

dr inż. Janusz Belok\*

dr inż. Beata Wilk-Słomka\*

# Materiały zmiennofazowe w budownictwie zeroenergetycznym

W przypadku budownictwa niskoenergetycznego, realizowanego w polskich warunkach klimatycznych, jednym z największych wyzwań inżynierskich dotyczących wykorzystania energii promieniowania słonecznego jest umiejętność jej magazynowania i przekazywania tylko wtedy, gdy jest to pożądane. Do tego celu przydatne może być wykorzystanie zjawiska przemian fazowych zachodzących w różnych materiałach. Zmiana stanu skupienia materiału wymaga dostarczenia do niego bądź odebrania określonej ilości energii cieplnej. W aplikacjach technicznych stosuje się kombinacje różnych substancji, których przemiany fazowe zachodzą w wymaganym przedziale temperatury. W 1983 r. powstała praktyczna klasyfikacja materiałów zmiennofazowych PCM (Phase Change Material) zaproponowana przez Abhata.

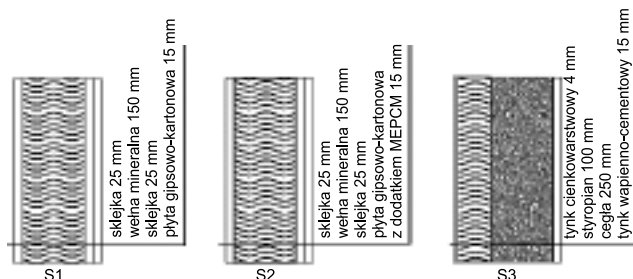
W budownictwie najczęściej wykorzystywane są mieszaniny wosków i parafin bądź sole uwodnione, których temperaturę topnienia można tak dobrać, aby była zbliżona do występującej w typowych pomieszczeniach użytkowych. W praktyce właściwy materiał zmiennofazowy zamknięty jest w mikrokapsułkach lub saszetkach wykonanych z tworzywa sztucznego. Takie rozwiązania pozwalają wprowadzić materiały PCM, np. jako dodatek do zapraw tynkarskich, mas betonowych oraz jako wypełnienie konstrukcji szkieletowych. Zaprojektowanie obiektu z wykorzystaniem materiałów PCM wymaga znajomości ich podstawowych parametrów cieplnych (tabela 1).

## Badania symulacyjne obiektu wykorzystującego materiał PCM

W celu przeanalizowania wpływu wbudowania materiału PCM w przegrodę budynku i oceny jego oddziaływania na komfort cieplny pomieszczenia przeprowadziliśmy symulacyjne badania porównawcze trzech obiektów o odmiennych rozwiązaniach konstrukcyjnych. W programie ESP-r [9] zamodelowano trzy jednakowe geometrycznie obiekty oznaczone jako S1, S2 i S3. Kubatura pojedynczego obiektu wynosiła 75 m<sup>3</sup>, powierzchnia podłogi 25 m<sup>2</sup>. Na elewacji południowej o powierzchni 15 m<sup>2</sup> umieszczono otwór okienny o powierzchni 3,6 m<sup>2</sup>. Ściany zewnętrzne w obiektach S1 i S2 są przegrodami o lekkiej konstrukcji szkieletowej, natomiast w obiekcie S3 z cegły ceramicznej. W obiekcie S2 wewnętrzna warstwa wykończeniowa została zmodyfikowana przez dodanie materiału PCM. Podłoga na gruncie i strop we wszystkich przypadkach mają jednakową budowę.

Na rysunku 1 przedstawiono schematy konstrukcyjne poszczególnych przegród. Płyta gipsowo-kartonowa zastosowana jako warstwa wykończeniowa w obiekcie S2 została zmodyfikowana przez wprowadzenie dodatku w postaci materiału MEPCM (Micro Encapsulated Phase Change Material). Parametry techniczne materiału zastosowane w modelu przedstawiono w tabeli 2.

\* Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa



Rys. 1. Budowa przegrody zewnętrznej poszczególnych obiektów

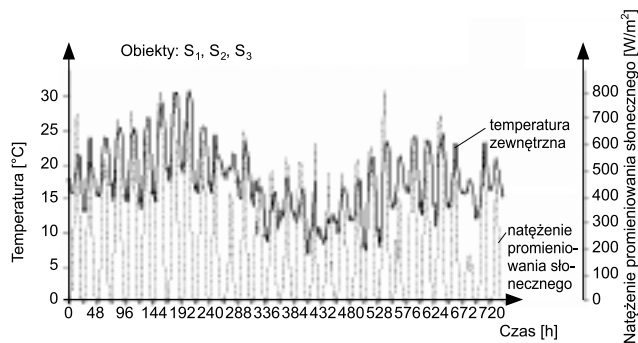
Tabela 1. Właściwości cieplne substancji mogących znaleźć zastosowanie w charakterze materiału PCM

Substancja	Temperatura topnienia [°C]	Ciepło topnienia [kJ/kg]	Przewodność cieplna [W/mK]	Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Materiały organiczne</b>				
Parafina C <sub>14</sub>	4,5 [1]	165 [1]	brak danych	brak danych
Parafina C <sub>15</sub> – C <sub>16</sub>	8 [1]	153 [1]	brak danych	brak danych
Poliglikol E400	8 [2], [4]	99,6 [2], [4]	0,187 (ciecz, 38,6°C) [2], [4]; 0,185 (ciecz, 69,9°C) [4]	1125 (ciecz, 25°C) [2], [4]; 1228 (c.stale, 3°C) [2], [4]
Dimetylsulfoksyd (DMS)	16,5 [5]	85,7 [5]	brak danych	1009 (ciecz i c.stale) [5]
Parafina C <sub>16</sub> – C <sub>18</sub>	20 – 22 [6]	152 [6]	brak danych	brak danych
Poliglikol E600	22 [2], [4]	127,2 [2], [4]	0,189 (ciecz, 38,6°C) [2], [4]; 0,187 (ciecz, 67,0°C) [4]	1126 (ciecz, 25°C) [2], [4]; 1232 (ciecz, 4°C) [2], [4]
Parafina C <sub>13</sub> – C <sub>24</sub>	22 – 24 [1]	189 [1]	0,21 (c.stale) [1]	0,760 (ciecz, 70°C) [1]; 0,900 (c.stale, 20°C) [1]
Alkohol laurylowy	26 [3]	200 [3]	brak danych	brak danych
Parafina C <sub>18</sub>	28 [1] 27,5 [7]	244 [1] 243,5 [7]	0,148 (ciecz, 40°C) [7]; 0,15 (c.stale) [1]; 0,358 (c.stale, 25°C) [7]	0,774 (ciecz, 70°C) [1]; 0,814 (c.stale, 20°C) [1]
<b>Eutektyki nieorganiczne</b>				
66,6% CaCl <sub>2</sub> • 6H <sub>2</sub> O + 33,3% MgCl <sub>2</sub> • 6H <sub>2</sub> O	25	127	brak danych	1590
48% CaCl <sub>2</sub> + 4,3% NaCl + 0,4% KCl + 47,3% H <sub>2</sub> O	26,8 [1]	188	brak danych	1640
47% Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> • 4H <sub>2</sub> O + 33% Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> • 6H <sub>2</sub> O	30 [1]	136 [1]	brak danych	brak danych
60% Na(CH <sub>3</sub> COO) • 3H <sub>2</sub> O + 40% CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	31,5 30 [8]	226 200,5 [8]	brak danych	brak danych

**Tabela 2. Parametry techniczne płyt gipsowych modyfikowanych dodatkiem MEPCM**

Parametry	Wartość
Grubość [mm]	15
Masa [kg/m <sup>2</sup> ]	11,5
Temperatura topnienia [°C]	26
Ciepło utajone [kJ/m <sup>2</sup> ]	330
Ciepło właściwe [kJ/kgK]	1,2
Współczynnik przewodności cieplnej [W/mK]	0,18

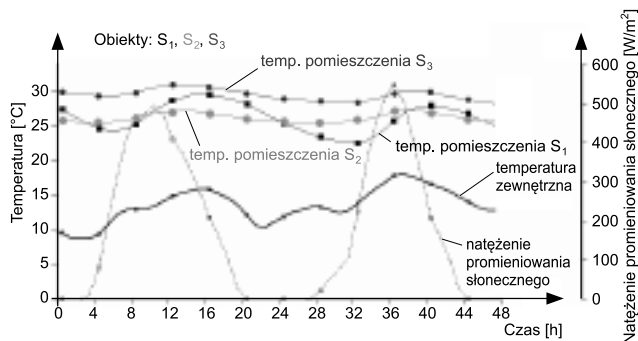
Jako obciążenie zewnętrzne obiektów przyjęto oddziaływanie klimatyczne, stosując numeryczną bazę danych dla Katowic. Na rysunku 2 przedstawiono zmienność temperatury zewnętrznej i natężenia promieniowania słonecznego wygenerowaną na podstawie danych zawartych w bazie. Wybrane parametry wydają się najistotniejsze z punktu widzenia celu prowadzonych badań. Wewnątrz pomieszczeń, aby wyeliminować zbędne czynniki zakłócające, założono brak jakichkolwiek źródeł ciepła/chłodu i urządzeń generujących wewnętrzne zyski ciepła.



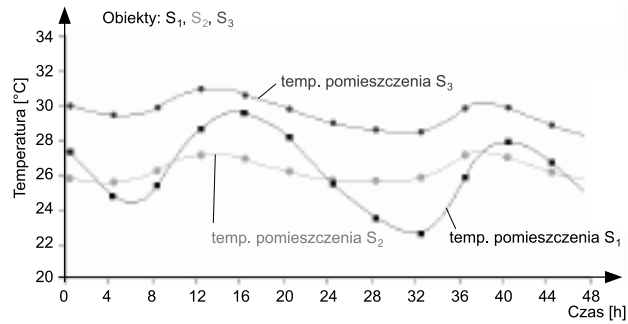
**Rys. 2. Przebieg temperatury i całkowitego natężenia promieniowania słonecznego dla Katowic w okresie 01.07 ÷ 31.07 2009 r. (średnie wieloletnie) [9]**

**Wyniki analiz**

Na rysunkach 3 i 4 widać wyraźnie wpływ różnicowanej pojemności cieplnej przegród na kształtowanie temperatury wewnętrznej oraz efekt zastosowania materiału zmiennofazowego. W obiekcie S1 mamy do czynienia z największą amplitudą wahań temperatury, co jest oczywiście związane z niewielką pojemnością cieplną otaczających je przegród. Prowadzi to do szybkiego nagrzewania pomieszczenia pod wpływem promieniowania słonecznego i równie szybkiego spadku temperatury po zaniku promieniowania. Obiekty S2 i S3 charakteryzują się zblizoną amplitudą wahań temperatury, jednak w obiekcie S3 średnia wartość temperatury utrzymuje się na naj-



**Rys. 3. Przebieg temperatury wewnątrz obiektów na tle zmian temperatury zewnętrznej i natężenia promieniowania słonecznego [9]**



**Rys. 4. Zmienność temperatury w analizowanych obiektach w okresie 2 dob (15 ÷ 16.07 2009 r.)**

wyższym poziomie. Wpływa na to duża pojemność cieplna przegród. Konsekwencją tego jest, podobnie jak w obiekcie S1, niekorzystny komfort cieplny w pomieszczeniu. W przypadku obiektu S2 mamy do czynienia z najmniejszymi wahaniami temperatury oraz z najkorzystniejszymi warunkami eksploatacyjnymi. Jest to efekt wprowadzenia materiału zmiennofazowego do budowy przegród.

**Podsumowanie**

Odpowiednio dobrany materiał zmiennofazowy w sposób bardzo istotny wpływa na procesy cieplne zachodzące w pomieszczeniu. Nie występują silne wahania temperatury, charakterystyczne dla obiektów o małej pojemności cieplnej oraz nie obserwuje się nadmiernego nagrzewania, jak to ma miejsce w obiekcie masywnym. Przyjęte w badaniach założenia i uzyskane wyniki wskazują, że materiał zmiennofazowy pozwala na utrzymanie temperatury w pomieszczeniu na poziomie akceptowalnym przez użytkownika bez konieczności stosowania aktywnych (energochłonnych) systemów jej regulacji.

**Literatura**

[1] Abhat A., *Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials*, Solar Energy 30 (1983).  
 [2] Dincer I., Rosen M. A., *Thermal energy storage, Systems and Applications*, John Wiley & Sons, Chichester (Wlk. Brytania), 2002.  
 [3] Hawes D. W., Feldman D., Banu D., *Latent heat storage in building materials*, Energy Buildings 20 (1993) 77 – 86.  
 [4] Lane G. A., *Low temperature heat storage with phase change materials*, Int. J. Ambient Energy 1 (1980) 155 – 168.  
 [5] Farid M. M., Hamad F.A., Abu-Arabi M., *Phase change cool storage using dimethyl-sulfoxide*, Energy Convers. Mgmt. 39 (1998) 819 – 826.  
 [6] Zalba B., *Almacenamiento termico de energia mediante cambio de fase, Procedimiento experimental*, Ph. D. Thesis, University of Zaragoza (Spain), 2002.  
 [7] Sasaguchi K., Viskanta R., *Phase change heat transfer during melting and resolidification of melt around cylindrical heat source (s)/sink(s)*, J. Energy Resources Technol. 111 (1989) 43 – 49.  
 [8] Li J. H., Zhang G. E., Wang J. Y., *Investigation of a eutectic mixture of sodium acetate trihydrate and urea as latent heat storage*, Solar Energy 47 (6) (1991) 443 – 445.  
 [9] ESP-r: A Building and Plant Energy Simulation Environment, User Guide Version 9 Series, ESRU Publication, University of Strathclyde, Glasgow.