

Joanna KRASOŃ¹
Lech LICHOLAŃ²

OKREŚLENIE WPŁYWU IMPULSÓW TERMICZNYCH NA WEWNĘTRZNE ZMIANY TEMPERATUROWE W ELEMENTACH SILIKATOWYCH ZMODYFIKOWANYCH MATERIAŁEM ZMIENNOFAZOWYM

W artykule przedstawiono badania wstępne dotyczące określenia wartości temperatur w elemencie silikatowym, w którym umieszczono materiał zmiennofazowy (PCM). Temperatury rejestrowano podczas nagrzewania i chłodzenia próbek w komorze klimatycznej. Dla porównania wyników, badania przeprowadzono przy wykorzystaniu dwóch próbek silikatowych o jednakowych masach. Do jednej z próbek dodano materiał zmiennofazowy w postaci mikrogranulatu. Przedmiotowy mikrogranulat występuje w postaci parafiny, zamkniętej w powłokach polimerowych, co umożliwia umieszczenie tego materiału zmiennofazowego bezpośrednio w elemencie silikatowym bez dodatkowego zabezpieczenia powierzchni wewnętrznej ścianek. Próbki poddano działaniu impulsów termicznych w dwóch wariantach. W pierwszym, elementy silikatowe zostały stopniowo nagrzewane oraz schładzane w określonym przedziale czasowym, w drugim natomiast zadano szybki wzrost i spadek temperatury. Każde badanie przeprowadzono w dwóch jednakowych cyklach. W artykule, na przedstawionych wykresach zwrócono przede wszystkim uwagę na przedział temperatury, w którym następuje przemiana fazowa, zarówno podczas fazy topnienia jak i fazy krzepnięcia materiału zmiennofazowego. Wykonano dodatkowo badanie na próbkach w kierunku możliwości zastosowania elementów silikatowych w przegrodach kolektorowo - akumulacyjnych. Założono wartości temperatury na podstawie danych termicznych na wewnętrznej powierzchni przeszklenia uzyskanych od promieniowania słonecznego w ciągu jednego dnia. Dane przyjęto analizując wybrany styczniowy dzień. Silikaty należące do elementów ściennych charakteryzują się dużą akumulacyjnością, co wiąże się z ich znacznym ciężarem. Szansą na obniżenie ciężaru tych materiałów, przy jednoczesnym utrzymaniu i ewentualnym polepszeniu ich zdolności akumulacyjnych jest zastosowanie w ich strukturze materiałów zmiennofazowych.

Słowa kluczowe: PCM, akumulacyjność, elementy ścienne, przemiana fazowa

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

² Lech Lichołai, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. 178651327, email: Lech.Lichołai@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Jednym z celów postawionych przez człowieka w dzisiejszych czasach jest dążenie do ograniczenia zużycia energii w budynkach z równoczesnym wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Do takich rozwiązań między innymi można zakwalifikować rozwiązania budowlane uwzględniające materiały zmiennofazowe.

Modyfikacja dodatkami zmiennofazowymi ma na celu zwiększyć pojemność cieplną materiałów budowlanych oraz zmniejszyć wahania temperatur w pomieszczeniach, które mogą powstać przy nagłym wzroście lub spadku temperatury zewnętrznej. Jednym ze sposobów wkomponowania PCM do elementów ściennych jest włączenie materiału zmiennofazowego w postaci mikrokapsułek. Jest to gotowy produkt, w którym głównym składnikiem jest parafina zamknięta w powłoce z akrylu polimerowego. Wielkość mikrokapsułek mieści się w przedziale od 50 ÷ 300 µm. Stosuje się go między innymi do mieszanek betonowych i gipsowych.

Przy połączeniu obydwóch materiałów, należy zwrócić uwagę, aby materiał stanowiący powłokę PCM nie wpływał korozyjnie na materiał budowlany. Równocześnie musi on być szczelny, aby znajdujący się wewnątrz materiał zmiennofazowy nie wypłynął i nie przeniknął do struktury materiału budowlanego [4].

W dotychczas przeprowadzonych badaniach eksperymentalnych, w których wykorzystano mikrogranulat do modyfikacji materiałów budowlanych, potwierdzono możliwość zwiększenia pojemności cieplnej elementów budowlanych oraz zmniejszenie wahań temperaturowych w pomieszczeniach [1,2]. Według Hunger i in. [3], przy włączeniu 5% PCM do mieszanki betonowej i uzyskaniu zwiększenia wydajności cieplnej betonu, można uzyskać oszczędność w zapotrzebowaniu na energię do 12%. Dodatkowo w badaniach wykazano zmniejszenie przewodności cieplnej w betonie. Jednocześnie zwrócono uwagę, na problem pękania kapsułek podczas przygotowywania mieszanki betonowej. Na skutek wypłynięcia parafiny zaobserwowano spadek wytrzymałości na ściskanie betonu. Jednak obserwując korzyści z zastosowania materiałów zmiennofazowych należy prowadzić dalsze badania, aby umożliwić zastosowanie tych dodatków w materiałach budowlanych.

Obecnie występuje kilka gotowych produktów zawierających materiał zmiennofazowy w postaci mikrokapsułek. Są to płyty gipsowe, zaprawy gipsowe oraz bloczki z betonu komórkowego.

2. Określenie wpływu temperatury w elemencie silikatowym zmodyfikowanym PCM

W warunkach laboratoryjnych przeprowadzono badania wstępne dotyczące określenia temperatur w elemencie silikatowym zawierającym materiał zmien-

nofazowy w postaci mikrogranulatu Micronal DS5038X. Szczególną uwagę zwrócono na temperatury uzyskane w przedziale przemiany fazowej w PCM. Dla porównania wyników wykonano próbkę z silikatu o tej samej masie.

Badania zostały przeprowadzone w komorze klimatycznej (rys. 1).



Rys. 1. Komora klimatyczna

Fig. 1. Climatic chamber

2.1. Przygotowanie próbek oraz stanowiska badawczego

Próbki silikatowe zostały przygotowane o wymiarach 60x60x120 mm. Aby uzyskać jednakowe masy w obydwóch próbkach wydrążono otwory o zbliżonych wymiarach. Różnica masy między próbką bez otworów a z otworami wynosiła 92 g, co stanowi około 11,9% masy próbki. Otwory w próbce bez PCM zabezpieczono przed dopływem ciepłego powietrza do wnętrza próbki.

Do jednej z próbek dodano materiał zmiennofazowy Micronal DS5038X. Procentowy udział PCM w próbce stanowił 1,8% masy w modyfikowanym elemencie.

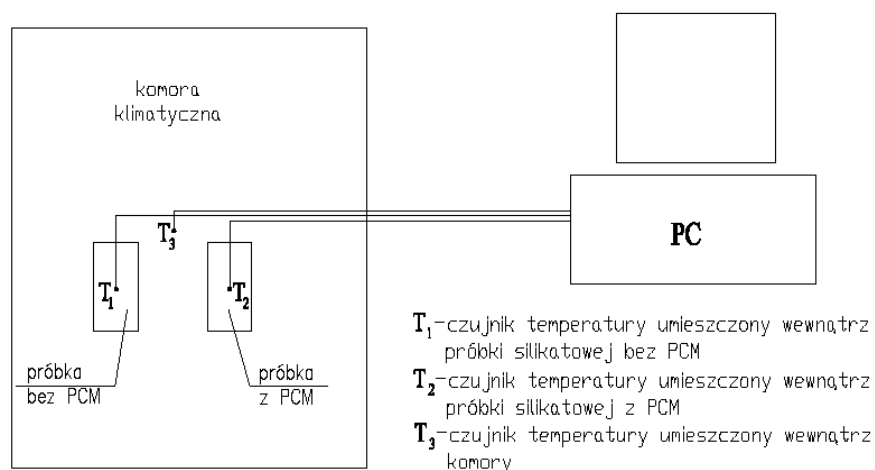
W tabeli nr 1 przedstawiono właściwości charakteryzujące badane materiały.

Tabela 1. Właściwości silikatu i PCM

Table 1. The properties of silicate and PCM

Materiał	Gęstość [kg/m ³]	Temp. topnienia [°C]	Temp. krzepnięcia [°C]	Ciepło właściwe [J/kgK]	Ciepło utajone [kJ/kg]	Współ. przew. ciepła [W/mK]
Silikat	1810 - 2000	-	-	1,0	-	1,05
Micronal DS5038X	300-400	25	24	~ 2,0	100	~0,1

Czujniki temperatury zostały umieszczone wewnątrz każdej próbki i podłączone do komputera. Próbki zostały umieszczone w komorze klimatycznej (rys. 2).

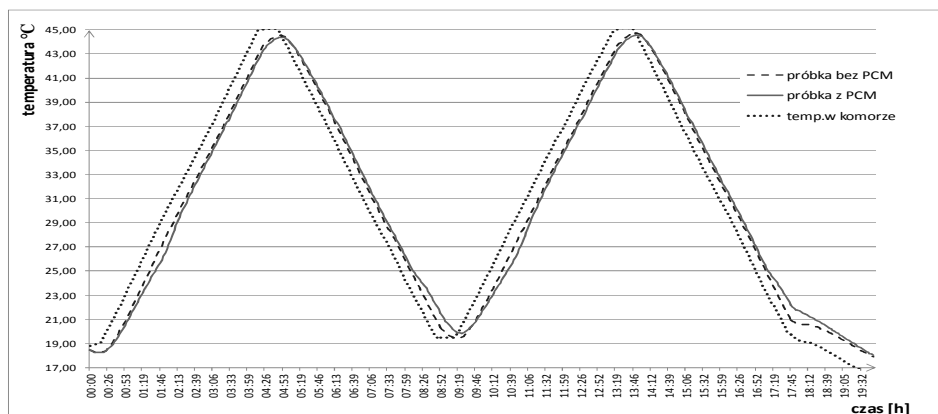


Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 2. Schematic of research stand

2.2. Wyniki pomiarów

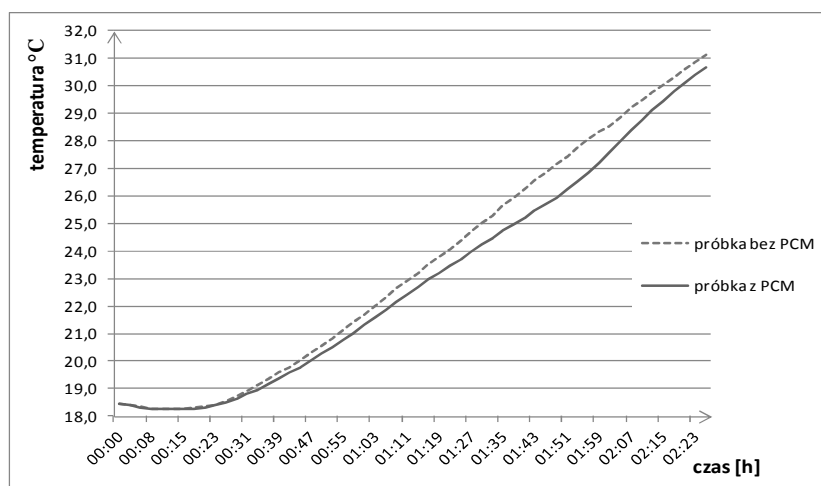
W pierwszym badaniu próbki o ustabilizowanej temperaturze (18,45°C) zostały stopniowo nagrzewane do temperatury 45°C. Wzrost temperatury został rozłożony w czasie 4 godzin. Następnie po ustabilizowaniu maksymalnej temperatury, w tym samym czasie jak w przypadku wzrostu, próbki zaczęto schładzać do temperatury 19°C. Całość badania wykonano w dwóch cyklach rys. 3.



Rys. 3. Wykres przedstawiający dwa cykle wartości temperatur w próbkach silikatowych oraz temperatury powietrza w komorze podczas stopniowego nagrzewania i schładzania próbek

Fig. 3. The chart showing two cycles of temperatures values in the silicate samples and air temperature in the chamber during the gradual heating and cooling of samples

Wraz ze wzrostem temperatury próbka z PCM nagrzewała się wolniej. W przedziale między 25°C a 27°C (rys. 4) wystąpiła maksymalna różnica temperatury między próbkami od 1,05 K do 1,25 K, co świadczyłoby o nastąpieniu przemiany fazowej w PCM i z akumulowaniu większej energii cieplnej w materiale zmiennofazowym, przyczyniając się do mniejszego wzrostu temperatury w samej strukturze elementu silikatowego.



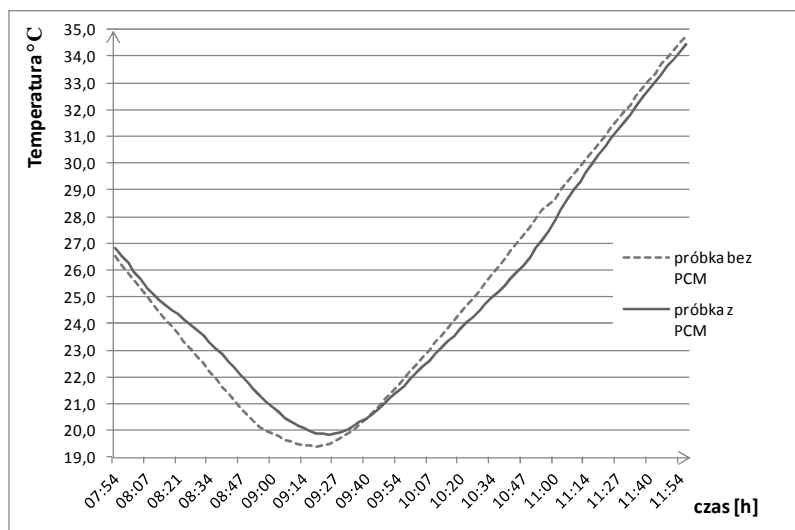
Rys. 4. Fragment wykresu wzrostu temperatur w próbkach silikatowych w przedziale temperatury przemiany fazowej PCM

Fig. 4. Part of the chart of temperatures increase in the silicate samples in the range of temperature of phase change PCM

W dalszym wzroście różnica temperatury utrzymywała się w podobnym odstępnie, czyli około 0,4 K, aż do momentu zrównania się temperatur.

Temperaturę zaczęto obniżać stopniowo w tym samym przedziale czasowym jak w przypadku nagrzewania próbek. W przedziale między $20 \div 25^\circ\text{C}$ zaobserwowano największą różnicę w spadku temperatury pomiędzy próbkami (Rys. 5). W silikacie bez PCM temperatura spadła szybciej o maksymalnie 1,24 K. W próbce z PCM nastąpiła przemiana fazowa z ciekłej na stałą, co spowodowało oddawanie zmagazynowanej energii cieplnej do struktury elementu i wzrostu temperatury w zmodyfikowanym silikacie.

Maksymalne wartości różnicy temperatur w przypadku nagrzewania i schłodzenia były zbliżone.



Rys. 5. Fragment wykresu spadku i wzrostu temperatur w obydwóch próbkach silikatowych podczas stopniowego schładzania i nagrzewania próbek

Fig. 5. Part of the chart decrease and increase of temperatures in both samples of silicate during the gradual cooling and heating of samples

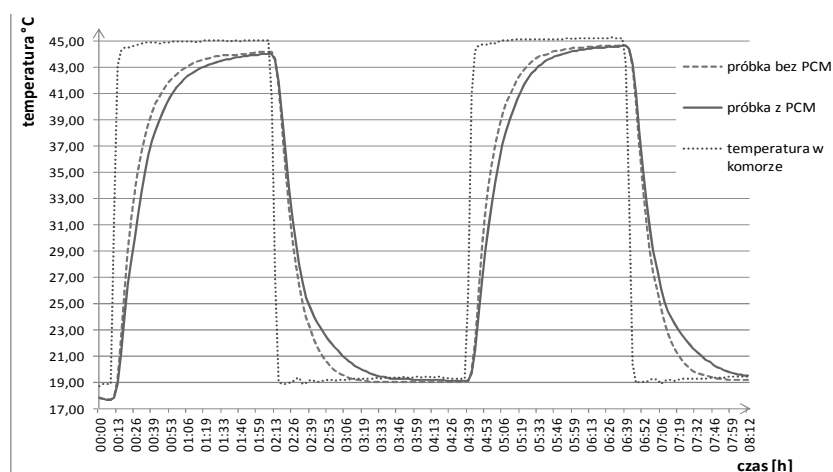
W okresie utrzymywania temperatury na poziomie 19°C przez 30 min. między cyklami, temperatura w próbce z PCM była wyższa o około 0,50 K od niemodyfikowanej próbki.

W drugim cyklu nagrzewania próbek, temperatura w elemencie z PCM wzrastała podobnie jak w przypadku pierwszego cyklu.

W kolejnym badaniu przyjęto szybki wzrost temperatury do tej samej wartości 45°C , jak w przypadku stopniowego nagrzewania. Przeprowadzono również dwa cykle (rys. 6). Przy nagrzewaniu nastąpił szybszy wzrost próbki bez materiału zmiennofazowego. Różnica temperatury między próbkami występo-

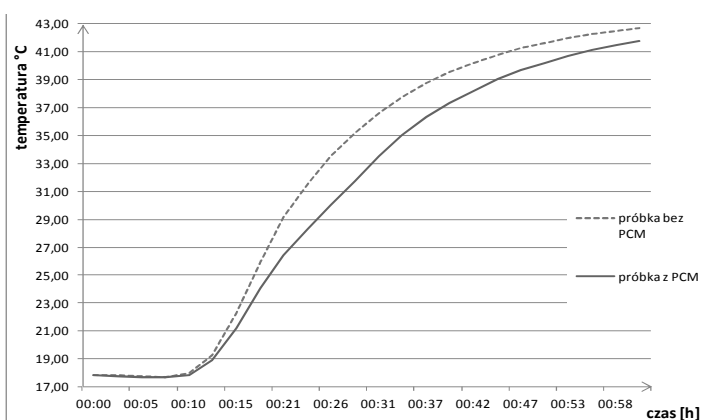
wał w całym przedziale nagrzewania aż do maksymalnej temperatury zadanej w komorze, czyli 45°C.

Na rysunku 7 przedstawiono wzrost temperatury w obydwóch próbkach podczas szybkiego nagrzewania w komorze. W przedziale między 28 ÷ 33°C nastąpiła największa różnica w temperaturach pomiędzy próbkami i przekroczyła 3 K (max. 3,53 K), co świadczy o wystąpieniu przemiany fazowej i o szybkim zmagazynowaniu energii cieplnej przez PCM.



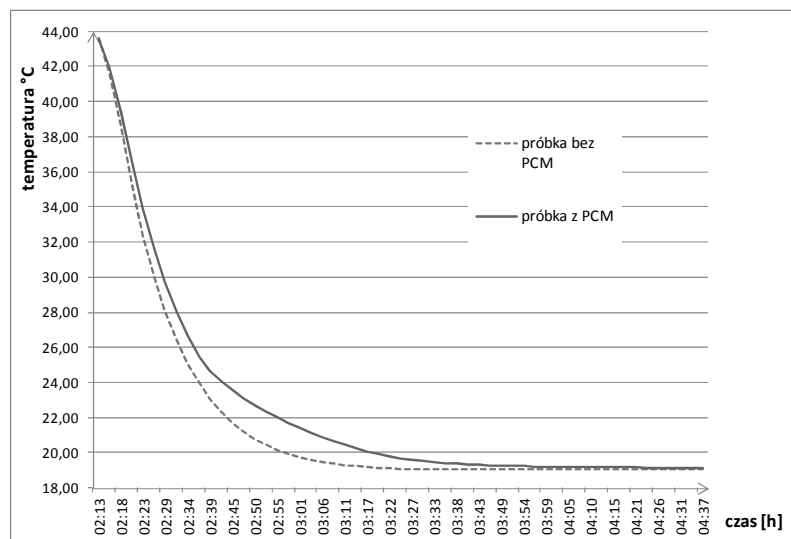
Rys. 6. Wykres przedstawiający dwa cykle wartości temperatur w próbkach silikatowych oraz temperatury powietrza w komorze podczas szybkiego nagrzewania i schładzania próbek

Fig. 6. The chart showing two cycles of temperature values in silicate samples and air temperature in the chamber during fast heating and cooling of samples



Rys. 7. Fragment wykresu wzrostu temperatur w próbkach silikatowych podczas szybkiego nagrzewania próbek

Fig. 7. Part of the chart of temperatures increase in the silicate samples during fast heating of samples



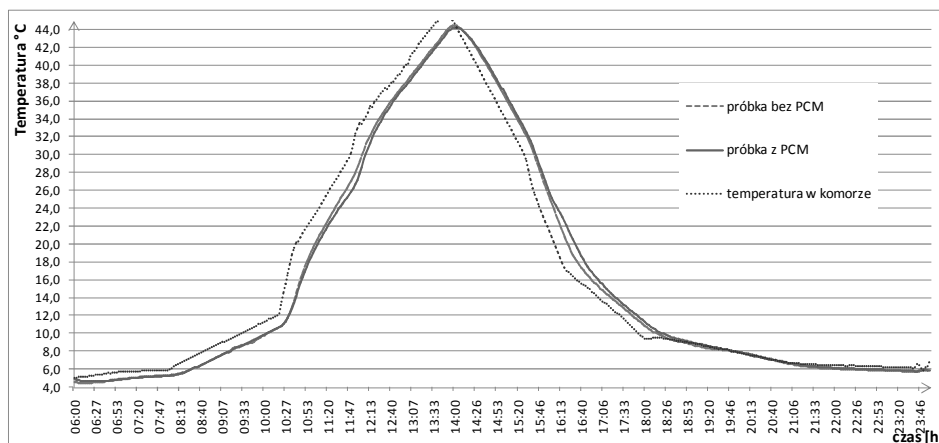
Rys. 8. Fragment wykresu spadku temperatury w próbkach silikatowych podczas szybkiego schładzania próbek

Fig. 8. Part of the chart of temperature decrease in the silicate samples during the fast cooling of samples

Na rysunku nr 8 przedstawiono spadek temperatury w obydwóch próbkach podczas szybkiego schładzania w komorze. Tendencja do wolniejszego obniżania temperatury w próbce z PCM została zauważona od początku spadku temperatury. Kiedy pojawił się proces krzepnięcia PCM (24°C) nastąpiło oddawanie zmagazynowanej energii cieplnej do elementu silikatowego, co świadczy o wzroście temperatury maksymalnie o $1,95\text{ K}$ w porównaniu do elementu bez materiału zmiennofazowego. Po 1,5 godzinie utrzymywania temperatury na poziomie 19°C w komorze, wartości temperatur w obydwóch próbkach zbliżyły się do siebie.

W drugim cyklu podobnie jak w pierwszym podczas nagrzewania osiągnięto zbliżoną różnicę temperatury między próbkami, czyli przy wartości około 30°C , przekroczona została o 3 K .

Biorąc pod uwagę możliwość zastosowania elementów silikatowych modyfikowanych materiałami zmiennofazowymi w przegrodach kolektorowo – akumulacyjnych, przeprowadzono dodatkowo, badanie określenia temperatur w próbkach, narzucając zbliżone temperatury w komorze z danych temperaturowych uzyskanych od promieniowania słonecznego na powierzchni wewnętrznej przeszklenia w ścianie kolektorowo – akumulacyjnej [5]. Przyjęto jeden dzień stycznia (11.01.2009r.) o dużym natężeniu promieniowania słonecznego. W tym dniu minimalna temperatura na wewnętrznej powierzchni przeszklenia wynosiła $5,0^{\circ}\text{C}$, maksymalna $46,25^{\circ}\text{C}$.



Rys. 9. Wykres przedstawiający temperatury w próbkach silikatowych oraz temperatury powietrza w komorze podczas narzuconych temperatur uzyskanych z promieniowania słonecznego na wewnętrznej stronie przeszklenia

Fig. 9. The chart showing the temperature of the silicate samples and air temperature in the chamber during the temperature imposed obtained from solar radiation on the inner side of the glazing

Podobnie jak w poprzednich badaniach, największa różnica temperatur między próbkami występowała w przedziale przemiany fazowej zarówno przy wzroście jak i spadku temperatur. Temperatura w próbce z PCM przy nagrzewaniu w przedziale między 25 a 30°C była niższa od próbki bez PCM ponad 1 K, a maksymalnie różnica wynosiła 1,3 K. Natomiast przy spadku była wyższa maksymalnie o 1,76 K, w przedziale 17÷24°C.

3. Wnioski

W przeprowadzonych badaniach na podstawie uzyskanych wartości temperatur w próbkach, można zauważyć i potwierdzić możliwość zwiększenia magazynowania energii cieplnej w elementach silikatowych, niezależnie od sposobu nagrzewania i schładzania próbek.

Przyrost oraz spadek temperatury w modyfikowanej próbce odbywa się w sposób łagodniejszy od próbki tradycyjnej.

W przypadku elementów silikatowych zastosowanie materiałów zmienno-fazowych może przyczynić się do zmniejszenia ich masy, jednocześnie nie redukując zalety tych materiałów, czyli dużej akumulacyjności.

Elementy silikatowe z wkomponowanym PCM mogą być wykorzystane również w ścianach kolektorowo – akumulacyjnych, co jest szansą na poprawę ich efektywności energetycznej.

Powyższe wstępne badania są przyczynkiem do dalszych badań w kierunku analizy możliwości zastosowania ich w takich przegrodach.

Literatura

- [1] 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
- [2] Entrop A.G., Brouwers H.J.H., Reinders A.H.M.E.: Experimental research on the use of micro-encapsulated Phase Change Materials to store solar energy in concrete floors and to save energy in Dutch houses, *Solar Energy* 85 (2011) 1007–1020
- [3] Hunger M., Entrop A.G., Mandilaras I., Brouwers H.J.H., Founti M.: The behavior of self-compacting concrete containing micro-encapsulated Phase Change Materials, *Cement & Concrete Composites* 31 (2009) 731–743
- [4] 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
- [5] Miąsik P.: Efektywność energetyczna szkieletowych przegród kolektorowo – akumulacyjnych, Praca doktorska, 2011

DEFINING THE INFLUENCE OF THERMAL PULSES ON THE INTERNAL TEMPERATURE CHANGES IN SILICATE ELEMENTS MODIFIED WITH PHASE CHANGE MATERIALS

Summary

The article presents preliminary research on the defining temperature values in the silicate element, where phase-change material (PCM) was placed. Temperatures were being recorded during heating and cooling of samples in the climatic chamber. For the comparison of the results, the research was conducted using two equal-mass silicate samples. The phase change material in the form of microgranules was added to one of the samples. The subject microgranule was in the form of paraffin, encapsulated in polymer coatings, to allow the insertion of the change phase material in the element of silicate directly without collateral of the inner wall surfaces. The samples were subjected to thermal pulses in two variants. In the first one, silicate elements were gradually heated and cooled within the specified time period, while in the second one, they were exposed to the rapid increase and decrease of temperature. Each test was carried out in two identical cycles. In the article, special attention was put to the presented charts focusing particularly on the temperature ranges in which the phase change occurs, both during the melting phase and the solidification phase of the material. The additional sample research was conducted in order to define the possibility of using silicate materials in thermal - storage barriers. The temperature values were assumed on the basis of data collected from the inner glazing surface and obtained from solar radiation during one day. The data was adopted by analyzing a selected day in January. Silicates belonging to the wall elements are characterized by high accumulation, which is related to their significant weight. A chance to reduce the weight of these materials while maintaining and possibly improving their accumulation capacity, is to use phase change materials in structure of silicate.

Keywords: PCM, accumulation, element walls, phase change

DOI:10.7862/rb.2014.97

Przesłano do redakcji: 05.12.2014 r.

Przyjęto do druku: 18.12.2014 r.