

Studies of thermal properties of building composites with the addition of phase change material

Badania właściwości cieplnych kompozytów budowlanych z dodatkiem materiału zmiennofazowego PCM



Thermophys. properties of composites based on gypsum with the addn. of a phase change material (PCM) in the form of com. microgranulate used in various proportions (15–40% by mass) were detd. Heat capacity of the composites was detd. using the DSC method and thermal cond. was measured on a specially prepared measuring station, allowing for temp. measurement on the surface of samples and direct measurement of heat flux d. using heat flux sensor. Accurate results of enthalpy changes and effective sp. heat were obtained in the temp. range of 18–28°C and 20–26°C, which indicate a significant increase in the heat capacity of gypsum by adding PCM.

Keywords: thermal energy storage, phase change materials, thermo-physical properties, measurement

Prezentowano wyniki badań termofizycznych właściwości kompozytów na osnowie gipsowej (zaprawa gipsowa) z dodatkiem materiału zmiennofazowego (PCM) w postaci mikrogranulatu. Kompozyty gipsowe lub cementowe z dodatkiem PCM są stosowane w budownictwie w celu zwiększenia pojemności cieplnej struktury budynku. Duża pojemność cieplna budynku stabilizuje temperaturę wewnętrzną przy dużych wahaniami zarówno temperatury otoczenia, jak i takich czynników, jak nasłonecznienie i wiatr. Zwiększa również efektywność wykorzystania odnawialnych źródeł energii (m.in. energii słonecznej, geotermalnej), ponieważ elementy konstrukcji budynku stają się akumulatorami ciepła. Przedmiotem badań są właściwości istotne z punktu widzenia akumulacji ciepła i funkcjonowania akumulatora (wymienika ciepła), czyli pojemność cieplna i przewodność cieplna.

Słowa kluczowe: akumulacja ciepła, materiały zmiennofazowe, właściwości termofizyczne, pomiary

W krajach umiarkowanej strefy klimatycznej ok. 30% energii finalnej jest zużywane przez szeroko pojęty sektor budynków na potrzeby ogrzewania i klimatyzacji. Wszelkie działania mające na celu zmniejszenie strat ciepła (chłodu) z budynków mają więc ogromne znaczenie dla bilansu energetycznego całej gospodarki. Efektywność energetyczna budynków zależy od bardzo wielu czynników. Ze względu na zmienne warunki otoczenia zarówno w cyklu dobowym, jak i rocznym istotne znaczenie (aczkolwiek nie podstawowe) ma pojemność cieplna budowli. Przy dużej bezwładności cieplnej elementów konstrukcyjnych (ścian, stropów), waha-

nia temperatury wewnętrznej są znacznie mniejsze niż na zewnątrz; tłumiony jest także wpływ zmiennego, w cyklu dobowym, promieniowania słonecznego oraz wiatru¹⁾.

Współczesne budynki wykonywane są z lekkich materiałów, które mają wystarczające właściwości mechaniczne oraz bardzo dobre właściwości cieplne ze względu na opory cieplne przegród. Mają jednak bardzo małą pojemność cieplną. Zwiększenie pojemności cieplnej struktury budynku bez znaczącego zwiększenia jego masy jest możliwe przez wykorzystanie materiałów zmiennofazowych (PCM) i ich wkomponowanie w różne elementy budowli. Materiały zmiennofazowe znane są z zastosowań w układach akumulacji ciepła, są one wypełnieniem specjalnych zasobników ciepła. W zastosowaniach budowlanych materiały te pełnią także funkcję zasobników ciepła, jednakże są w specyficzny sposób zintegrowane z budynkiem. Jedną ze stosowanych technologii polega na wytworzeniu kompozytów z materiałów budowlanych (betonu, gipsu) i odpowiednio przygotowanego materiału PCM^{2, 3)}.

Wpływ materiałów budowlanych zawierających PCM na warunki cieplne w budynku zależy od takich właściwości, jak efektywna pojemność cieplna, charakterystyka zmian entalpii w funkcji temperatury i efektywna przewodność cieplna.



Dr hab. inż. Maciej JAWORSKI, prof. PW (ORCID: 0000-0001-8506-3534), w roku 2015 uzyskał stopień doktora habilitowanego na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Od 2016 r. jest zatrudniony na stanowisku profesora uczelni na tym samym wydziale. Specjalność – termodynamika, wymiana ciepła oraz magazynowanie energii.

* Adres do korespondencji

Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska, ul. Nowowiejska 21/25, 00-665 Warszawa, tel.: (22) 234-52-09, e-mail: maciej.jaworski@pw.edu.pl

W pracy przedstawiono wyniki badań właściwości kompozytów wykonanych z zaprawy gipsowej z dodatkiem mikrokapsułkowanego PCM. Wynikiem pomiarów kalorymetrycznych są krzywe zmian entalpii w funkcji temperatury dla różnych udziałów PCM w kompozycie, różnych materiałów PCM (różniących się temperaturą topnienia) oraz dla różnych szybkości zmian temperatury. Badania przewodności cieplnej przeprowadzono na specjalnym stanowisku, które pozwala także na badania charakterystyki cieplnej płaskich elementów budowlanych (np. fragmentów elewacji) w warunkach zmiennej temperatury otoczenia.

Część doświadczalna

Charakterystyka badanych materiałów

Przedmiotem badań były kompozyty budowlane wykonane z zaprawy gipsowej (Knauf) z dodatkiem materiału

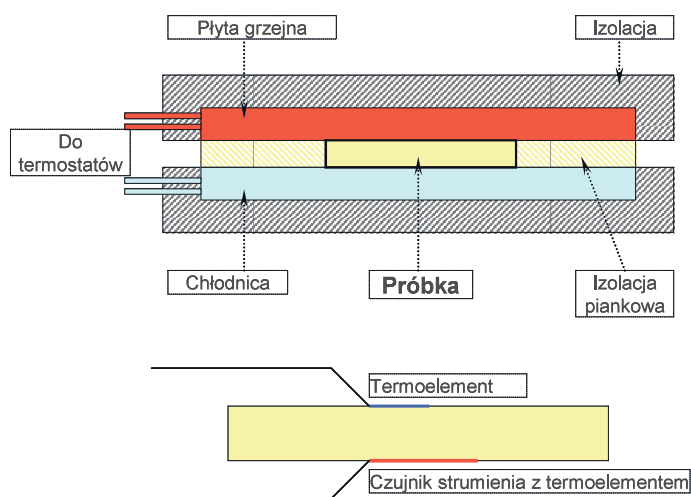


Fig. 1. Schematic diagram of the stand (plate apparatus) for measuring thermal conductivity

Rys. 1. Schemat stanowiska (aparatu płytowego) do pomiaru przewodności cieplnej

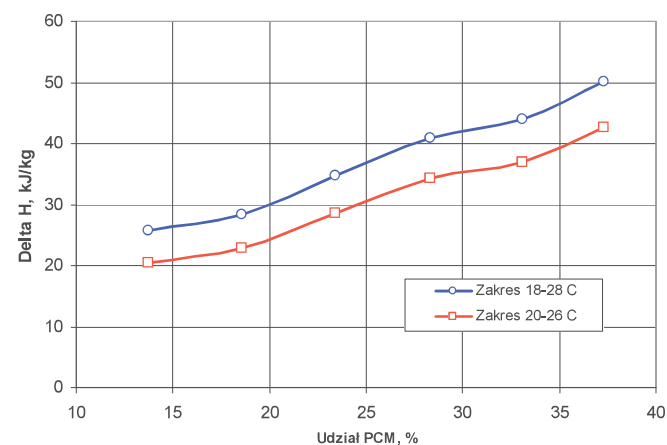


Fig. 2. Enthalpy change (left) and effective specific heat (right) determined for different temperature ranges depending on the actual PCM content in the composite with Micronal DS 5008X

Rys. 2. Zmiana entalpii (po lewej) oraz efektywne ciepło właściwe (po prawej) wyznaczone dla różnych zakresów temperatury w zależności od rzeczywistej zawartości PCM w kompozycie z domieszką Micronal DS 5008X

Table 1. Mass composition of the tested material samples

Tabela 1. Skład masowy próbek badanych materiałów

Kompozyt	Udział wyjściowy/udział rzeczywisty PCM, % mas.					
	15	20	25	30	35	40
Gips + Micronal DS 5008X	13,7	18,6	23,4	28,3	33,1	37,3
Gips + Micronal DS 5001X	13,7	18,4	22,6	27,6	32,0	36,8

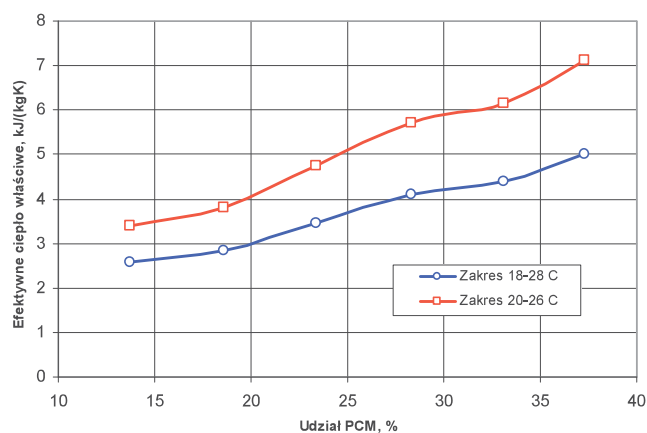
zmiennofazowego (PCM) Micronal (firmy BASF) w postaci mikrogranulatu (kuleczki o średnicy 50–500 μm), o zawartości PCM 15–40% mas. (dla suchej masy składników). Przy takiej zawartości PCM zaprawa gipsowa ma wyraźnie większą pojemność cieplną, nie tracąc jeszcze właściwości mechanicznych. Materiałami PCM były dwa rodzaje mikrogranulatu Micronal⁴), o nieznacznie różniących się temperaturach przemiany fazowej, czyli DS 5008X o temperaturze topnienia 23,5°C i DS 5001X o temperaturze topnienia 26,3°C.

Metodyka badań

Wykonano po 6 próbek dla każdego kompozytu, o różnych udziałach PCM. Liczbą charakteryzującą daną próbkę był udział PCM w suchej masie (przed dodaniem wody) z zakresu 15–40% mas. co 5%. Rzeczywisty udział PCM w próbkach finalnych był nieco mniejszy, co wynikało z konieczności dodania wody niezbędnej do związania gipsu. Skład próbek przedstawiono w tabeli 1.

Pomiary pojemności cieplnej

Pomiary pojemności cieplnej wykonano, używając kalorymetru skaningowego DSC-7 Perkin-Elmer, z dokładnością wyznaczania temp. $\pm 0,1^\circ\text{C}$, oraz pomiaru strumienia ciepła $\pm 1\%$ (dotyczy pomiarów ciepła właściwego i ciepła przemian fazowych). Pomiary przeprowadzono w zakresie temp. 15–30°C. Wyniki ilościowe określono na podstawie pomiarów wykonywanych z szybkością zmian temp.



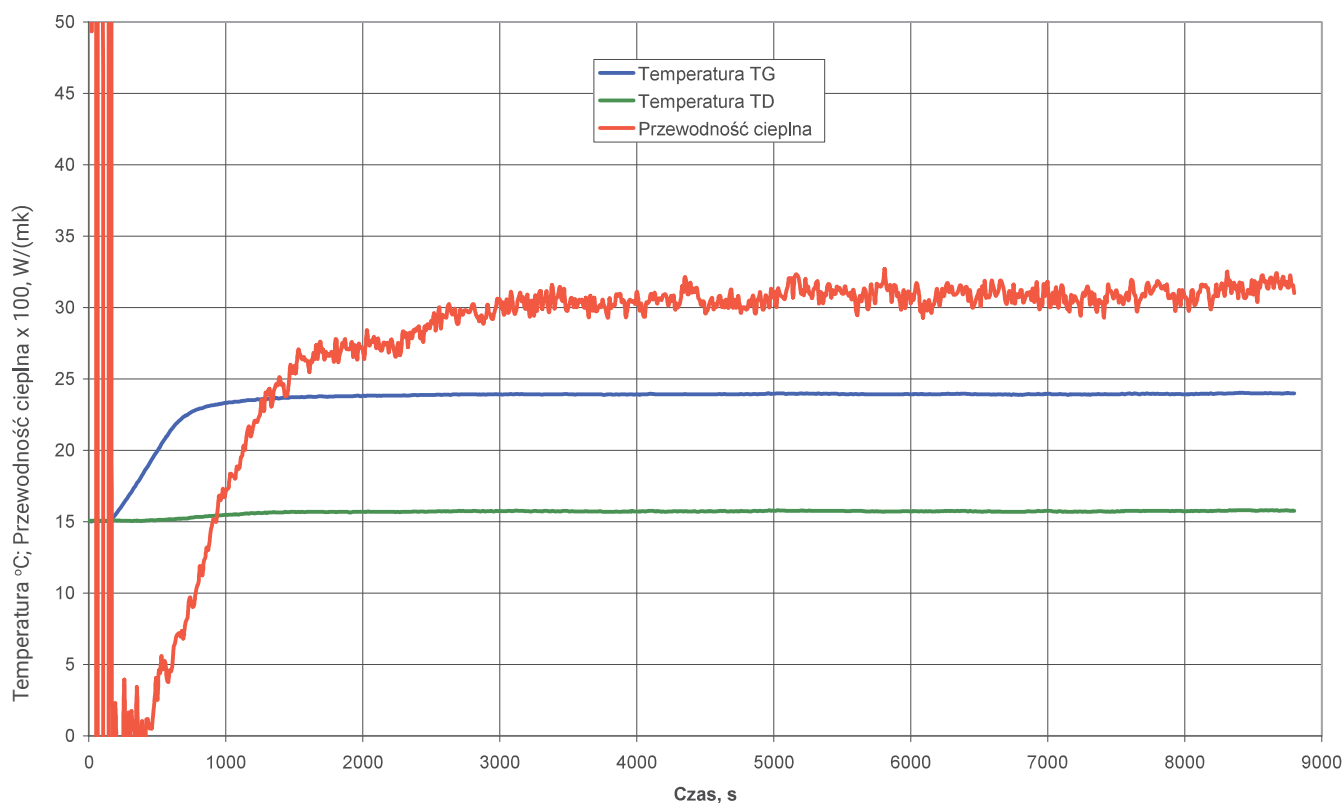


Fig. 3. The results of thermal conductivity measurement in the temperature range of 15–25°C

Rys. 3. Wyniki pomiarów przewodności cieplnej w zakresie temp. 15–25°C

2°C/min oraz 5°C/min. Zasadnicze pomiary wykonywano w czasie ogrzewania próbki. W celu określenia ewentualnych przechłódzeń przeprowadzono także pomiary w czasie chłodzenia próbek. Z uzyskanych krzywych DSC określono ciepło przemiany fazowej, zmiany entalpii oraz efektywne ciepło właściwe w różnych zakresach temperatury^{5, 6}.

Pomiary przewodności cieplnej

Pomiary przewodności cieplnej przeprowadzono, wykorzystując technikę pomiarową, która jest stosowana w aparatach płytowych. W oryginalnych układach, np. w aparacie Bocka, występowały duże opory kontaktowe między próbką a płytami grzejną i chłodzącą spowodowane trudnością wykonania próbki o gładkich i płaskich powierzchniach. Prowadziło to do zaniżenia uzyskiwanych wyników. W związku z tym przygotowano specjalne stanowisko pomiarowe, pozwalające na pomiar temperatury na powierzchni próbek oraz bezpośredni pomiar gęstości strumienia ciepła za pomocą mierników strumienia. Schemat stanowiska przedstawiano na rys. 1. Składało się ono z dwóch chłodziń i płyt aluminiowych o powierzchni 30 × 30 cm. Temperatura płyt była stabilizowana przez czynnik roboczy z termostatów. Płyty zaizolowano pianką silikonową o grubości 30 mm⁷.

Próbki do badań wykonywano w taki sposób, aby na dolnej powierzchni był zatopiony czujnik strumienia ciepła (w postaci płaskiej płytki), natomiast na górnej termoelement. Zaprawa z PCM była wylewana bezpośrednio

na dolną płytę na ułożone na niej 4 czujniki strumienia ciepła. Następnie na górną powierzchnię rozkładano 4 termoelementy i dociskano górną płytą tak, aby uzyskać gładką powierzchnię. Po wstępnym uformowaniu próbki (i zatopieniu termoelementów) zdejmowano górną płytę i suszono próbkę. Po wysuszeniu i zamontowaniu górnej płyty przestrzeń między płytami poza próbką wypełniano izolacją (pianką poliuretanową).

Układ pomiarowy składał się z następujących elementów: termopary typu K w osłonie teflonowej o średnicy 0,7 mm (firmy Omega), czujników strumienia typu HFS-4 firmy Omega (o charakterystyce w zakresie 1,79–1,89 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$) do pomiaru gęstości strumienia ciepła oraz do pomiaru temperatury, przetwornika analogowo-cyfrowego NI PCI-6281, M Series DAQ z blokiem przyłączeniowym SCB-68, oprogramowania przetwornika ACDC na bazie pakietu Lab View.

Wyniki badań

Wyniki pomiarów pojemności cieplnej dla kompozytu z domieszką Micronal DS 5008X przedstawiono na rys. 2. Podobne charakterystyki uzyskano dla kompozytu z domieszką drugiego materiału PCM, Micronal DS 5001X.

Pomiary przewodności wykonywano dla trzech zakresów temperatury: dla fazy stałej PCM w zakresie 15–25°C, dla fazy ciekłej PCM w zakresie 25–35°C; w zakresie temp.

20–30°C część materiału PCM w próbce była w fazie stałej, a część w fazie ciekłej.

Wartość przewodności cieplnej określano z zależności (1):

$$\lambda = \frac{(U - U_0) \cdot 10^6}{k_{HFS}} \frac{\delta}{(T_g - T_{HFS})} \quad (1)$$

w której U oznacza wskazanie czujnika strumienia w stanie końcowym (przy niezerowej różnicy temperatury), V ; U_0 wskazanie czujnika strumienia przy jednorodnej temperaturze próbki (stan początkowy); k_{HFS} charakterystykę czujnika strumienia ciepła ($\mu V/(W/m^2)$); δ grubość próbki, m; T_g temperaturę górnej powierzchni próbki, a T_{HFS} temperaturę dolnej powierzchni próbki. Rejestrowano wskazania czujników po osiągnięciu stanu ustalonego.

Na rys. 3 pokazano przykładowe wyniki rejestracji dla zakresu temperatury, w której PCM jest w fazie stałej. Pomiar wykonano dla próbki zawierającej 35% Micronalu DS 5008X (w suchej masie przed wymieszaniem z wodą), o wymiarach $100 \times 100 \times 21$ mm, z jednym czujnikiem strumienia i jednym termoelementem na górnej powierzchni. Na rys. 3 zaznaczono krzywe zmian w funkcji czasu, temperatury dolnej i górnej powierzchni próbki oraz wyznaczone ze wzoru wartości współczynnika przewodzenia ciepła.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono metodykę badań oraz wybrane wyniki pomiarów pojemności cieplej oraz przewodności cieplnej kompozytów gipsowych z dodatkiem materiałów zmienno-fazowych PCM do zastosowań budowlanych.

Nieco dokładniej omówiono oryginalne stanowisko doświadczalne do pomiarów przewodności cieplnej bada-

nych kompozytów, a także do badania charakterystyk materiałów budowlanych w zmiennych warunkach obciążeń cieplnych. Zamieszczono wstępne wyniki pomiarów przewodności cieplnej dla kompozytu zawierającego ok. 33% Micronalu DS 5008X. Przeprowadzone pomiary pozwoliły przede wszystkim na określenie procedury prowadzenia pomiarów, która uwzględnia m.in. dużą niestabilność wskazań stosowanych w pomiarach czujników strumienia ciepła.

W ramach badań pojemności cieplnej uzyskano dokładne wyniki zmian entalpii oraz efektywnego ciepła właściwego w zakresie temp. 18–28°C oraz 20–26°C. Wyniki pomiarów wskazują na wyraźne zwiększenie pojemności cieplnej gipsu przez dodanie materiału PCM. Efektywne ciepło właściwe badanych kompozytów przekracza wartość 5 kJ/(kg·K), nawet przy udziale PCM na poziomie 25%.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej Instytutu Techniki Ciepłej PW.

Otrzymano: 26-09-2024

Zrecenzowano: 16-10-2024

Zaakceptowano: 23-10-2024

Opublikowano: 20-11-2024

LITERATURA

- [1] N. Soares, J. Costa, A. Gaspar, P. Santos, *Energy Build.* 2013, **59**, 82.
- [2] Q. Al-Yasiri, M. Szabó, J. *Build. Eng.* 2021, **36**, 102122.
- [3] L. Liu, N. Hammami, L. Trovalet, D. Bigot, J.-P. Habas, B. Malet-Damour, *J. Energy Storage Part A* 2022, **56**, 105760.
- [4] <https://microteklabs.com>, dostęp 20.09.2024 r.
- [5] L.F. Cabeza, C. Barreneche, I. Martorell i in., *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, **43**, 1399.
- [6] A. Fernández, A. Solé, J. Giró-Paloma i in., *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, **43**, 1415.
- [7] M. Jaworski, S. Abeid, *J. Power Technol.* 2011, **91**, 49.

przemysł chemiczny
publikuj w trybie
OPEN ACCESS

KONTAKT Z NAMI

publikacje naukowe
www.przemyslchemiczny.com

redakcja czasopisma
przemyslchemiczny@sigma-not.pl