

dr inż. Magdalena Nakielska<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0001-6349-6988

dr inż. Anna Kaczmarek<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-9081-4520

# Wpływ dodatku materiału zmiennofazowego na poprawę parametrów cieplnych warstwy gruntującej pod tynk zewnętrzny

## *Impact of the phase-change material additive on the thermal parameters improvement of the primer for external plaster*

DOI: 10.15199/33.2022.11.55

**Streszczenie.** W dobie rosnącego zapotrzebowania na czystą energię świadomy dobór rozwiązań materiałowych pozwalający na jej magazynowanie i przetwarzanie staje się koniecznością. W tym celu zalecane jest zastosowanie materiałów, w których występuje zjawisko przemian fazowych. W artykule przedstawiono przegląd stosowanych obecnie materiałów zmiennofazowych, zwrócono uwagę na kryteria doboru z uwagi na ich właściwości termiczne, fizyczne i mechaniczne. Wykonano badania laboratoryjne w celu sprawdzenia aktywności materiału zmiennofazowego w warstwie gruntującej pod tynk zewnętrzny. Wyniki badań pozwalają stwierdzić, iż zasadne jest wykorzystanie nowoczesnych rozwiązań w przypadku tradycyjnego zastosowania.

**Słowa kluczowe:** materiał zmiennofazowy; badania laboratoryjne; współczynnik przewodzenia ciepła.

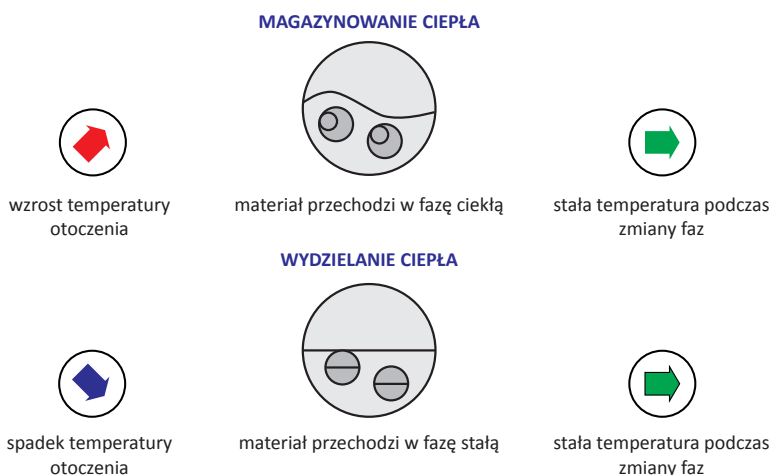
**Abstract.** In the era of growing demand for clean energy, conscious selection of material solutions allowing for its storage and processing becomes a necessity. For this purpose, materials that exhibit the phenomenon of phase transformations are recommended. This paper presents an overview of the currently used phase change materials, their selection criteria have been taken into account due to their thermal, physical, and mechanical properties. Laboratory tests were carried out to check the activity of the phase change material in the priming layer for exterior plaster. The obtained results show that using modern solutions for conventional applications is justified.

**Keywords:** phase-change material; laboratory tests; thermal conductivity coefficient.

Budownictwo zużywa znaczną ilość energii do produkcji wyrobów oraz wnoszenia i użytkowania obiektów. W dobie coraz większego zapotrzebowania na czystą energię konieczny jest świadomy dobór rozwiązań materiałowych pozwalający na jej magazynowanie i przetwarzanie [1, 2]. Materiał zmiennofazowy (PCM) akumuluje i magazynuje ciepło wraz ze wzrostem temperatury, a w momencie gdy temperatura otoczenia spada, zmagazynowane ciepło zostaje uwolnione [3÷5] – rysunek 1. Możliwość wprowadzenia niewielkich modyfikacji materiałowych może zatem skutkować znacznymi oszczędnościami. Dzięki zastosowaniu PCM (ang. phase change materials) istnieje możliwość magazynowania energii z promieniowania słonecznego.

Wyróżnia się dwie możliwości aplikacji materiałów zmiennofazowych: **system aktywny lub pasywny**. W aktywnym rozwiązaniu wprowadzamy materiał PCM np. do kolektorów słonecznych, a w systemie pasywnym, PCM stanowi dodatek do materiałów budowlanych. Takie rozwiązanie powinno być zinte-

growane z materiałem bazowym. Istotną zaletą tego systemu jest brak nadzoru, który wpływa na minimalizację kosztów, w porównaniu z systemem aktywnym. Natomiast wadą – brak możliwości modyfikacji i wpłynięcia na jego zachowanie. Literatura wskazuje na duży potencjał akumulowania ciepła



Rys. 1. Zasada działania materiałów zmiennofazowych [3]  
Fig. 1. The principle of operation of phase change materials [3]

<sup>1)</sup> Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: magdalena.nakielska@pbs.edu.pl

przez PCM, a tym samym polepszenie warunków termicznych wewnątrz pomieszczeń [6÷9].

Celem artykułu jest wskazanie zasadności zastosowania wybranego materiału zmiennofazowego jako dodatku do suchej mieszanki na bazie cementu, stosowanej jako warstwa gruntująca pod tynk cienkowarstwowy. Przeprowadzone badania mają charakter pilotażowy i stanowią podstawę do późniejszych badań i ich modyfikacji.

### Materiał i metody badań

W ramach badań wykorzystano system pasywny akumulacji ciepła z materiałem w postaci mikrosfer polimerowych, który bezpośrednio włączono do składu mieszanki cementowej. Wybrany materiał zmiennofazowy, zgodnie z właściwościami deklarowanymi przez producenta, charakteryzuje się parametrami technicznymi przedstawionymi w tabeli 1. Jest to rozwiązanie, które tworzy zabezpieczenie systemu rdzenia z wosku parafinowego o dużej czystości. Zgodnie z deklaracją producenta znajduje zastosowanie m.in. jako dodatek do tynków zewnętrznych.

W badaniach wykorzystano dwa rozwiązania materiałowe kompozytu cementowego, który stanowił warstwę gruntującą pod tynk cienkowarstwowy. Pierwsze stanowią próbki referencyjne (bez dodatku materiału zmiennofazowego), a w drugim przypadku badano próbki z dodatkiem 5% PCM w stosunku do ilości cementu (pozostałe składniki pozostawiono bez zmian). Ilość składników dobrano tak, aby uzyskać

**Tabela 1. Parametry techniczne zastosowanego PCM**

Table 1. Technical parameters of the applied PCM

Forma, rozmiar cząstki [µm]	Mikrogranulat w postaci proszkowej, 50-300
Gęstość nasypowa [kg/m <sup>3</sup> ]	300–400
Rozpuszczalność w wodzie	nirozpuszczalny
Zmiana fazy (topnienie) [°C]	25 ±1
Zmiana fazy (krystalizacja) [°C]	20 ±1
Ciepło topnienia (10–35°C) [J/g]	>97

konsystencję 6-8, wg stożka Abramsa. Większa ilość materiału PCM powodowała bowiem problemy z urabialnością. Nawet w przypadku 5% PCM niezbędne było wprowadzenie plastyfikatora, w celu przeciwdziałania efektom zagęszczenia. Skład ilościowy i jakościowy badanych próbek zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Skład ilościowy i jakościowy badanych próbek**

Table 2. Quantitative and qualitative composition of the tested samples

Składniki	Próbka referencyjna	Próbka z PCM
Cement portlandzki CEM I [g]	450	450
Piasek normowy [g]	1350	1350
Woda [cm <sup>3</sup> ]	225	225
PCM [g]	–	22,5
Plastyfikator poprawiający urabialność [cm <sup>3</sup> ]	–	3,5

W ramach badań pilotażowych określono nasiąkliwość, gęstość objętościową i wytrzymałość na ściskanie próbek. Badaniom poddano sześć próbek prostopadłościennych o wymiarach 40×40×160 mm (próbki referencyjne oraz próbki z PCM). Badanie nasiąkliwości wykonano, stosując procedurę normową [10] – fotografia 1. Wyniki w postaci średniej arytmetycznej z sześciu próbek przedstawiono w tabeli 3.



**Fot. 1. Badanie nasiąkliwości próbek**  
Photo 1. Testing the absorption of samples

Badanie gęstości objętościowej wykonano, stosując procedurę normową [11]. Przygotowane próbki zważono w stanie naturalnego zawilgocenia oraz po wysuszeniu do stałej masy. Następnie określono wymiary próbek za pomocą suwmiarki z dokładnością do 0,1 mm. Wyniki gęstości objętościowej próbek w stanie suchym zestawiono w tabeli 3.

**Tabela 3. Wyniki podstawowych właściwości próbek**

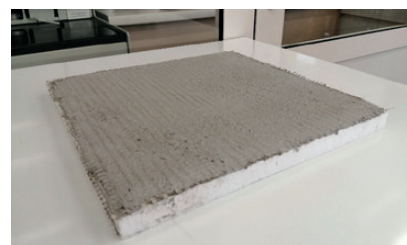
Table 3. Results of basic samples properties

Rodzaj próbki	Nasiąkliwość [%]	Gęstość objętościowa [kg/m <sup>3</sup> ]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Próbki referencyjne	3,2	2250	48,5
Próbki z 5% zawartością PCM w stosunku do cementu	1,5	1980	39,3

Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono zgodnie z normą [12]. Przygotowane beleczki obciążono równomiernie na środku ich rozpiętości aż do momentu złamania. Powstałe połówki beleczek umieszczono w maszynie wytrzymałościowej pomiędzy płytkami dociskowymi, o wymiarach 40×40 mm i grubości 10 mm, powierzchniami bocznymi, tak aby płaszczyzna uzyskana podczas wyrównania była ustawiona pionowo. Siła ściskająca narastała równomiernie, aż do momentu zniszczenia próbki. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 3.

Współczynnik przewodzenia ciepła określono zgodnie z normą [13]. Badania przeprowadzono na sześciu próbkach referencyjnych oraz sześciu próbkach z dodatkiem 5% PCM. Ich wymiary to: 300×300×20 mm (fotografia 2). Próbki badano w temperaturze 10; 20 i 30°C.

W przypadku obu rodzajów próbek podłoże stanowił polistyren ekspandowany EPS 0031 o grubości 20 mm i współczynnika przewodzenia ciepła  $\lambda = 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ , na który naniesiono przygotowaną warstwę gruntującą o grubości 3 mm z wtopioną siatką poliestrową. Uzyskane wyniki badania zestawiono w tabeli 4.



**Fot. 2. Przykładowa próbka do badania przewodności cieplnej**  
Photo 2. Pattern sample for testing thermal conductivity

**Tabela 4. Współczynnik przewodzenia ciepła badanych próbek**

Table 4. The thermal conductivity of the tested samples

Rodzaj próbki	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda$ [W/mK] w temperaturze		
	10°C	20°C	30°C
Próbki referencyjne	0,0431	0,0447	0,0466
Próbki z 5% zawartością PCM w stosunku do cementu	0,0407	0,0423	0,0439

Po badaniu przewodności cieplnej, w celu weryfikacji aktywności PCM, przygotowane próbki dodatkowo umieszczono w komorze klimatycznej o zróżnicowanych cyklach temperaturowych i stałej wilgotności. Eksperyment składał się z następującej sekwencji:

- 60 min temperatura 10°C i wilgotność powietrza 55% ± 1%;
- okres przejściowy 30 min;
- 60 min temperatura 20°C i wilgotność powietrza 55% ± 1%;
- okres przejściowy 30 min;
- 60 min temperatura 30°C i wilgotność powietrza 55% ± 1%;
- okres przejściowy 30 min;
- 60 min temperatura 10°C i wilgotność powietrza 55% ± 1%.

Po każdym cyklu temperaturowym wykonano pomiar próbek kamerą termowizyjną w celu sprawdzenia aktywności materiału zmienno-fazowego.

### Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie przeprowadzonych badań normowych, tj. nasiąkliwości, gęstości objętościowej i wytrzymałości na ściskanie (tabela 3) stwierdzono, że dodatek 5% PCM do kompozytu cementowego wpływa przewidywalnie na uzyskane wartości. Należy podkreślić, że dodatek 5% PCM zastąpił 5% cementu portlandzkiego CEM I. W wyniku zwiększonej porowatości matrycy cementowej nastąpiło zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie. Gęstość nasypowa użytego PCM jest stosunkowo mała, co odzwierciedla uzyskany wynik gęstości objętościowej. W porównaniu z próbkami referencyjnymi nastąpiło zmniejszenie gęstości o ok. 10%. Podobnie jest w przypadku nasiąkliwości.

Wynik znacznie się zmniejsza, na skutek zagęszczenia mieszanki przez wprowadzony granulaty i jest o ponad 50% mniejszy niż próbek referencyjnych. Ta właściwość jest korzystna zwłaszcza z uwagi na proponowane zastosowanie badanego materiału. Uzyskane wartości są akceptowalne i nie wpływają negatywnie na wykorzystanie kompozytu jako warstwy gruntującej pod tynki cienkowarstwowe.

Wyniki badania współczynnika przewodności cieplnej (tabela 4) dotyczą temperatury 10, 20 i 30°C. Uzyskane wartości wskazują na większą aktywność próbek z PCM w porównaniu z próbkami referencyjnymi. Choć współczynnik przewodzenia ciepła zwiększa się wraz z temperaturą, to uzyskane wyniki  $\lambda$  próbek z PCM są znacznie korzystniejsze w porównaniu z referencyjnymi. W próbkach z PCM w momencie, gdy temperatura otoczenia rośnie, wosk zawarty w zbiorniczkach topi się, a podczas spadku temperatury krzepnie, co odzwierciedlają uzyskane wartości. Wraz ze wzrostem temperatury, w próbkach następuje magazynowanie ciepła. W temperaturze 10°C materiał oddaje ciepło utajone, a wartość jego współczynnika przewodzenia ciepła jest najkorzystniejsza.

Należy podkreślić, że grubość warstwy gruntującej wynosiła 3 mm, a udział PCM stanowił jedynie 5% masy spoiwa. Uzyskane wyniki pozwalają na pozytywne prognozy dotyczące zastosowania PCM w warstwach gruntujących pod tynki cienkowarstwowe w przyjętych zakresach temperatury.

Dodatkowo aktywność PCM została zobrazowana za pomocą pomiaru temperatury na powierzchni próbki z zastosowaniem kamery termowizyjnej. W badaniu najbardziej zauważalna była obecność PCM w przejściu temperaturowym między 30 a 10°C, gdzie nastąpiło uwolnienie zmagazynowanego ciepła. Temperatura próbek z PCM była średnio ok. 3°C wyższa w porównaniu z próbkami referencyjnymi.

### Podsumowanie

Wykorzystanie materiałów zmienno-fazowych w warstwach gruntujących pod tynki cienkowarstwowe jest

korzystnym, energooszczędnym rozwiązaniem. Przeprowadzone badania potwierdzają zasadność zastosowania dodatku PCM w budownictwie. Należy podkreślić, że ustalenie optymalnej ilości dodatku PCM przyczyni się do efektywniejszego wykorzystania tego materiału. Trudności związane z urabialnością mieszanki należy zminimalizować przez zmianę przyjętej receptury.

### Literatura

[1] Alawadhi EM. 2008. Thermal analysis of a building brick containing phase change material, *Energy and Buildings* 40: 351-357

[2] Cabeza LF, Castellon C, Nogues M, Medrano M, Leppers R, Zubillaga O. 2007. Use of micro-encapsulated PCM in concrete walls for Energy savings. *Energy and Buildings* 39: 113-119.

[3] Melcer A, Klugmann-Radziemska E, Lewandowski WM. 2012. Materiały zmienno-fazowe. Właściwości, klasyfikacja, zalety i wady, *Przemysł Chemiczny* 7: 100-1011.

[4] Lamberg P, Lehtiniemi R, Henell AM. 2004. Numerical and experimental investigation of melting and freezing processes in phase change material storage, *Int. J. Therm. Sci.* 43/3: 277-287.

[5] Zwolińska M, Bogdan A. 2012. Związki zmienno-fazowe w zastosowaniach techniczno-użytkowych i ergonomicznych, *Ergonomia* 4: 22-25.

[6] Zalba B, Marín JM, Cabeza LF, Mehling H. 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering* 23: 251–283.

[7] Baetens R, Jelle BP, Gustavsen A. 2010. Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings* 42: 1361–1368.

[8] Soares N, Costab JJ, Gasparb AR, Santos P. 2013. Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency. *Energy and Buildings* 59: 82–103.

[9] Muruganatham K. 2010. Application of Phase Change Material in Buildings: Field Data vs. Energy Plus Simulation.

[10] PN-EN 1015-18:2003 Metody badań zapraw do murów – Część 18: Określenie współczynnika absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym stwardniałej zaprawy.

[11] PN-EN 1015-10:2001 Metody badań zapraw do murów – Część 10: Określenie gęstości wysuszonej stwardniałej zaprawy.

[12] PN-EN 196-1:2016-07 Metody badania cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości.

[13] PN-EN 12667:2002 Właściwości cieplne materiałów i wyrobów budowlanych – Określanie oporu cieplnego metodami osłoniętej płyty grzejnej i czujnika strumienia cieplnego – Wyroby o dużym i średnim oporze cieplnym.

Przyjęto do druku: 28.09.2022 r.