

mgr inż. Anna Zastawna-Rumin<sup>1\*)</sup>  
dr inż. Katarzyna Nowak<sup>1)</sup>

# Wpływ jednoczesnego zastosowania różnych materiałów fazowo zmiennych na warunki termiczne przegrody

*Impact of simultaneous use of different PCM on the thermal conditions of the partition*

DOI: 10.15199/33.2015.01.10

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych przegród zawierających materiały fazowo zmienne (PCM). Przedmiotem badań było jednoczesne zastosowanie dwóch rodzajów PCM: płyt gipsowo-kartonowych zawierających kapsułki z parafiną o temperaturze przemiany 23 °C oraz elastycznych mat wypełnionych materiałem organicznym o temperaturze przemiany 25 °C. Badania przeprowadzono w komorze klimatycznej. Analizowano pomiary przebiegu temperatury oraz rozkładu gęstości strumieni ciepłych na powierzchniach płyt w zmiennych warunkach panujących w komorze klimatycznej.

**Słowa kluczowe:** materiał fazowo zmienny, PCM, pojemność cieplna, akumulacja ciepła.

**Abstract.** The article presents results of experimental studies on component containing phase change materials (PCM). The subject of research was the simultaneous usage of two different PCM materials: gypsum-carton boards with paraffin capsules of change temperature 23 °C and the flexible mat filled with organic material of change temperature 25 °C. The tests were carried out in a climatic chamber. Measurements of temperature course were taken as well as heat flux density distribution on the surfaces of boards for variable conditions in the climatic chamber.

**Keywords:** phase change material, PCM, heat capacity, heat accumulation.

Energooszczędność zwiększa zainteresowanie procesami magazynowania ciepła wewnątrz budynków, które mogą być realizowane różnymi metodami. Jedną z nich jest wykorzystanie ciepła utajonego materiałów fazowo zmiennych (PCM z ang. Phase Change Materials). Podczas procesu przemiany fazowej PCM uwalniane są lub magazynowane znaczne ilości ciepła, praktycznie przy niewielkiej zmianie temperatury samego materiału. Tak więc wykorzystanie ciepła utajonego materiałów fazowo zmiennych, przez ich wkomponowanie w elementy budynku, może istotnie zwiększyć ich możliwości akumulacyjne bez zwiększenia ciężaru konstrukcji.

Zagadnienie magazynowania energii przez użycie PCM nie jest nowe, gdyż od kilkudziesięciu lat w wielu krajach trwają intensywne prace mające na celu efektywne wykorzystanie tego typu materiałów. Prace te skupiają się zarówno na nowych rozwiązaniach materiałowych, jak i na skuteczniejszym wykorzystaniu istniejących już sposobów aplikacji. Skuteczność PCM jest warunkowana jedynie

przez odpowiedni dobór parametrów użytego materiału (przede wszystkim temperatury przemiany fazowej, jej zakresu oraz ciepła przemiany fazowej). Należy też uwzględnić warunki, jakim będzie poddawany oraz nadrzędny cel aplikacji. W Zakładzie Budownictwa i Fizyki Budowli Politechniki Krakowskiej trwają od kilku lat badania zmierzające do efektywniejszego wykorzystania PCM w budownictwie.

## Badania

Przedmiotem podjętych badań oraz ich analizy jest ocena możliwości zwiększenia efektywności aplikacji PCM w przegrodach budynków. Eksperyment polegał na jednoczesnym użyciu różnych rodzajów PCM (o różnych charakterystykach termicznych i różnym zakresie temperatury przemiany fazowej) oraz określeniu skuteczności rozwiązania. Badania zostały wykonane w komorze klimatycznej przy zmiennych warunkach termicznych. Przegrodą podstawową, do której zamocowano dodatkowe warstwy, była warstwa styropianu grubości 15 cm z płytą gipsowo-kartonową.

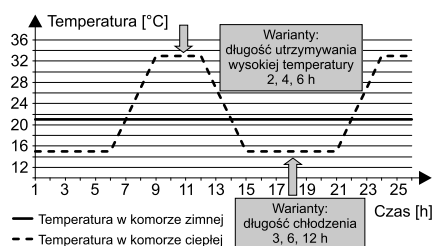
Badania miały charakter porównawczy. Punktem odniesienia było zastosowanie zwykłej płyty gipsowo-kartonowej oraz ocena korzyści wynikających z zastąpienia

jej materiałem fazowo zmiennym. Połączenie realizowano przez przymocowanie dwóch płyt gipsowo-kartonowych: – jednej tradycyjnej, a drugiej z rozproszonym PCM (mikrokapsułki zawierające PCM o temperaturze przemiany fazowej 23 °C) lub z matami zawierającymi skoncentrowaną postać organicznego PCM o temperaturze przemiany 25 °C. Pomiar poszczególnych parametrów był podstawą do analizy wpływu materiałów fazowo zmiennych na możliwości akumulacyjne przegród przy danych warunkach termicznych.

Badania wykonano w zespole komór klimatycznych, wewnątrz których możliwe jest sterowanie warunkami termicznymi. W artykule przeanalizowano wyniki badań przeprowadzonych w przypadku niestacjonarnych warunków temperatury, panujących w komorze ciepłej. Na rysunku 1 przedstawiono schemat przebiegu temperatury powietrza w komorach badawczych. Temperatura w tzw. komorze ciepłej zmieniała się dynamicznie w zakresie 15 – 33 °C. W komorze tzw. zimnej utrzymywana była na stałym poziomie 21 °C. Podczas kolejnych cykli zmiany ulegały: okres utrzymywania się maksymalnej temperatury (2, 4 i 6 godzin) oraz okres chłodzenia przy temperaturze 15 °C (tj. 3, 6 i 12 godzin).

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:  
e-mail: zastawna.anna@gmail.com



**Rys. 1. Schemat zadanych warunków termicznych w komorach badawczych**  
**Fig. 1. Scheme of setpoint temperature conditions in the test chambers**

Pierwszą z dodatkowych warstw, przymocowanych do przegrody podstawowej od strony komory ciepłej, stanowiły płyty gipsowo-kartonowe zawierające rozproszoną postać PCM o temperaturze przemiany fazowej 23 °C (fotografia 1). Zastosowany materiał fazowo zmienny ma postać mikrokapsulek, których udział w płycie gipsowo-kartonowej wynosi ok. 30%. Aby umożliwić analizę porównawczą, przymocowano jednocześnie tradycyjną płytę gipsowo-kartonową bez dodatku PCM.



**Fot. 1. Pierwsza dodatkowa warstwa (płyty gipsowo-kartonowe: górne z dodatkiem PCM, dolna referencyjna bez PCM)**  
**Photo. 1. The first additional layer (gypsum cardboard: the upper ones with the addition of PCM, the lower reference one without PCM)**

Kolejną warstwą były elastyczne maty zawierające skoncentrowaną postać organicznego PCM, który jest umieszczony w zagłębieniach folii (fotografia 2). Temperatura przemiany fazowej materiału w matach wynosi 25 °C. W czasie pomiarów wszystkie pola podlegały oddziaływaniu tych samych warunków.

Wielkościami mierzonymi na każdej z warstw przegrody była temperatura i gęstość strumieni ciepłych. Na powierzchni każdej z dodatkowych warstw umieszczono po 3 termopary. Zarówno



**Fot. 2. Druga dodatkowa warstwa mocowana na płytach gipsowo-kartonowych (PCM w postaci skoncentrowanej umieszczonej w zagłębieniach folii)**

**Photo. 2. The second additional layer mounted on gypsum – cardboards (concentrated form of PCM placed in the cavities of the film)**

na powierzchni przegrody podstawowej, jak i dodatkowych płyt umieszczono ciepłomierze. Temperatura powietrza wewnątrz komór mierzona była za pomocą czujników temperatury Pt 100 i Pt 1000. Rejestracja mierzonych wielkości odbywała się przez system zbierania danych Ahlborn Almemo podłączony do komputera. Dane pomiarowe zapisywano, wykorzystując system zbierania danych Data-Control 4.2. Dalsze ich przetwarzanie odbywało się w programie Excel.

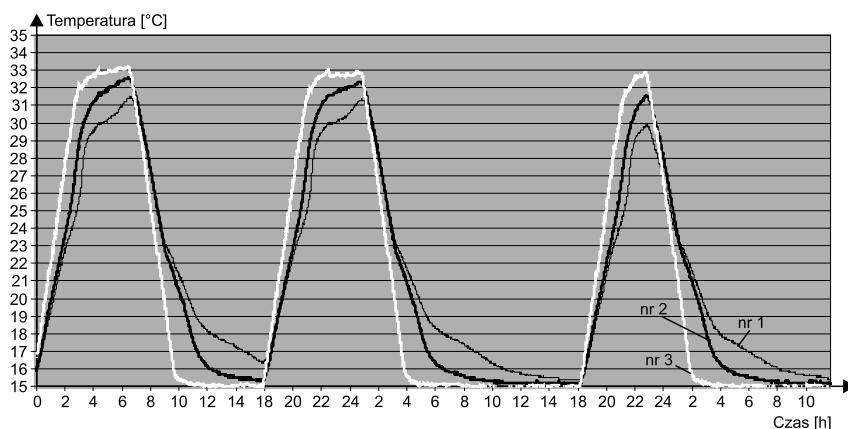
### Analiza wyników

Rysunek 2 prezentuje przebieg temperatury na powierzchni badanych pól w konfiguracji: wariant I (cienka czarna linia nr 1) – połączenie płyty gipsowo-

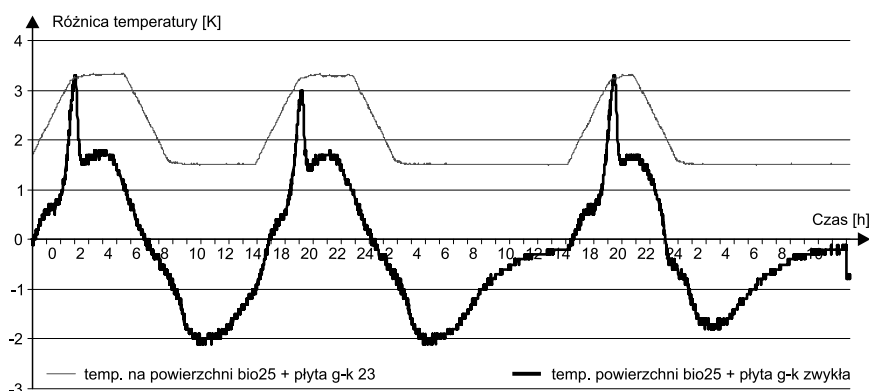
-kartonowej zawierającej PCM 23 z matami z PCM 25 oraz wariant II (gruba czarna linia nr 2) – połączenie tradycyjnej płyty gipsowo-kartonowej z matami z PCM 25. Przedstawiono na nim również temperaturę powietrza wewnątrz komory (biała linia nr 3). Widoczna jest różnica pomiędzy przebiegiem temperatury na powierzchni przegrody w I i II wariantach. Zastąpienie zwykłej płyty gipsowo-kartonowej płytą z dodatkiem PCM skutkuje łagodniejszym przebiegiem, dłuższą stabilizacją temperatury oraz redukcją zarówno minimalnej, jak i maksymalnej temperatury.

Na rysunku 3 przedstawiono bezpośredni efekt związany z zastosowaniem płyty gipsowo-kartonowej pod powierzchnią maty, czyli różnicę temperatury na powierzchni badanych pól testowych w poszczególnych krokach czasowych. Maksymalna różnica temperatury przekracza 3K podczas procesu ogrzewania i ponad 2K podczas chłodzenia.

Bardzo istotnym parametrem w kontekście komfortu cieplnego jest różnica między temperaturą powietrza a temperaturą powierzchni przegród. Przebieg tej różnicy w obu wariantach materiałowych został przedstawiony na rysunku 4. Im jest ona większa w okresie nadmiernych zysków ciepła, tym lepsze są możliwości chłodzenia przebywających wewnątrz ludzi i związane z tym ich odczucia cieplne. Temperatura odczuwalna jest w przybliżeniu równa średniej arytmetycznej temperatury powietrza i temperatury powierzchni otaczających przegród. W przypadku zastosowania wariantu II (z jedną warstwą PCM w postaci maty) maksymalna różnica wynosi 5K, co przekłada się na obniżenie temperatury odczuwalnej o ok. 2,5K. Zastosowanie dru-

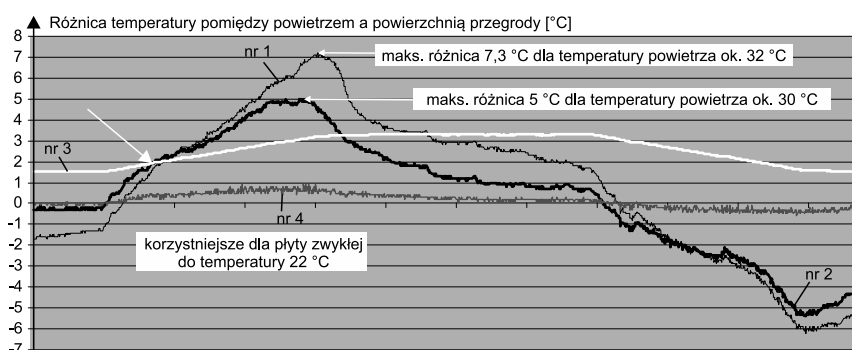


**Rys. 2. Przebieg temperatury na powierzchni przegrody w różnych wariantach materiałowych**  
**Fig. 2. Temperature distribution on the partition surface in different material variants.**



Rys. 3. Obniżenie temperatury powierzchni przegrody w wyniku zastosowania płyty gipsowo-kartonowej z PCM 23

Fig. 3. Decrease of the partition surface temperature due to the use of gypsum cardboard with PCM 23



nr 1 – bio25+g-k23; nr 2 – bio25+g-k zw.; nr 3 – temp. komora (T x 0,1); nr 4 – na zwykłej g-k (mata)

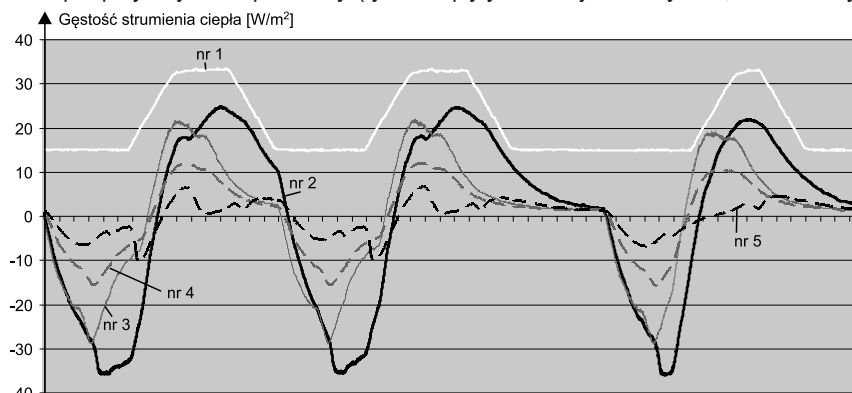
Rys. 4. Przebieg temperatury na powierzchni przegrody w różnych wariantach materiałowych

Fig. 4. Temperature distribution on the surface of the partition in different material variants

giej warstwy z PCM skutkuje zwiększeniem maksymalnej różnicy o 2,3K (sumarycznie max różnica wynosi 7,3K). Jednocześnie należy zauważyć, że zmianie uległa temperatura, przy której układ cechuje się największą efektywnością.

Oprócz pomiaru i analizy temperatury na powierzchniach warstw przegrody mierzono również przebieg gęstości strumienia ciepła przy użyciu ciepłomierzy (rys.

nek 5). Cienkie szare linie (nr 3) przedstawiają przebieg gęstości pod powierzchnią maty (ciągła) oraz pod powierzchnią płyty gipsowo-kartonowej zwykłej (przerywane nr 4) w wariantcie II. Kolorem czarnym (linia nr 2) analogicznie przedstawiono pierwszy wariant materiałowy z płytą gipsowo-kartonową zawierającą 30% PCM. Wartość strumienia ciepła na powierzchni płyty z PCM jest szczytowa, co świadczy



nr 1 – temperatura w komorze; nr 2 – C6 na PCM23; nr 3 – C1 na zwykłej; nr 4 – C2 pod zwykłą; nr 5 – C5 pod PCM23; C1, C2, C5, C6 – numery ciepłomierzy

Rys. 5. Przebieg gęstości strumienia ciepłych na poszczególnych warstwach w różnych wariantach materiałowych

Fig. 5. Thermal flux density distribution of on the individual layers in different material variants

o intensywnym akumulowaniu ciepła. Pod powierzchnią płyty PCM wartość gęstości strumienia ciepła jest znacznie niższa niż pod płytą referencyjną. Taki przebieg jest efektem dużej akumulacji ciepła wewnątrz warstwy z PCM, co skutkuje mniejszym strumieniem ciepła dochodzącym do kolejnej warstwy (przegrody podstawowej). Miarodajną wielkością wskazującą na możliwości akumulacyjne materiału jest scałkowana w każdym kroku czasowym różnica strumieni na i pod powierzchnią danej warstwy. Wyniki całkowania różnicy strumienia przejmowanego przez obydwie płyty gipsowo-kartonowe w badanym okresie czasowym wskazują na znacznie większą możliwość akumulacji ciepła przez płytę z materiałem fazowo zmiennym. Wynik w tym przypadku jest ponad 2,8 razy większy niż w przypadku zastosowania maty z PCM w połączeniu ze zwykłą płytą gipsowo-kartonową.

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają korzystny wpływ materiałów fazowo zmiennych na możliwości akumulacyjne przegrody oraz jej warunki termiczne. Zastosowanie maty ze skoncentrowanym PCM o temperaturze przemiany fazowej 25 °C skutkuje obniżeniem temperatury odczuwalnej maksymalnie o ok. 2,5K.

Wyniki badań wskazują również na możliwość zwiększenia efektywności materiałów fazowo zmiennych w przegrodach budynków przez jednoczesne połączenie różnych materiałów. Po zastąpieniu tradycyjnej płyty gipsowo-kartonowej płytą z dodatkiem PCM maksymalna różnica temperatury na powierzchni zwiększyła się o ponad 3K. Na podstawie wskazań z ciepłomierzy obliczono, że w płycie tej zostało zmagazynowane ponad 2,8 razy więcej ciepła niż w płycie referencyjnej.

Badania przeprowadzono w warunkach opisanego wcześniej przebiegu temperatury wewnątrz komory. Przebieg ten jest prawdopodobny do zaistnienia wewnątrz budynków w okresach letnich. Przy innym rozkładzie temperatury wewnątrz pomieszczenia wskazania czujników będą się niewątpliwie różniły, co będzie miało bezpośrednie przełożenie na efektywność rozwiązania. W przypadku zastosowania PCM w rzeczywistych budynkach konieczna jest zarówno analiza efektywności rozwiązania w stosunku do przewidywanych warunków pracy, jak i analiza ekonomiczna.

Fotografie – archiwum Autorów  
Otrzymano 26.11.2014 r.