

Joanna KRASOŃ<sup>1</sup>

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MATERIAŁÓW ZMIENNOFAZOWYCH W PASYWNYCH ROZWIĄZANIACH ŚCIENNYCH ELEMENTÓW MUROWYCH

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych w budownictwie. Ich właściwości można wykorzystać w dwóch systemach: aktywnym oraz pasywnym. Zakres przeglądu zawężono do wykorzystania PCM (*ang. phase change materials*) w materiałach budowlanych w systemach pasywnych, a zwłaszcza w elementach ściennych murowych. Przedstawiono wpływ parametrów zewnętrznych na pracę zmodyfikowanych przegród budowlanych, tak aby efektywność materiałów zmiennofazowych była jak najbardziej skuteczna. Zastosowanie PCM ma na celu poprawić komfort użytkowania pomieszczeń niezależnie od rodzaju konstrukcji budynku. Wykazano zalety i wady konstrukcji szkieletowych oraz masywnych. Zwrócono uwagę na kryteria doboru materiałów zmiennofazowych pod względem właściwości termicznych, fizycznych i chemicznych. Porównano materiały zmiennofazowe organiczne oraz nieorganiczne pod kątem ich właściwości. Oprócz cech charakteryzujących PCM, ilość oraz lokalizacja tych materiałów może mieć wpływ na ich efektywność, która jest uzależniona z całkowitą przemianą fazową materiału zmiennofazowego. Przedstawiono na podstawie przeglądu literatury możliwości wkomponowania materiałów zmiennofazowych w tradycyjne elementy ścienne takie jak: beton, ceramika. Podano przykłady wykonanych badań doświadczalnych oraz symulacji komputerowych na zmodyfikowanych elementach ściennych. Choć materiały zmiennofazowe znane są od kilkudziesięciu lat, wymagają dalszych badań, aby skutecznie i bezpiecznie można było je wykorzystywać w elementach budowlanych. W obecnych czasach materiały zmiennofazowe wpisują się w zakres poszukiwań rozwiązań oszczędności w zużyciu energii i wykorzystywaniu odnawialnych źródeł energii, szczególnie promieniowania słonecznego.

**Słowa kluczowe:** PCM, modyfikowane elementy ścienne murowe, akumulacja, przemiana fazowa

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Joanna Krasoń, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów al. Powstańców Warszawy 12, , tel. 178651728, email: jkras@prz.edu.pl

## 1. Wprowadzenie

W wielu dziedzinach budownictwa w coraz większym zakresie wykorzystywane są materiały zmiennofazowe (PCM). Dzięki zastosowaniu tych materiałów istnieje możliwość magazynowania większej ilości ciepła pozyskanego z naturalnej konwersji energii promieniowania słonecznego, której przewagą nad nieodnawialnymi źródłami energii jest nieszkodliwość dla środowiska.

W zależności od tego w jaki sposób te materiały są aplikowane, wyróżniamy dwa systemy: aktywny i pasywny.

W systemach aktywnych materiały te znajdują swoje zastosowanie na przykład w odnawialnych źródłach energii poprzez wykorzystanie ich między innymi w układach kolektorów słonecznych. Najczęściej PCM umieszczany jest w szczelnym zbiorniku. Jego ilość jest dostosowana do temperatury topnienia materiału zmiennofazowego. Rolą PCM w zasobnikach jest zmagazynowanie energii cieplnej dostarczonej z kolektorów słonecznych i uwalnianie ciepła w okresie niższych temperatur do pomieszczeń.

W systemie pasywnym najczęściej stosuje się PCM jako dodatek do materiałów budowlanych. Może on być wkomponowany m. in. w przegrody ścienne murowe stanowiące samodzielną konstrukcję lub w przegrody wypełniające konstrukcje szkieletowe. Materiał zmiennofazowy może być zintegrowany bezpośrednio z materiałem budowlanym lub jako niezależna warstwa usytuowana, od strony zewnętrznej, wewnętrznej lub między innymi warstwami przegrody.

Zaletą systemu pasywnego jest brak konieczności nadzoru, co powoduje, że staje się on tańszy w porównaniu z systemem aktywnym. Jednak nie mając bezpośredniego wpływu na pracę materiałów zmiennofazowych wkomponowanych w strukturę materiału budowlanego, nie można wpłynąć na ich zachowanie.

Dzięki modyfikacji elementów budowlanych w obydwóch systemach dąży się do poprawy komfortu cieplnego pomieszczeń przylegających do tych przegród oraz w celu zmniejszenia zużycia energii do ogrzewania lub chłodzenia budynku.

## 2. Zastosowanie PCM w przegrodach ściennych murowych w systemie pasywnym

Skuteczność systemów pasywnych, w których zastosowane są materiały zmiennofazowe, zależy między innymi od parametrów użytego materiału budowlanego (opór cieplny, pojemność cieplna), konstrukcji budynku, rodzaju PCM oraz jego usytuowania w elemencie. Należy również uwzględnić lokalne warunki klimatyczne, przede wszystkim występujące temperatury zewnętrzne na danym obszarze, promieniowanie słoneczne. Jednocześnie czynniki występujące wewnątrz pomieszczeń przylegających do tych ścian mają również wpływ na pracę zmodyfikowanej przegrody ściennej.

W budynkach o konstrukcji lekkiej i szkieletowej, w których wypełnienie stanowi materiał o niskiej pojemności cieplnej (akumulacyjności) oraz niskiej bezwładności, może wystąpić w okresie letnim przegrzewanie pomieszczeń, a w okresie zimy znaczne ich wychłodzenie [15]. Dyskomfort cieplny spowodowany wahaniami temperatur może niekorzystnie wpłynąć na użytkowników tych pomieszczeń.

Zastosowanie dodatków PCM w takich budynkach może wpłynąć na zwiększenie akumulacji cieplnej, co spowoduje uzyskanie mniejszych fluktuacji temperaturowych między dniem a nocą.

Budynki wykonane w konstrukcji masywnej posiadają lepszy komfort cieplny. Zewnętrzne przegrody budowlane mniej reagują na wahania temperatur, ponieważ materiały te posiadają większą zdolność akumulacji ciepła. Cecha ta powoduje wydłużenie czasu pomiędzy wystąpieniem wyższych temperatur na powierzchni zewnętrznej przegrody, a pojawieniem się tych temperatur na powierzchni wewnętrznej od strony pomieszczenia. Jest to tzw. przesunięcie fazowe [10]. Dzięki tej właściwości zmagazynowane ciepło jest oddawane w późniejszym czasie, najczęściej w okresie nocnym do przyległych pomieszczeń.

Najbardziej reprezentatywnymi, masywnymi materiałami budowlanymi, charakteryzującymi się tą cechą są beton, żelbet i silikat. Wyróżniają się one dużą gęstością objętościową oraz dużą pojemnością cieplną (akumulacją). Wadą tych konstrukcji jest ich ciężar oraz wysoki współczynnik przewodzenia ciepła, przez co należy zastosować izolację termiczną w ścianie zewnętrznej.

Przegrody ścienne wykonane z materiałów masywnych mają również zastosowanie w ścianach kolektorowo – akumulacyjnych. Istotą skuteczności tych przegród jest ich akumulacyjność warstwy ściennej. W tym przypadku dodatkowym czynnikiem zwiększającym efektywność przegrody, jest wykorzystanie energii cieplnej od promieniowania słonecznego.

Możliwość zastosowania zmodyfikowanej przegrody ściennej z dodatkami PCM w ścianach kolektorowo – akumulacyjnych może wpłynąć na zwiększenie zmagazynowania ilości ciepła podczas intensywnego występowania promieniowania słonecznego w dłuższym okresie czasu.

Zastosowanie materiałów zmiennofazowych jako dodatek w tych przegrodach ma na celu zmniejszenie masy elementów ściennych ograniczając ich wymiary, a jednocześnie nie zmniejszając ich pojemności cieplnej. Według A. Sharma i in., materiały zmiennofazowe przechowują 5-14 razy więcej ciepła na jednostkę objętości niż najlepsze tego typu materiały, takie jak woda, lub skały [13].

## 2.1. Kryteria doboru PCM do elementów ściennych

Istotną rolę w systemach pasywnych odgrywa odpowiedni dobór i usytuowanie PCM w przegrodzie budowlanej. Dokonując wyboru należy kie-

rować się możliwością jak najlepszego efektywnego wykorzystania całego materiału zmiennofazowego w przegrodzie budowlanej, co obecnie jest analizowane w wielu ośrodkach na całym świecie.

Obecnie występuje wiele rodzajów materiałów zmiennofazowych, które mogą być wykorzystane w materiałach budowlanych [3,7,8,13]. Ze względu na ich właściwości można podzielić je na trzy grupy: organiczne, nieorganiczne i eutektyczne.

Do organicznych zaliczamy parafiny i kwasy tłuszczowe, nieorganiczne są to metale oraz hydraty soli. Eutektyki są to mieszaniny kilku substancji organicznych lub nieorganicznych lub połączone jednocześnie materiały organiczne i nieorganiczne.

Wybór odpowiedniego rodzaju materiału zmiennofazowego jest uzależniony od wielu czynników. Dobierając PCM do przegród budowlanych ściennych należy zwrócić uwagę na jego właściwości termiczne, fizyczne, kinetyczne, chemiczne oraz ekonomiczne [13].

Rozważając właściwości termiczne, podstawowym warunkiem prawidłowego doboru PCM jest odpowiednia jego temperatura przemiany fazowej. Zakłada się, że jeżeli PCM umieszczony jest w elementach ściennych temperatura ta powinna być około 1-3°C wyższa od średniej temperatury przylegającego pomieszczenia [9]. Obecnie dostępnych jest szereg rodzajów materiałów zmiennofazowych, których zakres temperatury przemiany fazowej kwalifikuje się do zastosowania w elementach budowlanych, czyli mieści się w przedziale między 18 a 28°C.

PCM charakteryzują się dużą pojemnością cieplną oraz dużą wartością ciepła utajonego przemiany fazowej. Jest to ważna cecha tych materiałów, która wyróżnia je od tradycyjnych materiałów budowlanych. Pojemność cieplna materiałów PCM wykorzystywanych w przegrodach budowlanych wynosi w zależności od jego rodzaju, czyli w przypadku mikrokapsułkowanych około 100 kJ/kg, natomiast w przypadku substancji jednorodnych wynosi nawet do około 250 kJ/kg.

Rozważając ilość zastosowania PCM, należy kierować się możliwością wykorzystania ich w całości pojemności cieplnej tych materiałów. Jeżeli ilość PCM przekroczy możliwości pochłonięcia energii cieplnej ze źródeł zewnętrznych, proces przemiany fazowej ze stanu stałego w ciekły nie zostanie zakończony i odwrotnie uwolnienie energii jest uzależnione od objętości zawartego w elemencie materiału zmiennofazowego. Dlatego ważne jest, aby ilość PCM była tak dobrana, żeby cała jego zawartość była całkowicie stopiona lub zestalona podczas każdego cyklu [15].

Dlatego, ważną rolę odgrywa przewodność cieplna materiału zmiennofazowego. Wysoka przewodność cieplna będzie wspomagać pochłanianie i oddawanie energii cieplnej.

W przypadku materiałów organicznych przewodność cieplna jest niska i wykazywana jest jako wada tych materiałów.

Natomiast materiały nieorganiczne charakteryzują się co najmniej dwukrotnie wyższym przewodzeniem cieplnym niż parafiny [13]. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła dla tych materiałów wynosi około 0,6 W/(mK).

Dla ustalenia całkowitej pojemności cieplnej należy również uwzględnić ciepło właściwe samego PCM. Wartość ta jest około dwukrotnie większa od ciepła właściwego materiałów murowych tradycyjnych jak beton, silikat lub ceramika. Stosując materiały zmiennofazowe w elementach masywnych o dużej pojemności cieplnej, należy również wziąć pod uwagę, że wraz ze wzrostem temperatury działającej na zmodyfikowany materiał budowlany również wzrasta pojemność cieplna samych materiałów ściennych.

W przypadku właściwości fizycznych istotną rolę w magazynowaniu ciepła odgrywa stabilność przemiany fazowej. Parafiny wykazują dużą stabilność termiczną podczas przemian fazowych, nawet po 1500 cyklach [12]. Natomiast materiały nieorganiczne wykazują niestabilność w procesie przemiany fazowej. Hydraty soli mogą ulec segregacji na sól i wodę nawet po kilku cyklach. Bezwodna sól ze względu na różnicę gęstości w stosunku do wody może osadzić się na dnie zbiornika [13]. Segregacja oraz efekt przechłodzenia podczas krystalizacji jest jednym z problemów substancji jednorodnych nieorganicznych. Problem ten można wyeliminować poprzez dodanie środków zarodkujących (nukleatory), intensywnie mieszanie lub odpowiednie zastosowanie chropowatych powierzchni ścian [9]. Parafiny posiadają właściwości zarodkujące co powoduje, że nie ma ryzyka występowania efektu przechłodzenia.

Gęstość materiału zmiennofazowego powinna być jak największa, umożliwiając zastosowanie mniejszych rozmiarów pojemników, w których znajduje się PCM.

Gotowe produkty zmiennofazowe produkowane w postaci parafin zamkniętych w mikrokapsułkach polimerowych, charakteryzują się najniższą gęstością ( $0,3 \div 0,4 \text{ kg/dm}^3$ ), natomiast parafiny jednorodne posiadają gęstość, która mieści się w przedziale  $0,86 \div 0,98 \text{ kg/dm}^3$  dla ciała stałego i około  $0,77 \text{ kg/dm}^3$  dla cieczy. Materiały nieorganiczne cechuje wyższa gęstość, która wynosi około  $1,4 \div 1,5 \text{ kg/dm}^3$ .

PCM powinny również charakteryzować się małą zmianą objętości oraz niskim ciśnieniem pary w fazie ciekłej.

W niektórych źródłach [15, 9] przedstawiono, że materiały organiczne posiadają raczej dużą rozszerzalność objętościową podczas topnienia, co niekorzystnie wpływa na proces wytrzymałości pojemników, w których znajduje się PCM. Natomiast według A. Sharma i in. [13] parafiny wykazują niewielką zmianę objętości w procesie topnienia oraz niskie ciśnienie pary w fazie ciekłej. Sposobem, który może wpłynąć pozytywnie na zmniejszenie rozszerzalności objętościowej jest metoda mikrokapsułkowania.

Materiały nieorganiczne charakteryzują się małą zmianą objętości oraz niskim ciśnieniem pary w fazie stopionej [15].

Do wymagań stawianych PCM w połączeniu z materiałami budowlanymi należą właściwości chemiczne takie jak: stabilność chemiczna, brak toksyczności oraz niepalność [13].

W przypadku materiałów organicznych zaletą jest brak wpływu korozyjności na materiały budowlane. Jednak nie powinno umieszczać się je w plastikowych pojemnikach [15]. Są one również bezpieczne i nietoksyczne. Wadą jest ich łatwopalność, przez co nie mogą być narażone na wysokie temperatury. Uważa się, że PCM ze względu na brak ognioodporności nie powinny być skoncentrowany ilościowo więcej niż 20% masy całego komponentu budowlanego [9].

Materiały nieorganiczne określa się jako niepalne. Jednak hydraty soli wykazują niestabilność chemiczną, ponieważ w trakcie podwyższonych temperatur może nastąpić utrata wody krystalicznej. Działają również korozyjnie na materiały budowlane, a zwłaszcza na metale, lecz są kompatybilne z elementami z tworzyw sztucznych. Wykazują lekką toksyczność.

## **2.2. Metody wkomponowywania PCM do przegród ściennych murów oraz przykłady rozwiązań**

Obecnie jest wykorzystywanych wiele sposobów wkomponowania materiałów zmiennofazowych w elementy ścienne murowe.

Do najbardziej popularnych metod należą [7]:

- impregnacja porowatych gotowych elementów budowlanych (np. beton, cegła) PCM w postaci płynnej (rys. 1),
- bezpośrednie włączenie surowych sproszkowanych lub w stanie ciekłym materiałów zmiennofazowych do materiałów budowlanych (np. beton),
- „makrokapsułkowanie”, czyli umieszczenie materiału PCM w pojemniku zamkniętym (rury, kulki itp.) i usytuowanie ich w pustych przestrzeniach elementów budowlanych (np. pustaki ceramiczne),
- „mikrokapsułkowanie”, czyli umieszczenie gotowego mikrogranulatu (parafiny zamkniętej w powłoce z polimeru akrylowego) rys.2 bezpośrednio do mieszanki betonowej, betonu komórkowego,
- stabilizowane materiały kompozytowe (*ang. shapestabilized PCM*), wkomponowywane w okładziny ścienne.

W dalszej części artykułu przedstawiono kilka przykładów wkomponowania PCM w elementy ścienne murowe.

Hawes i in. [6], przeprowadzili w latach dziewięćdziesiątych impregnację materiałem zmiennofazowym elementów ściennych gipsowych o gr. 12,7 mm oraz bloczków betonowych o wymiarach 200x200x100 mm. Elementy te zanurzyli w ciekłym PCM w 80°C na kilka minut. Drugim przeprowadzonym doświadczeniem było wkomponowanie płynnego materiału zmiennofazowego do płyty gipsowej oraz wymieszanie sproszkowanego PCM z betonem. Wykonano również impregnację kruszywa dodawanego do mieszanki betonowej.



Rys. 1. Materiał zmiennofazowy Micronal DS5037X – płyn w postaci wodnej dyspersji

Fig. 1. Phase change materials Micronal DS5037X – liquid in the form of aqueous dispersion



Rys. 2. Materiał zmiennofazowy Micronal DS5038X – mikrogranulat w postaci proszkowej

Fig. 2. Phase change materials Micronal DS5038X – microencapsulate in powder form

Wykazano, że w modyfikowanych płytach gipsowych została jedenastokrotnie zwiększona pojemność magazynowania energii w stosunku do płyt bez PCM. W przypadku betonu z PCM zdolność magazynowania energii wzrosła rzędu 200-230% w porównaniu z betonem niemodyfikowanym.

Cabeza i in. [2] wykorzystali mieszankę betonową wymieszaną z materiałem zmiennofazowym w postaci mikrokapsułek do wykonania jednej z komór badawczych o wymiarach 2,0 x 2,0 x 3,0 m w Hiszpanii. Dla porównania efektywności materiału PCM wykonano drugą komorę z tradycyjnego betonu. Grubość ścian betonowych wynosiła 12,0 cm. Zmodyfikowane ściany betonowe z 5% wagowo materiałem zmiennofazowym usytuowano od strony południowej i zachodniej. Wykazano, że temperatura ściany południowej w komorze bez PCM jest o 2°C wyższa niż ściana w komorze z PCM. Równocześnie podano, że maksymalna temperatura w ścianie betonowej z PCM pojawiła się o dwie godziny później niż ściany betonowej bez PCM, co świadczy o jej wyższej bezwładności cieplnej.

W artykule [1] Alawadhi i in. przedstawili za pomocą symulacji komputerowej analizę termiczną budynku, w którym wykorzystano cegły ceramiczne zmodyfikowane PCM. Materiał zmiennofazowy umieszczono w otworach cylindrycznych wzdłuż elementu, w środkowej części cegły. Średnica otworów, w których znajdował się PCM wynosiła 30 mm. Wykonano symulacje na trzech rodzajach materiałów zmiennofazowych organicznych. Skuteczność PCM oceniono przez porównanie strumienia ciepła na powierzchni wewnętrznej cegły

bez PCM. Symulacje wykonano w celu oceny zmniejszenia strumienia ciepła do wnętrza pomieszczenia w klimacie gorącym. Wykazano, że zredukowano przenikanie ciepła na powierzchni wewnętrznej o 17,55%, przy trzech otworach umieszczonych w cegle.

Paolo Principi i in. [11] opisali badania doświadczalne oraz symulacje komputerowe polegające na wprowadzeniu materiału zmiennofazowego do pustaka ceramicznego. PCM został umieszczony w szczelinie od strony zewnętrznej. Ze względu na postać płynną PCM umieszczono go w pojemniku plastikowym o szerokości 27 mm. W badaniach porównano wyniki eksperymentalne z numerycznymi wartościami przepływu strumienia ciepła na powierzchniach pustaków z oraz bez PCM. Wyniki pokazują, że PCM może zmagazynować energię cieplną od czynników zewnętrznych (promieniowania słonecznego) i uwolnić energię cieplną w porze nocnej. Zastosowanie PCM opóźniło o 6 godzin maksymalny przepływ strumienia ciepła i zmniejszony został on o 25%. Błąd pomiędzy badaniami numerycznymi a doświadczalnymi wynosił maksymalnie 9,8%.

Również Silva i in. [14] przeprowadzili badania doświadczalne oraz eksperymentalne ściany murowej wprowadzając PCM w postaci makrokapsułkowej do pustaków ceramicznych. W tym przypadku PCM został usytuowany w części środkowej wzdłuż elementu ceramicznego. Parafina została zamknięta w formie stalowej i dopasowana do kształtu szczeliny w pustaku. W badaniach stwierdzono zmniejszenie amplitudy termicznej z 10°C (próbka bez PCM) do 5°C (próbka z PCM) oraz wzrost opóźnienia czasowego o 3 godziny. Stwierdzono korzystny wpływ zwiększenia magazynowania ciepła z promieniowania słonecznego w murze z PCM.

W Hiszpanii w typowym klimacie kontynentalnym przeprowadzono badania porównawcze na kilku komorach o zróżnicowanych przegrodach zewnętrznych [4]. W jednej z komór zastosowano panele CSM wypełnione parafiną i umieszczone między warstwą izolacji a pustakami ceramicznymi, w drugiej wykorzystano panele CSM wypełnione hydratami soli, które zostały umieszczone od strony wewnętrznej komory. Do celów porównawczych wykonano komorę bez żadnej izolacji zewnętrznej. Po przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że w komorze z zastosowanymi panelami z parafiną, temperatura maksymalna obniżyła się o 1°C, jednak zaobserwowano problem krzepnięcia PCM w okresie nocnym. Dodatkowo stwierdzono, że efekt przemiany fazowej wpłynął na zmniejszenie wahań temperatury wewnątrz komory. W przypadku komór z panelami z hydratami soli w okresie dni gorących zaobserwowano również mniejsze wahania temperatury w komorze.

### 3. Podsumowanie

Wykorzystanie materiałów zmiennofazowych do przegród budowlanych w budownictwie może być kolejnym krokiem w nowych rozwiązaniach energooszczędnych. Dotychczasowe badania potwierdzają możliwość zastosowania ich w elementach ściennych. Wkomponowanie ich zwiększa pojemność cieplną materiałów budowlanych, a tym samym następuje poprawa komfortu użytkowania pomieszczeń w budynku.

W zależności od warunków klimatycznych zmagazynowane ciepło (np. od promieniowania słonecznego) jest wykorzystywane do podniesienia temperatury w przylegających pomieszczeniach w okresie nocnym (klimat umiarkowany) lub do ograniczenia przepływu ciepła do pomieszczeń podczas intensywnego nasłonecznienia (klimat gorący).

Potwierdzeniem możliwości zastosowania materiałów zmiennofazowych w elementach budowlanych są istniejące budynki. Elementy modyfikowane PCM zostały wykorzystane w postaci płyt gipsowych umieszczonych wewnątrz pomieszczeń oraz panele szklane usytuowane w zewnętrznych przegrodach ściennych [5].

### Literatura

- [1] Alawadhi E. M.: Thermal analysis of a building brick containing phase change material, *Energy and Buildings* 40 (2008) 351–357
- [2] Cabeza L. F., Castellon C., Nogues M., Medrano M., Leppers R., Zubillaga O.: Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings, *Energy and Buildings* 39 (2007) 113–119
- [3] Cabeza L.F., Castell A., Barreneche C., Gracia A. de, Fernández A.I.: Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011), 1675–1695
- [4] Castell A., Martorell I., Medrano M., Perez G., Cabeza L.F.: Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, *Energy and Buildings* 42 (2010) 534–540
- [5] Garbalińska H., Bochenek M.: Sposoby wbudowywania materiałów zmiennofazowych w elementach ściennych, *Materiały budowlane*, 2/2012, s. 36-38
- [6] Hawes D.W., Feldman D., Banu D.: Latent heat storage in building materials, *Energy and Buildings*, 20 (1993) 77-86
- [7] Jaworski M.: Zastosowanie materiałów zmiennofazowych PCM w budownictwie, *Materiały budowlane*, 2/2012, s.30-33
- [8] Kuznik F., David D., Johannes K., Roux J.J.: A review on phase change materials integrated in building walls, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 379-391
- [9] Melcer A., Klugmann-Radziemska E., Lewandowski W.: Materiały zmiennofazowe. Właściwości, klasyfikacja, zalety i wady. *Przemysł chemiczny*, 91/7(2012)
- [10] Nowak H.: Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej*, Wrocław 2012.

- [11] Principi P., Fioretti R.: Thermal analysis of the application of pcm and low emissivity coating in hollow bricks, *Energy and Buildings* 51 (2012) 131–142
- [12] Sharma A., Sharma S.D., Buddhi D.: Accelerated thermal cycle test of acetamide, stearic acid and paraffin wax for solar thermal latent heat storage applications, *Energy Conversion and Management* 43 (2002) 1923–1930
- [13] Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D.: Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009), 318–345
- [14] Silva T., Vicente R., Soares N., Ferreira V.: Experimental testing and numerical modelling of masonry wall solution with PCM incorporation: A passive construction solution, *Energy and Buildings* 49 (2012) 235–245
- [15] Soares N., Costa J. J., Gaspar A.R., Santos P.: Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency, *Energy and Buildings*, 59 (2013), 82–103
- [16] Zhou D., Zhao C.Y., Tian Y.: Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications, *Applied Energy* 92 (2012) 593–605

## POSSIBLE APPLICATIONS OF PHASE CHANGE MATERIALS IN PASSIVE SOLUTIONS OF MASONRY WALL ELEMENTS

### Summary

The article presents possibilities of using phase change materials in the buildings. Their properties can be used in active and passive systems. The review was narrowed to the PCM (Phase change materials) in building materials in passive systems, in particular in masonry wall elements. The paper presents influence of climatic parameters on the work of the modified building barriers, in order to increase the efficiency of phase change materials significantly. PCM aims to improve the comfort of using rooms irrespective of the type of building structure. What is more, advantages and disadvantages of the lightweight construction and the massive construction were presented. The article emphasizes criteria for phase change materials selection in terms of thermal, physical and chemical properties. Furthermore, it compares organic and inorganic phase change materials in terms of their properties. In addition to the characteristics of PCM, the amount and location of these materials can affect their efficiency, which depends on the total phase change of PCM. Based on literature, the article presents the possibility of incorporating phase change materials into traditional wall elements such as concrete, ceramics. The findings of experimental studies as well as computer simulations for modified wall components were presented. Although the phase change materials have been known for several decades, further research is undoubtedly needed in order to efficiently and safely implement them in the building elements. Nowadays, phase change materials are part of searching for solutions whose aim is to save energy and use renewable energy sources, especially solar energy.

**Keywords:** PCM, modified masonry wall elements, accumulation, concrete, phase change

DOI:10.7862/rb.2014.96

*Przesłano do redakcji: 06.12.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 18.12.2014 r.*