

Anna ZASTAWNA-RUMIN<sup>1</sup>  
Katarzyna NOWAK<sup>2</sup>

## **BADANIE PRZEGRODY ZAWIERAJĄCEJ MATERIAŁ FAZOWO ZMIENNY PoddANEJ ZMIENNYM WARUNKOM TERMICZNYM W KOMORZE KLIMATYCZNEJ**

W artykule podjęto tematykę możliwości wykorzystania w budownictwie płyt gipsowo-kartonowych zawierających materiały fazowo zmienne. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, które zostały przeprowadzone w komorze klimatycznej. Analizie poddana została lekka ściana szkieletowa, wykończona dwoma rodzajami okładziny wewnętrznej: z płyty gipsowo-kartonowej oraz płyty zawierającej materiał fazowo zmienny. Celem pomiarów była ocena przebiegu rozkładu temperatury oraz gęstości strumieni cieplnych na powierzchniach badanych przegród. Analizowano przypadek stałej temperatury w komorze zimnej przy równocześnie dynamicznie zmieniających się warunkach w komorze ciepłej. Przygotowano stanowisko badawcze, w którym nagrzewanie płyt okładzinowych następowało poprzez wzrost temperatury powietrza w pomieszczeniu a nie poprzez ich bezpośrednie nagrzewanie. Prezentowane wyniki pochodzą z jednego z kilku etapów badania płyt modyfikowanych materiałem fazowo zmiennym w komorze klimatycznej. Analizowano wpływ PCM podczas nagrzewania powietrza w szybkim i wolniejszym tempie. Przeprowadzone badania miały na celu również ocenę możliwości akumulacji energii w badanych płytach okładzinowych. W celu wyeliminowania wpływu różnicy parametrów termodynamicznych pomiędzy badanymi materiałami na wartość akumulowanej energii dokonano pomiarów ich gęstości, grubości oraz współczynnika przewodzenia ciepła.

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

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji: Anna Zastawna-Rumin, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, zastawna.anna@gmail.com

<sup>2</sup> Katarzyna Nowak, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, kaskanowa@poczta.onet.pl

## 1. Wprowadzenie

### 1.1. Opis problemu

Opublikowana w maju 2010 roku Dyrektywa Parlamentu Europejskiego w sprawie charakterystyki energetycznej budynków zobowiązuje państwa członkowskie Unii do wprowadzenia po 2021 roku obowiązku realizacji nowopowstających budynków w standardzie niemal zero energetycznym.

Jednym z aktów prawnych implementujących postanowienia dyrektywy 2010/31/UE są zmiany zaproponowane przez Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Zmiany te dotyczą między innymi zaostrenia wymagań izolacyjności cieplnej przegród zewnętrznych oraz ograniczenia maksymalnej wartości wskaźnika EP. Zwiększenie tych wymagań zostało zaplanowane stopniowo na lata 2014-2021.

Realizacja nowych budynków będzie musiała sprostać w/w wymaganiom i związanymi z nimi wymaganiami komfortu cieplnego pomieszczeń.

Problematycznym zagadnieniem staje się obecnie odpowiednia ochrona budynków przed przegrzewaniem w okresie letnim. Sytuacja ta coraz częściej ma miejsce w obiektach nowopowstałych, a w szczególny sposób dotyczy to obiektów budowanych z lekkich materiałów w technologii szkieletowej. Technologia ta z daje możliwość realizacji wyszukanej formy architektonicznej obiektu, pozwalając na krótki czas jej realizacji. Obecnie można również zauważyć tendencję do wykorzystywania w architekturze dużych powierzchni przeszkleń. Powyższe zabiegi wpływają pozytywnie na urozmaicenie architektury, lecz wiążą się z dużymi zyskami ciepła (głównie od nasłonecznienia) i jednocześnie znikomymi możliwościami akumulacji tegoż ciepła przez przegrody. Przekłada się to na ryzyko okresowego przegrzewania obiektu oraz duże wahania temperatury powietrza wewnętrznego w czasie zmian temperatury powietrza zewnętrznego. W budynkach o wymienionych rozwiązaniach architektoniczno- konstrukcyjnych coraz większym wyzwaniem staje się ich ochrona przed przegrzewaniem.

Najczęściej realizowanym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie mechanicznego chłodzenia pomieszczeń. Ze względu na dużą energochłonność oraz wysokie koszty eksploatacyjne takiego rozwiązania poszukuje się innych środków zaradczych wykorzystujących możliwości konstrukcyjno – architektoniczne budynku. W budynkach lekkich można zwiększyć zdolność akumulacji przegród przy zachowaniu zalet konstrukcji szkieletowych poprzez zastosowanie tzw. materiałów fazowo - zmiennych (ang. Phase Change Materials).

Idea wykorzystania materiałów fazowo - zmiennych do akumulacji ciepła oparta jest na magazynowaniu energii w postaci ciepła utajonego. Odbywa się to poprzez przemianę fazową związków organicznych tj. parafiny, kwasów tłuszczowych bądź też nieorganicznych hydratów soli. W trakcie tej przemiany następuje akumulacja bądź oddawanie dużej ilości ciepła, któremu towarzyszy niewielka zmiana temperatury danego materiału fazowo – zmiennego.

## 1.2. Opis stanowiska pomiarowego

Stanowisko pomiarowe zostało skonstruowane w zespole komór klimatycznych. Zespół ten składa się z dwóch komór (tzw. „komory ciepłej” i „komory zimnej”) połączonych ze sobą badaną przegrodą. Zastosowane w obu komorach systemy instalacji grzewczych, chłodzących, wentylacyjnych oraz zainstalowana automatyka umożliwiają utrzymanie zadanych warunków stacjonarnych zarówno w „komorze ciepłej” jak i „zimnej”. Istnieje możliwość również sterowania i regulacji zmian warunków cieplnych i wilgotnościowych według zadanego schematu.

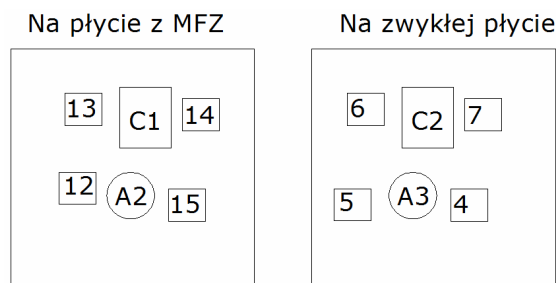
Badana przegroda ma charakter lekkiej konstrukcji składającej się z drewnianego rusztu wypełnionego 15 centymetrową warstwą wełny mineralnej. Warstwę wykończeniową (umieszczoną po stronie komory ciepłej) stanowią płyty gipsowo – kartonowe. Na powierzchni wykończeniowej dodatkowo zamocowane zostały obok siebie dwie płyty o powierzchni 1 m<sup>2</sup> każda: zwykła płyta kartonowo – gipsowa oraz płyta z dodatkiem materiału ulegającego przemianie fazowej o nazwie handlowej SmartBoard 26 firmy BASF. W płycie zastosowano materiał organiczny o nazwie Micronal, który charakteryzują się temperaturą topnienia 26°C oraz ciepłem przemiany fazowej wynoszącym 110 kJ/kg (wg danych producenta). PCM stanowi około 30% udziału masowego płyty. Obie płyty mają zbliżoną do siebie zarówno gęstość jak i współczynnik przewodzenia ciepła. Równoległe umieszczenie płyt zapewniało utrzymanie identycznych warunków zewnętrznych podczas pomiarów i umożliwiało bezpośrednie porównywanie mierzonych wielkości.

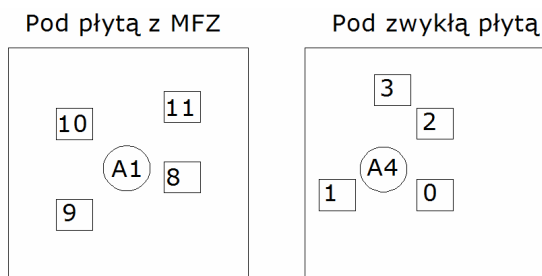
## 1.3. Aparatura

Wielkościami mierzonymi zarówno na powierzchni jak i między warstwami przegrody była temperatura i gęstość strumieni cieplnych. Na powierzchni każdej z przymocowanych płyt umieszczono po 4 przetworniki temperatury Pt 1000 oraz po dwa ciepłomierze (jeden okrągły o średnicy 33 mm, drugi kwadratowy o wymiarach 120x120 mm) (rys. 1). Pod powierzchnią przymocowanych płyt umieszczono również 4 przetworniki temperatury Pt 1000 oraz jeden okrągły ciepłomierz (rys. 2). Temperatura powietrza wewnątrz komór mierzona była przy użyciu czujników temperatury Pt 100 i Pt 1000. Rejestracja mierzonych wielkości odbywała

Rys. 1. Rozmieszczenie czujników na powierzchni płyt. 4,5,6,7,12,13,14, 15 – Pt 1000 czujniki temperatury, A2, A3 – okrągłe ciepłomierze  $\phi=33\text{mm}$ , C1, C2 – kwadratowe ciepłomierze 120x120 mm

Fig. 1. Location of sensors on the plate surface. 4,5,6,7,12,13,14,15 – Pt 1000 temperature sensors, A2, A3 – circular heat meter 33mm dia, C1, C2 – square heat meter 120x120 mm





Rys. 2. Rozmieszczenie czujników pod powierzchnią badanych płyt: 0,1,2,3, 8,9,10,11 – Pt 1000 czujniki temperatury; A1, A4 – okrągłe ciepłomierze  $\phi = 33$  mm

Fig. 2. Location of sensors below the plates' surface: 0,1,2,3,8,9,10,11 – Pt 1000 temperature sensors; A1, A4 – circular heat meter 33mm dia.

się poprzez system zbierania danych Ahlborn Almemo podłączony do komputera. Dane pomiarowe zapisywane były przy wykorzystaniu systemu zbierania danych Data-Control 4.2. Dalsze przetwarzanie danych odbywało się w programie Excel.

## 2. Badania w komorze klimatycznej

### 2.1. Rysunki, wykresy i fotografie

Badania wykonywane były w trzech etapach. Wyniki badań z pierwszych dwóch etapów zostały przedstawione w publikacjach [6,7]. W artykule przeanalizowano przypadek badań przeprowadzonych w warunkach stałej temperatury w komorze zimnej - 18°C oraz zmieniających się warunków w komorze ciepłej. W komorze tej następowały dynamiczne zmiany temperatury powietrza od 18°C do 30°C. Zmiany te polegały na szybkim wzroście temperatury w ciągu 1 godziny a następnie równie szybkim wychłodzeniu powietrza do temperatury wyjściowej 18°C. Po dwugodzinnej stabilizacji temperatury ponownie temperatura w komorze ciepłej wzrastała do 30°C. Ten dynamiczny cykl zmian powtarzany był przez okres jednej doby.

W czasie pomiarów obydwie płyty gipsowo-kartonowe podlegały oddziaływaniom tych samych warunków.

Ten etap badań miał na celu zaobserwowanie zmian temperatury na powierzchniach czołowych i tylnych płyt w sytuacji dynamicznie zmieniających się warunków wewnątrz pomieszczenia, kiedy po drugiej stronie przegrody panują stabilne warunki temperaturowe.

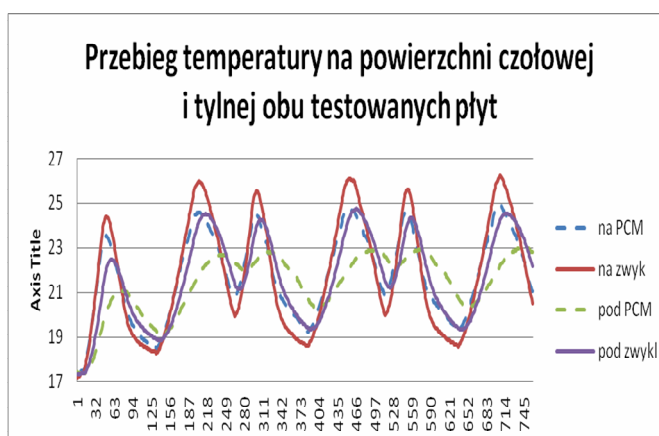
Istotną z punktu widzenia komfortu cieplnego pomieszczeń jest informacja o różnicy pomiędzy wartością temperatury powietrza w pomieszczeniu i temperatury powierzchni wykończeniowych. Przedstawiony na rys. 3 wykres pozwala zaobserwować przebieg różnicy temperatury jaka występowała na powierzchniach czołowych zwykłej płyty gipsowo-kartonowej i płyty zawierającej PCM.

W procesie przyrostu temperatury powietrza temperatura na powierzchni płyty zawierającej PCM była maksymalnie o 1,42°C niższa niż na powierzchni płyty zwykłej. Ten korzystny dla płyty z PCM przebieg temperatury związany jest z większą możliwością akumulacji nadmiaru ciepła w tym materiale.

Podczas przeprowadzonych badań wyniki rejestrowane były co 2 minuty, co odzwierciedlają zaprezentowane w artykule wykresy (Rys. 3,4).

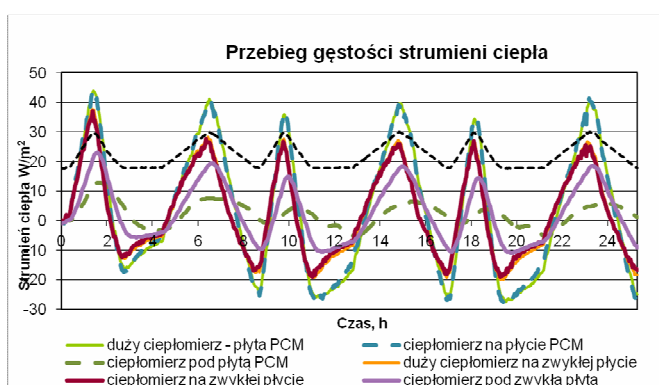
Istotnym aspektem związanym z możliwością magazynowania energii w materiale PCM był pomiar różnicy temperatury jaka występowała w danej chwili czasowej pomiędzy powierzchniami czołową i tylną w obydwu rodzajach płyt. Rysunek nr 3 przedstawia rozkłady temperatury dla omawianego przypadku.

Na rysunku nr 4, przedstawiono wyniki pomiarów gęstości strumieni cieplnych z ciepłomierzy umieszczonych zarówno na jak i pod powierzchniami badanych płyt. W przypadku płyty z dodatkiem materiału fazowo zmiennego maksymalne wskazania ciepłomierzy umieszczonych na powierzchni czołowej są znacznie wyższe niż w przypadku zwykłej płyty kartonowo gipsowej. Natomiast przebieg gęstości strumieni cieplnych pod powierzchniami badanych płyt wskazuje na mniejsze wartości szczytowe w przypadku płyty z PCM.



Rys. 3. Przebieg temperatury na powierzchni czołowej i tylnej obu testowanych płyt

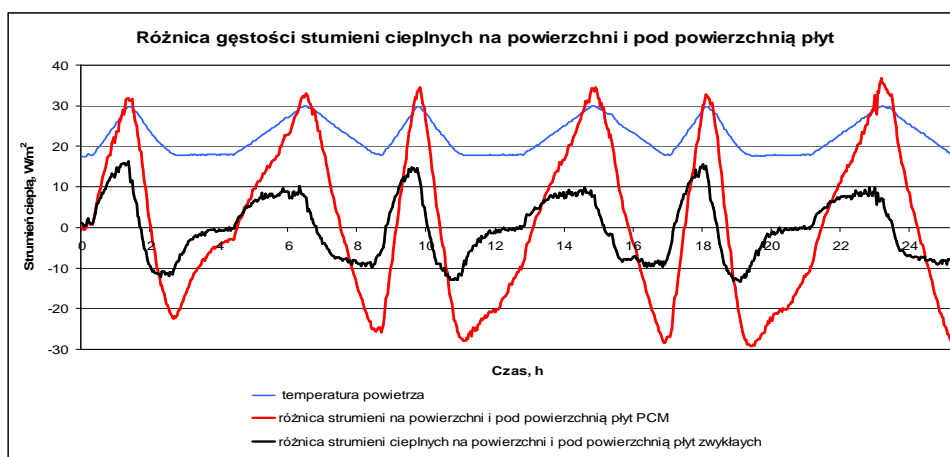
Fig. 3. Temperature measurement on the front and back surface of tested boards



Rys. 4. Przebieg gęstości strumieni cieplnych na powierzchni czołowej i tylnej obu testowanych płyt

Fig. 4. Thermal flux density measurement of on the front and back surface of tested boards

Świadczy to o większych możliwościach akumulowania energii w warstwie modyfikowanej materiałem fazowo zmiennym. Potwierdzeniem tego jest wykres nr 5 obrazujący różnice w każdym kroku czasowym wskazań ciepłomierzy zlokalizowanych na i pod powierzchnią płyty zwykłej i z dodatkiem PCM. Wynik całkowania tych wykresów wskazuje na zakumulowanie ponad 114% i 236% więcej energii w płycie z dodatkiem PCM odpowiednio podczas cykli w szybszym i wolniejszym tempie.



Rys. 5. Przebieg różnicy gęstości strumieni ciepłych na powierzchni czołowej i tylnej obu testowanych płyt

Fig. 5. Thermal flux density measurement of on the front and back surface of tested boards

Aby wykluczyć wpływ zróżnicowania innych właściwości badanych materiałów na prezentowane wyniki dokonano pomiarów następujących parametrów: gęstość płyt, grubość, współczynnik przewodzenia ciepła (w aparacie płytowym FOX) [6] oraz ciepło właściwe (przy użyciu aparatu ISOMET 2114 - Tabela 1). Wartości zawarte w tabeli 1 są wartościami średnimi z pomiarów przeprowadzonych przy temperaturze otoczenia 20,8°C (poniżej temperatury przemiany fazowej). Pomierzone parametry nie wykazują znaczących różnic pomiędzy materiałami. Otrzymane wartości pozwalają na potwierdzenie, że różny przebieg zmian temperatury i gęstości strumienia ciepła w analizowanych płytach wynika z ich właściwości akumulacyjnych.

Tabela 1. Wyniki pomiarów ciepła właściwego badanych materiałów przy użyciu aparatu ISOMET 2114

Table 1. The results of measurements of the specific heat of the materials tested using ISOMET 2114

Parametry	Płyta gipsowo – kartonowa z dodatkiem PCM	Tradycyjna płyta gipsowo - kartonowa
Ciepło właściwe, J/m <sup>3</sup> K	801325	862800

### 3. Wnioski

Otrzymane podczas pomiarów niższe wartości temperatury za płytą z PCM, przedstawione na rys. 3 są efektem absorbowania strumienia ciepła wnikającego w ten materiał i znacznie wolniejszego docierania do powierzchni tylnej płyty. W przypadku tak szybko następującym cyklom grzania i chłodzenia powietrza w komorze zarówno rozkład temperatury jak i gęstości strumieni cieplnych na powierzchniach płyt przebiegają odmiennie niż w przypadku stabilnego, dłużej trwającego etapu grzania i chłodzenia. Istotnym jest przebieg temperatury na powierzchni tylnej płyty zawierającej materiał fazowo zmienny – PCM. Przedstawiony na rys. 3 przebieg temperatury wyraźnie wskazuje na brak możliwości wychłodzenia.

W przeprowadzonym eksperymencie maksymalne wartości osiągane na powierzchni płyty zwykłej i powierzchni płyty z PCM są wyższe. Jest to związane z wyraźnie większą absorpcją ciepła dla materiałów fazowo zmiennych ale również faktem, iż maksymalna temperatura powietrza do której ogrzewana była komora wynosiła 30°C. Przy temperaturze przemiany wynoszącej 26°C jest to istotne.

Przebieg gęstości strumieni cieplnych oraz wynik ich całkowania potwierdzają dużo większe możliwości absorbowania nadmiaru ciepła płyty z materiałem fazowo zmiennym (płyta z PCM zakumulowała średnio ponad 181% więcej ciepła w porównaniu z płytą tradycyjną podczas wszystkich cykli). Wyniki wskazują na duży wpływ czasu w jakim następuje nagrzewanie oraz chłodzenie płyt na efektywność ich pracy.

Małe zróżnicowanie parametrów termo-fizycznych pomiędzy badanymi materiałami daje pewność, że różnice w przebiegu temperatury i gęstości strumieni cieplnych wynikają jedynie z możliwości akumulowania energii w postaci ciepła utajonego przemiany fazowej w płycie z dodatkiem PCM.

Przeprowadzone badania są badaniami wstępnymi, które są obecnie kontynuowane. Będą stanowić bazę porównawczą dla planowanych eksperymentów z zastosowaniem innych rodzajów materiałów PCM oraz różnych sposobów ich wkomponowania w struktury budynku.

### Literatura

- [1] Berrouga F., Lakhala E.K., Omania M. El, Faraji M., Qarniac H. El.: Thermal performance of a greenhouse with a phase change material north wall, *Energy and Buildings* 43 (2011) 3027–3035.
- [2] Chi-ming Lai, R.H. Chen, Ching-Yao Lin, Heat transfer and thermal storage behaviour of gypsum boards incorporating micro-encapsulated PCM, *Energy and Buildings* 42 (2010) 1259–1266.
- [3] Chwieduk D., Wybrane aspekty stosowania materiałów zmiennofazowych w przegrodach zewnętrznych w polskich warunkach klimatycznych, *Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska* z. 59 (2/2012/II).
- [4] Heim D., Clarke JA., Numerical modelling and thermal simulation of PCM–gypsum composites with ESP-r. *Energy Build*, UK 2004;36(8):795–805.

- [5] Nowak K., Zastawna-Rumin Anna.: Badanie i analiza przegrody z dodatkiem materiałów fazowo – zmiennych w warunkach niestacjonarnych, *Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce* 2013, 291-296.
- [6] Oliver A., Thermal characterization of gypsum boards with PCM included: Thermal energy storage in buildings through latent heat, *Energy and Buildings* 48 (2012) 1–7.
- [7] <http://meteo.kdwd.webd.pl> [dostęp: 31 maja 2014 r.].
- [8] Rodriguez-Ubinas E., Arranz Arranz B., Vega Sánchez S., Neila González F.J., Influence of the use of PCM drywall and the fenestration in building retrofitting, *Energy and Buildings* 65 (2013) 464–476.
- [9] Soares N., Costab J.J., Gasparb A.R., Santosc P.: Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency, *Energy and Buildings* 59 (2013) 82–103.
- [10] Wnuk R.: Magazynowanie ciepła, pozyskanego z energii promieniowania słonecznego, z wykorzystaniem materiałów fazowo-zmiennych, w budownictwie, II Konferencja SOLINA 2008, Innowacyjne Rozwiązania Materiały i Technologie dla Budownictwa.
- [11] Wnuk R.: Bilans energetyczny pomieszczenia ze strukturalnym, funkcjonującym w cyklu dobowym, magazynem ciepła z materiałem fazowo-zmiennym, *Czasopismo Techniczne* 2009 Z. 5. Budownictwo Z. 1-B 269-277.
- [12] Wnuk R., Jaworski M.: Badania charakterystyk cieplnych elementów budowlanych akumulujących ciepło zawierających materiały PCM (Phase Change Materials), *Polska Energetyka Słoneczna* 2 4/2010 1/2011 5-11.

## EXAMINATION OF A WALL BARRIER CONTAINING PHASE CHANGE MATERIAL DURING VARIOUS THERMAL CONDITIONS INSIDE CLIMATE CHAMBER

### Summary

This paper presents possibilities of using drywall containing alternating phase materials. The results of the experimental tests of component containing alternating phase material. The measurements of light frame wall, in two options: plate with internal drywall filling and plate containing phase variable material, were conducted in a climatic chamber. The temperature on the surface of plates for non-stationary temperature conditions in a climatic chamber were analyzed. The research stand simulated the conditions where the cladding plates were heated with the increase of internal air temperature rather than through the direct heating. The presented results are derived from one of several phases of the study panels alternating phase-modified material in a climate chamber. The influence of PCM on the surface temperature during fast and slower heating air was analysed.

The aim of the study was to assess both the possibility of accumulation of energy in the test panels and compare the temperature distribution on the surface of both drywall and drywall containing PCM. In order to eliminate the influence of different thermal parameters, between test materials, on energy storage densities there were measured material density, thickness and thermal conductivity.

**Keywords:** heat capacity, phase change material-PCM, thermal energy storage

*Przesłano do redakcji: 12.12.2014 r.*

*Przyjęto do druku: 22.06.2015 r.*

DOI:10.7862/rb.2015.87