

Tematyka artykułu była omawiana podczas III Ogólnopolskiej Konferencji Głównego Inspektora Nadzoru Budowlanego pt. Problemy techniczno-prawne utrzymania obiektów budowlanych, która odbyła się w styczniu 2014 r.

dr hab. inż. Halina Garbalińska, prof. ZUT*

Zastosowanie nowoczesnych materiałów w celu poprawy parametrów cieplnych przegród budowlanych

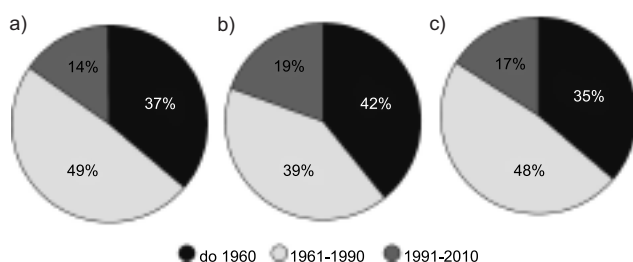
W e wszystkich krajach Unii Europejskiej sektor budownictwa odpowiada obecnie za ponad 40% zużycia energii. Szacuje się, że uzależnienie krajów UE od dostaw paliw i surowców energetycznych z krajów niestabilnych politycznie i gospodarczo wynosi 60–70%. Z tego względu podejmowanych jest wiele działań, programów i inicjatyw, służących poprawie bezpieczeństwa energetycznego krajów członkowskich przez ograniczenie zapotrzebowania na energię i zmniejszenie jej zużycia. Największy nacisk kładzie się na sektory budownictwa, przemysłu i transportu, które należą do najbardziej energochłonnych. Jednocześnie prowadzi się działania na rzecz zwiększenia udziału energii odnawialnych, w celu ograniczenia zużycia paliw konwencjonalnych oraz redukcji emisji CO₂ do atmosfery.

Obecnie wdrażane są zaostrzone wymagania [1] dotyczące projektowania i wykonawstwa budynków, służące zwiększeniu ich efektywności energetycznej [2]. Promowanie wiedzy o potrzebie poprawy efektywności energetycznej budynków jest podejmowane przez wiele instytucji i stanowi m.in. przedmiot kampanii Renovate Europe, w ramach której przygotowano raport *Europejskie budynki pod mikroskopem* [3] wskazujący, że wiele budynków w Europie zużywa zbyt dużo energii. Niemal 40% budynków mieszkalnych wybudowanych zostało przed 1960 r. (rysunek 1). Pochodzą więc z okresu, w którym nie przywiązywano specjalnej wagi do ilości zużywanej energii, a przepisy budowlane nie stawiały zbyt wysokich wymagań w tej dziedzinie. Oznacza to, że poprawa efektywności w tym sektorze nie może ograniczać się jedynie do projektowania nowych budyn-

ków, odpowiednio rozwiązanych pod względem energetycznym. Podejmowane muszą być również szeroko zakrojone działania na rzecz poprawy standardu energetycznego budynków istniejących, szczególnie tych o najgorszych parametrach. We wszystkich tych sytuacjach można uzyskać zwiększenie efektywności energetycznej, dzięki zastosowaniu materiałów nowej generacji, takich jak wyroby na bazie aerożeli, panele próżniowe VIP oraz materiały zmiennofazowe.

Wyroby na bazie aerożeli

Aerożele wytwarza się w wielu postaciach: m.in. monolityczne, granulkowe, proszkowe, powłokowe (grubości kilku milimetrów), cienkowarstwowe (grubości mniejszej niż 100 nm). Obecnie najbardziej popularny jest aerożel krzemionkowy. Wykorzystuje się go w postaci granulatu o wielkości ziaren $0,01 \div 4$ mm, który stanowi wypełnienie w matach z włókien, np. szklanych lub polimerowych. Nanometryczny rozmiar większości porów (średnio $20 \cdot 10^{-9}$ m) aerożelu krzemionkowego wyraźnie spowalnia przenoszenie ciepła przez znajdujące się w materiale powietrze, co obniża przewodność cieplną mat, których współczynnik przewodzenia ciepła wynosi $0,014 \div 0,020$ W/mK [4]. W związku z tym, że mają one grubość $3 \div 10$ mm, stosuje się je także w układach wielowarstwowych, choć dostępne są również sztywne płyty grubości do 50 mm. Znakomite parametry termoizolacyjne, ale również niezła wytrzymałość, izolacyjność akustyczna, ogniodporność, hydrofobowość oraz elastyczność mat aerożelowych predysponują je nie tylko do powierzchniowego docieplania przegród zewnętrznych, ale też do stosowania w sytuacjach, gdy tradycyjne termoizolacje nie zdają egzaminu, z uwagi chociażby na konieczne ograniczenie grubości izolacji. Ma to miejsce w przypadku np. ościeży okiennych i drzwiowych, wnęk podokiennych, wewnętrznych ścian i stropów oddzielających pomieszczenia ogrzewane od nieogrzewanych, płyt balkonowych, drzwi zewnętrznych itp. Czysty aerożel lub występujący w postaci granulatu, obok wymienionych właściwości, ma jeszcze jeden walor – przepuszcza światło. Cecha ta otwiera nowe możliwości kształtowania przegród zewnętrznych o dobrej izolacyjności termicznej, które poza pełnieniem tradycyjnych funkcji, związanych z ochroną przed czynnikami zewnętrznymi (zimna, gorąca, hałas itp.), dodatkowo umożliwią doświetlenie pomieszczeń światłem rozproszonym. Granulat aerożelowy, wypełniający przestrzenie międzyszybowe, wyraźnie poprawia cieplną i akustyczną izolacyjność okna. Współczynnik przenikania ciepła takiego okna może osiągać wartość $U \approx 0,4$ W/(m²K). Aerożel należy więc uznać za materiał dający duże możliwości



Rys. 1. Procentowy udział budynków wybudowanych w poszczególnych okresach w różnych rejonach Europy: a) Europa Południowa; b) Europa Północna i Zachodnia; c) Europa Centralna i Wschodnia [3]

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Budownictwa i Architektury

kształtowania nowoczesnych, energooszczędnych przegród budowlanych. Obok niekwestionowanych walorów, obecnie ma jedną podstawową wadę, jaką jest cena. Na razie maty aerożelowe są ponad dwudziestokrotnie droższe od standardowych materiałów termoizolacyjnych.

Panele próżniowe VIP (Vacuum Insulation Panel)

Przenoszenie energii w obrębie granulatu aerożelowego odbywa się przez przewodzenie oraz promieniowanie ciepłe. Ograniczenie skuteczności pierwszego mechanizmu uzyskuje się, wytwarzając podciśnienie zmniejszające przenoszenie ciepła przez powietrze. Natomiast redukcja przenoszenia ciepła przez promieniowanie następuje po wprowadzeniu dodatków obniżających jego przepuszczalność, np. grafitu (analogicznie jak ma to miejsce w szarych płytach styropianowych). Na rysunku 2 zilustrowano skuteczność obydwu tych zabiegów.



Rys. 2. Zależność współczynników przewodzenia ciepła granulatu aerożelowego od ciśnienia [4]

Składają się one z materiału mikro-nanoporowatego, zwanego „rdzeniem”, zapakowanego próżniowo w szczelną membranę („folię”). Do wykonania rdzenia panelu stosowane są włókna szklane, otwartokomórkowa pianka poliuretanowa, otwartokomórkowa pianka polistyrenowa, nanożel i krzemionka pirogeniczna [5]. Ta ostatnia stosowana jest najczęściej do wykonywania paneli VIP wykorzystywanych w budownictwie [6] i odznacza się niską przewodnością cieplną, bardzo dużą powierzchnią właściwą oraz nanoporowatością (> 90%).

Szczelna osłona pokrywająca rdzeń umożliwia utrzymanie we wnętrzu panelu znacznego podciśnienia po usunięciu z niego powietrza. Składa się ona zazwyczaj z trzech warstw: zewnętrznej warstwy ochronnej (np. z politereftalanu etylenowego) i środkowej warstwy zaporowej (np. z folii aluminiowej) oraz wewnętrznej warstwy uszczelniającej (np. z polietylenu) [7]. W celu wydłużenia okresu użytkowania paneli VIP pożądane jest umieszczenie wewnątrz rdzenia osuszaczy/pochłaniaczy. Ich zadaniem jest ciągła absorpcja pary wodnej (osuszacz) i gazów (pochłaniacz), które pozostały w rdzeniu lub dostały się do niego ze środowiska zewnętrznego. W przypadku zastosowania w rdzeniu krzemionki działa ona jako osuszacz, natomiast przy zastosowaniu innych materiałów wymagany jest dodatek osuszacza w postaci niewielkiej ilości żelu krzemionkowego [8].

Panele próżniowe mają wiele zalet związanych głównie z możliwością zapewnienia bardzo niskiego współczynnika przenikania ciepła przegród ($U < 0,10$ [W/(m²K)]), przy stosunkowo niewielkiej grubości izolacji. Główne wady to na razie bardzo wysoka cena w porównaniu z izolacjami tradycyjnymi oraz konieczność respektowania restrykcyjnych wytycznych dotyczących ich transportu, składowania i montażu.

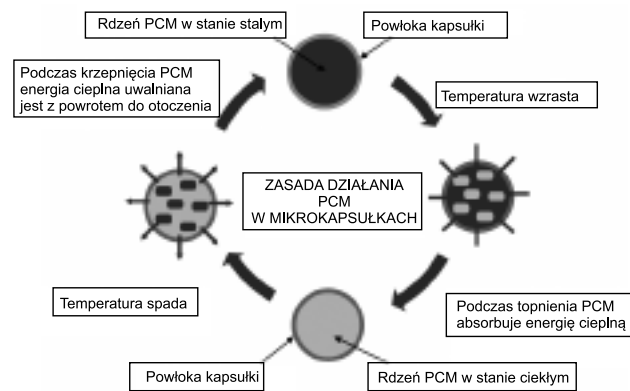
Materiały zmiennofazowe PCM

Miarą pojemności cieplnej materiałów budowlanych jest ich ciepło właściwe. W przypadku np. betonu, cegły, płyty gipsowej jego wartość wynosi ok. 1 kJ/(kg · K). Zdecydowanie wyższą efektywną pojemność cieplną wykazują materiały PCM (ang. *phase change materials*), gdyż akumulacja ciepła jest nie tylko wynikiem zwiększania

ich temperatury (ciepło właściwe, ang. *sensibleheat*), ale głównie jest związana z izotermiczną przemianą fazową, charakteryzującą się dużym ciepłem przemiany, tzw. ciepłem utajonym (ang. *latentheat*). Udział ciepła utajonego jest jednocześnie znacznie większy niż ciepła właściwego [9]. Innymi słowami, materiały zmiennofazowe to materiały zdolne do przechowywania i uwalniania dużych ilości energii przez topnienie i zestalanie w danej temperaturze. PCM wykorzystuje energię przechowywaną w wiązaniach chemicznych, a przepływ energii cieplnej następuje, gdy materiał zmienia fazę z ciekłej na stałą lub ze stałej na ciekłą.

Materiały zmiennofazowe powinny wytrzymywać tysiące cykli topnienia i zestalania bez zmiany początkowych parametrów technicznych. Z uwagi na wyraźne różne właściwości, materiały zmiennofazowe dzieli się na organiczne i nieorganiczne. Zarówno jedne, jak i drugie mogą mieć różną temperaturę zmiany fazy, przemiany ciepła utajonego, przewodność cieplną itp. [10]. W artykule [9] zestawiono tabelarycznie najbardziej popularne materiały organiczne i nieorganiczne – z podaniem podstawowych parametrów fizycznych, w tym temperatury przemiany fazowej, która powinna wynosić $18\text{ °C} \pm 30\text{ °C}$ [11]. Należy podkreślić, że materiały PCM służące do stymulowania komfortowej temperatury w pomieszczeniach mieszkalnych powinny reagować na stosunkowo niewielkie gradienty temperatury.

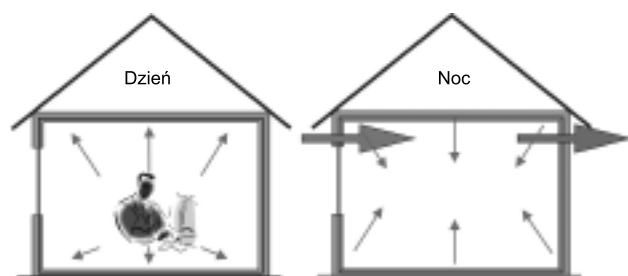
Na przestrzeni lat badano różne techniki wprowadzania materiału zmiennofazowego w materiał budowlany, takie jak: włączanie bezpośrednie; zanurzanie i kapsułkowanie [11]. Obecnie za najbardziej popularną metodę uznaje się w [12] mikrokapsułkowanie. Zasadę działania PCM w mikrokapsułkach przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat obrazujący zasadę działania PCM w mikrokapsułkach [12] wg [13]

Materiały zmiennofazowe w budownictwie pełnią rolę akumulatora ciepła lub chłodu, który pochłania ciepło z różnych źródeł (przede wszystkim z promieniowania słonecznego i źródeł wewnętrznych), a następnie uwalnia je do pomieszczenia w okresie niskiej temperatury w otoczeniu. Ogranicza to wahania temperatury w pomieszczeniu, redukując je do zakresu zgodnego z wymaganiami komfortu cieplnego. Na rysunku 4 schematycznie pokazano możliwość poprawy efektywności systemu klimatyzacji „free-cooling” na przykładzie pomieszczenia biurowego. Materiały PCM umieszczone w elewacjach oraz zasobnikach ulokowanych w wentylowanych przestrzeniach nad sufitem podwieszonym, a także w panelach podłogowych (takich pomieszczeń jak np. serwerownie). Ciepło wydzielane wewnątrz budynku jest gromadzone przez PCM (proces ten jest intensyfikowany przez wymuszenie cyrkulacji powietrza), a następnie uwalniane w nocy do chłodnego powietrza pobieranego z otoczenia w trakcie intensywnej wentylacji [9].

W artykule [12] omówiono różne sposoby wbudowywania PCM w elementy ścienne, w tym w płyty ścienne, materiały konstrukcyjne



Rys. 4. Schemat ilustrujący działanie PCM w systemie chłodzenia pomieszczeń biurowych [9]

ne, tynki, materiały termoizolacyjne. Przedstawiono także wybrane obiekty zrealizowane w ostatnich latach w Europie, w których zastosowano materiały zmiennofazowe.

Podsumowanie

Dokonujące się w ostatnich latach restrykcyjne zaostrzenie przepisów w krajach Unii Europejskiej [14] powoduje, że współczesne wyroby do izolacji cieplnej z założenia muszą odznaczać się jak najniższą wartością współczynnika przewodzenia ciepła λ . Najlepsze dostępne aktualnie na rynku tradycyjne wyroby, takie jak wełna mineralna, styropian EPS oraz polistyren ekstrudowany XPS, charakteryzują się w większości współczynnikiem $\lambda \geq 0,03$ W/mK, natomiast najniższym współczynnikiem λ odznaczają się obecnie wyroby zawierające aerożele krzemionkowe – od ok. 0,015 W/mK w matach oraz od ok. 0,007 W/mK w panelach próżniowych [4]. Wprawdzie wyroby te są wielokrotnie droższe od izolacji tradycyjnych, niemniej pierwsze dobre doświadczenia praktyczne oraz nakręcające koniunkturę przepisy związane z energooszczędnością niewątpliwie przyczynią się do obniżenia cen izolacji bazujących na aerożelach i stopniowego upowszechnienia ich w budownictwie.

Niekwestionowanym zadaniem tradycyjnych i nowoczesnych materiałów termoizolacyjnych jest redukcja strat ciepła w okresie grzewczym oraz zysków ciepła w okresie letnim, dzięki ograniczeniu przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne budynku. Należy jednak pamiętać, że w budynku oprócz strumieni ciepła przenikających przez poszczególne przegrody, pojawiają się również strumienie ciepła pochodzące ze źródeł wewnętrznych (oświetlenie, urządzenia elektryczne, użytkownicy) oraz strumienie energii promieniowania słonecznego wnikającego np. przez okna i akumulowanego we wnętrzu budynku. To, w jakim stopniu procesy te będą wpływały na bilans energetyczny, zależy m.in. od pojemności cieplnej poszczególnych elementów tworzących strukturę budynku. Istotne znaczenie ma również fakt, że duża pojemność cieplna elementów położonych od wnętrza wpływa korzystnie na mikroklimat pomieszczeń, łagodząc spadki temperatury w przerwach ogrzewania w okresie zimowym oraz opóźniając przegrzewanie pomieszczeń w czasie upalnych dni [15]. Zatem trudno uznać za w pełni optymalne przegrody z lekkich materiałów konstrukcyjnych i lekkich materiałów izolacyjnych. Wprawdzie znakomicie ograniczają one przenikanie ciepła, ale z uwagi na małą pojemność cieplną nie są w stanie absorbować energii z wymienionych źródeł. Takie walory wykazują m.in. stare budowle, o grubych kamiennych lub ceglanych murach, które bardzo powoli nagrzewają się w porze letniej i wolno wychładzają w okresie zimy. Wynika to z dużej bezwładności cieplnej będącej skutkiem ich masywnej struktury. Idąc zatem w kierunku rozwiązań korzystnych pod względem energetycznym, jak również mikroklimatycznym, należałoby preferować przegrody o dobrej izolacyjności (niska wartość współczynnika λ zew-

nętrznej termoizolacji), a jednocześnie o znacznej akumulacyjności (wysoka wartość pojemności cieplnej materiałów tworzących wewnętrzne warstwy poszczególnych przegród). Tę ostatnią uzyskuje się, dobierając odpowiednie materiały konstrukcyjne i wykończeniowe [16, 17, 18] oraz m.in. wykorzystując materiały zmiennofazowe.

Materiały PCM wkomponowane w różny sposób w strukturę budynku zwiększają jego pojemność cieplną. Duża bezwładność cieplna poszczególnych komponentów (zdolność do akumulacji ciepła) przyczynia się do poprawy efektywności energetycznej, co przejawia się zmniejszeniem zużycia energii niezbędnej do utrzymania warunków komfortu cieplnego. Zastosowanie PCM w budownictwie pozwala też na wykorzystanie energii ze źródeł odnawialnych bez ponoszenia dodatkowych kosztów inwestycyjnych.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 r. poz. 926).
- [2] Żurawski J.: Budownictwo zero- lub prawie zeroenergetyczne w warunkach polskich. Konferencja „Izolacje 2012”, Warszawa 1 – 2 marca 2012, s. 31 – 41.
- [3] Raport „Europejskie budynki pod mikroskopem”, www.renovate-europe.eu.
- [4] Geryło R.: Nowe technologie w termoizolacji budynków. Inżynier Budownictwa, nr 9/2013, s. 84 – 86.
- [5] Mukhopadhyaya P., Kumuran M.K., Normandin N. et al.: High performance vacuum insulation panel development of alternative core material. Journal of Cold Regions Engineering, vol. 22/2008, s. 103 – 123.
- [6] Simmler H., Brunner S.: Vacuum insulation panels for building application. Basic properties, aging mechanisms and service life. Energy and Building, vol. 37/2005, s. 1122 – 1131.
- [7] Wegger E., Jelle B. P., Sveipe E., et al.: Accelerated Laboratory Ageing of Vacuum Insulation Panels. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, April 12 – 15, 2011.
- [8] Alam M., Singh H., Limbachiya M. C.: Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – A review of the contemporary developments and future directions. Applied Energy, vol. 88/2011, s. 3592 – 3602.
- [9] Jaworski M.: Zastosowanie materiałów zmiennofazowych PCM w budownictwie. Materiały Budowlane 2/2012, s. 30 – 33.
- [10] Ermolli S. R., Koukari H., Braganca L.: Phase change materials in building elements. COST Action C25, Sustainability of constructions, Integrated approach towards sustainable constructions, Summary report of co-operative activities, vol. 1, Gutenberg, Malta (2011), s. 245 – 256.
- [11] Zhou D., Zhao C. Y., Tian Y.: Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. Applied Energy 92 (2012), s. 593 – 605.
- [12] Garbalińska H., Bochenek M.: Sposoby wbudowywania materiałów zmiennofazowych w elementy ściennie. Materiały Budowlane 2/2012, s. 36 – 38.
- [13] <http://www.microteklabs.com/how-they-work.html>.
- [14] Garbalińska H., Bochenek M.: Analiza porównawcza przebiegu implementacji i realizacji dyrektywy 2002/91/EC w wybranych krajach Unii Europejskiej. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Kwartalnik – Zeszyt 57 nr 4/2010, Rzeszów 2010, s. 155 – 160.
- [15] Garbalińska H., Strzałkowski J.: Analiza porównawcza dynamicznych charakterystyk cieplnych przegród wykonanych z różnych kompozytów betonowych”. Inżynieria i Budownictwo 6/2012, s. 307 – 311.
- [16] Garbalińska H., Bochenek M.: Izolacyjność termiczna a akumulacyjność cieplna wybranych materiałów ściennych. Czasopismo Techniczne 2-A/2011, Zeszyt 11, s. 89 – 96.
- [17] Garbalińska H., Strzałkowski J.: Wpływ techniki dozowania domieszki napowietrzającej na parametry wytrzymałościowe i cieplne betonu lekkiego. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 283, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z. 59 (2/2012/II), s. 209 – 218.
- [18] Garbalińska H., Strzałkowski J.: Zawilgocenie kruszywa lekkiego a parametry cieplne i wytrzymałościowe wybranych kompozytów betonowych. Materiały Budowlane 10/2013, s. 16 – 18.