozytowej zbliżone jest do działania kolektora powietrznego. Zyski ciepła

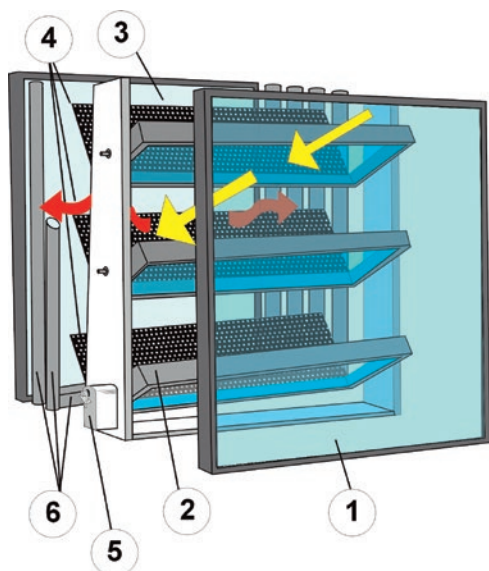
są doraźnie przekazywane do budynku wraz z krążącym strumieniem ogrzewanego powietrza. Badania wykonane w klimacie prowincji Qinghai w Chinach [13] wykazały, że sprawność cyrkulacji, obliczona jako stosunek ciepła wnikającego do budynku do sumy promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ściany, wzrosła o 56% w odniesieniu do typowej ściany Trombe'a funkcjonującej w takich samych warunkach. Wariant ściany kompozytowej, w którym ścianka termoizolacyjna została usytuowana za rdzeniem (rys. 3b), umożliwia zarówno magazynowanie ciepła, jak i jego transport w strumieniu cyrkulującego powietrza. Badania takiego wariantu, przedstawione w pracy Shena [14], wykazały



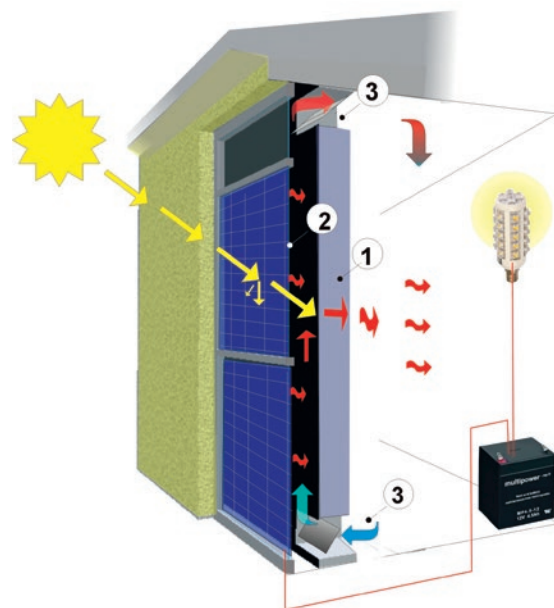
Rys. 4. Termiodiodowa TW: 1 – ścianka rdzenia, 2 – przeszklecie, 3 – szczelina wentylacyjna, 5 – komora powietrzna, 6 – pojemniki z MZF, 7 – separator



Rys. 5. Schemat wodnej przegrody kolektorowo-akumulacyjnej (Transwall): 1 – szklany pojemnik, 2 – szyba absorbująca, 3 – wkładki rozpraszające, 4 – zabarwiona woda



Rys. 6. Interaktywna Transparentna TW: 1 – przeszklecie zewnętrzne, 2 – przeszklecie środkowe (okno żaluzjowe), 3 – przeszklecie wewnętrzne, 4 – ruchomy absorber perforowany, 5 – siłownik obracający szyby żaluzjowe, 6 – pojemniki z MZF



Rys. 7. PV PKA: 1 – rdzeń, 2 – przeszklecie zintegrowane z ogniwami PV, 3 – kanały wentylacyjne

większą skuteczność ściany kompozytywnej w porównaniu z klasyczną ścianą Trombe'a PKA funkcjonującą w klimacie chłodnym lub umiarkowanym.

Ściany kompozytowe posiadają znaczny opór termiczny, dzięki któremu przegroda doskonale zabezpiecza budynek przed niepożądaną wymianą ciepła zarówno w zimie, jak i latem. Dodatkową zaletą jest możliwość regulacji intensywności ogrzewania poprzez kontrolę intensywności cyrkulacji powietrza. Usytuowanie warstwy izolacyjnej od strony wnętrza budynku, w klimacie umiarkowanym i chłodnym, niesie jednak ryzyko kondensacji pary wodnej na powierzchni rdzenia i związanych z nią problemów eksploatacyjnych. Z tego względu w przegrodzie termiodiodowej (rys. 4.) zrezygnowano z takiej formy wymiany ciepła. Ściana wykorzystuje zjawisko konwekcji naturalnej do wymiany ciepła między położonym w jej dolnej części absorberem i znajdującymi się nad nim komorą powietrzną oraz ścianką wewnętrzną. W celu zwiększenia zdolności akumulacyjnych przewidziano możliwość zainstalowania pojemników wypełnionych MZF lub wodą na znajdującym się w komorze powietrznej ruszcie.

Przed możliwością przegrzewania ściany latem zabezpiecza usytuowany nad przeszkleniem separator odcinający przepływ ciepłego powietrza oraz szczelina wentylacyjna umożliwiająca jego wypływ na zewnątrz budynku. Sprawność wykorzystania zysków ciepła dochodzi do 20%, a dzięki naprzemiennie usytuowanej izolacji współczynnik przenikania ciepła nie przekracza wartości $U=0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Transparentne PKA

Cenną właściwością przegrody obok zdolności do odzysku i magazynowania ciepła z promieniowania słonecznego jest jej transparentność. Typowe okna posiadają największą sprawność chwilową w zakresie przepuszczania promieniowania słonecznego. Jednak efektywność wykorzystania zysków ciepła jest niska. W rozwiązaniu Transwall [15] podjęto próbę zmagazynowania zysków ciepła w szklanych zbiornikach wypełnionych wodą. Posiada ona ponad czterokrotnie większą wartość ciepła właściwego od typowych materiałów ściennych. W celu poprawy właściwości absorpcyjnych, oprócz zabarwienia wody, wewnątrz szklanego zbiornika umieszcza się szybę absorpcyjną oraz półprzezroczyste wkładki, które usztywniają zbiornik i rozpraszają przenikające promieniowanie słoneczne (rys. 5.). Zaletą rozwiązania jest przezroczystość przegrody oraz zdolność do oddawania zysków ciepła nawet po upływie kilku godzin po zachodzie słońca.

Jako główne wady Transwall wymienia się problemy wykonawcze i eksploatacyjne oraz małą izolacyjność termiczną. Kieru-

jąc się potrzebą poprawy oporu termicznego przy zachowaniu właściwości transparentnych, w autorskim rozwiązaniu Interaktywnej Transparentnej TW [17] zastosowano trzy warstwy przeszklenia dwukomorowe o współczynniku $U_g=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (rys. 6.).

Osiągnięto współczynnik przenikania ciepła $U=0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Środkowa warstwa przeszklenia została wykonana w technologii okna żaluzjowego. W momencie wystąpienia w przestrzeni międzyszybowej odpowiedniej temperatury siłownik uchyla środkowe szyby, eksponując przymocowany do nich perforowany absorber. Ciepło zaabsorbowanego promieniowania słonecznego jest akumulowane w rozmieszczonych po bokach zbiornikach wypełnionych MZF. Określona w badaniach polowych sprawność wykorzystania zysków dochodziła do 25%.

Hybrydowa TW

PVTW jest przykładem interesującego rozwiązania wykorzystującego konwersję fototermiczną oraz konwersję fotowoltaiczną (rys. 7.). Połączono w nim przeszklenie z ogniwami PV [16].

Ciepło odbierane z przestrzeni usytuowanej przed absorberem ogrzewa budynek, jednocześnie redukując przyrost temperatury ogniw PV, wywołując wzrost ich sprawności. Ponieważ pionowa orientacja ogniw latem obniża ich sprawność, podejmuje się próby ich integracji z ruchomymi żaluzjami, które instaluje się między absorberem i przeszkleniem. Rozwiązanie umożliwiłoby dobór kąta nachylenia ogniw, przy którym osiągnąłby maksymalną sprawność w dowolnej porze roku.

Podsumowanie

Przegrody słonecznie aktywne mogą stanowić alternatywę lub uzupełnienie tradycyjnych rozwiązań ścian zewnętrznych, a zwłaszcza osłonowych. Wpisują się w politykę Unii Europejskiej obligującą do zastępowania energii konwencjonalnej energią odnawialną. Podejmując decyzję o ich stosowaniu, należy uwzględnić specyfikę warunków klimatycznych. Nierównomierność promieniowania słonecznego na obszarze Polski predestynuje rozwiązania, które posiadają opór termiczny porównywalny z tradycyjnymi ścianami zewnętrznymi.

Projektując przegrody kolektorowo-akumulacyjne, należy uwzględnić ich funkcjonowanie latem. Wśród rozwiązań poprawiających ich efektywność w tym okresie wymienia się usytuowanie nad przegrodami zacieniające elementy budynku (np. daszki, okapy, balkony itp.), zewnętrzne żaluzje i okiennice czy zacieniające rośliny pnące, które zrzucają przed zimą liście (np. winobluszcz, rośliny strączkowe). ■

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
Szyszka Jerzy, 2020, Przegrody kolektorowo-akumulacyjne, Builder 270 (01).
DOI: 10.5604/01.3001.0013.6117

Bibliografia

- [1] Smolec W., Fototermiczna konwersja energii słonecznej, PWN, Warszawa 2000.
- [2] Özbaltalı T., Kartal S., Heat gain through Trombe wall using solar energy in a cold region of Turkey, "Sci. Res. Essays", Volume 5/2010.
- [3] Licholaj L., Starakiewicz A., Szyszka J., Badania transparentnej przegrody kolektorowo-akumulacyjnej, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej”, Rzeszów-Solina 2006.
- [4] Torcellini P., Pless S., Trombe walls in low-energy buildings: Practical experiences. Technical report, NREL Report No. CP-550-36277, 2004
- [5] Krasoń J., Możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych w pasywnych rozwiązaniach ściennych elementów murowych, JCEEA, t. XXXI, z. 61, 2014.
- [6] Musiał M., Zastosowania materiałów zmiennofazowych (PCM) w budownictwie; „Izolacje” 4/2015.
- [7] Tyagi V.V., Buddhi D., PCM thermal storage in buildings: a state of art, "Renewable and Sustainable Energy Reviews", Volume 11, 2007.
- [8] Khalifa A.J.N., Abbas E.F., A comparative performance study of some thermal storage materials used for solar space heating, Energy and Buildings, Volume 41, 2009.
- [9] Liu Y.W., Feng W., Integrating passive cooling and solar techniques in to the existing building in South China, Advanced Materials Research 2012.
- [10] Rabani M. et al., Empirical investigation of the cooling performance of a new designed Trombe wall in combination with solar chimney and water spraying system, Energy Build 2015.
- [11] Bojić M., Johannes K., Kuznik F., Optimizing energy and environmental performance of passive Trombe wall, "Energy & Buildings", Volume 70/2014.
- [12] Jaber S., Ajib S., Optimum design of Trombe wall system in Mediterranean region, "Solar Energy", Volume 85, 2011.
- [13] Ji J., Luo C. et al., An improved approach for the application of Trombe wall system to building construction with selective thermo-insulation façades, "Chinese Science Bulletin", Volume 54(11), 2009.
- [14] Shen J. et al., Numerical study on thermal behavior of classical or composite Trombe solar walls, "Energy and Buildings" 39/2007.
- [15] Nayak J.K., Transwall versus trombe wall: Relative performance studies, "Energy. Conversion and Management", Volume 27, Issue 4, 1987.
- [16] Koyunbaba K. et al., An approach for energy modeling of a building integrated photovoltaic (BIPV) Trombe wall system, "Energy and Buildings", 2011.
- [17] Szyszka J., Przegroda kolektorowo-akumulacyjna transparentna dla budownictwa, Zgłoszenie patentowe P.425203, Politechnika Rzeszowska, 2018.

Streszczenie: Przegrody kolektorowo-akumulacyjne W artykule omówiono wybrane koncepcje przegród kolektorowych w kontekście ich efektywności cieplnej. Wskazano właściwości, które powinny charakteryzować ściany słoneczne, aby można było stosować je w warunkach klimatu występującego w Europie Centralnej i Wschodniej.

Słowa kluczowe: przegrody kolektorowo-akumulacyjne, innowacyjne ściany

Abstract: Collector-storage walls. The article discusses selected concepts of collector-storage walls in the context of their thermal efficiency. The properties that should characterize the solar walls were indicated so that they could be used in the conditions of climate occurring in Central and Eastern Europe.

Keywords: collector-storage walls, innovative walls