

**Marta GOSZ**

Politechnika Gdańska, Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa

## **MAGAZYNOWANIE ENERGII CIEPLNEJ DLA POTRZEB BUDYNKU - PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ I SPOSOBÓW ZINTEGROWANIA ICH Z BRYŁĄ OBIEKTU**

Magazynowanie energii cieplnej pozyskanej ze źródeł odnawialnych to obiecująca technologia mająca poprawić wydajność energetyczną budynków. Jest to obecnie popularny temat wielu badań dążących do doboru optymalnych parametrów magazynu, takich jak jego rozmiar, rodzaj wypełnienia, lokalizacja i sposób instalacji w budynku. Każdy z tych czynników ma istotny wpływ na zmniejszenie zapotrzebowania energetycznego zarówno w sektorze budownictwa prywatnego, jak i komercyjnego. Niniejsza praca stanowi przegląd istniejących systemów magazynowania ciepła oraz rozwiązań, za pomocą których wkomponowane zostały one w bryłę budynku.

**Słowa kluczowe:** magazynowanie energii cieplnej, materiały zmiennofazowe, rdzeń budynku, fasada

### **WPROWADZENIE**

Magazynowanie energii to szansa wykorzystania potencjału odnawialnych źródeł ciepła nie tylko w okresie, gdy generują one największy przyrost energii cieplnej, ale także poza tym sezonem. Magazyny to konstrukcje pozwalające na akumulację ciepła lub chłodu. Wyróżniamy dwa typy - krótkoterminowe oraz długoterminowe. Wykorzystując do ich ładowania energię pochodzącą ze źródeł odnawialnych, można całkowicie uniezależnić się od zewnętrznych dostawców mediów. Taka technologia przynosi więc nie tylko spore korzyści dla środowiska, ale pomaga też użytkownikom budynków zmniejszyć koszty eksploatacyjne. Wszystko to dzięki możliwości wykorzystania zgromadzonej energii cieplnej w dowolnym czasie i w ilości odpowiadającej indywidualnemu zapotrzebowaniu. Głównym czynnikiem determinującym rozwój tej technologii są wymagania stawiane przez Unię Europejską, które dążą do zmniejszenia emisyjności gazów cieplarnianych do 2050 roku o 80÷95% [1]. Z tego powodu narzucone są regulacje dotyczące poprawy termoizolacyjności i wydajności energetycznej powstających obiektów.

Magazyny ciepła ze względu na wypełnienie podzielić można na jednofazowe, zmiennofazowe i termochemiczne. Magazyny z wypełnieniem jednofazowym należą do najpopularniejszych i najbardziej powszechnych. Ich wkład najczęściej stanowi woda, ale mogą to być także olej, powietrze, cegła, beton itp., czyli

wszystkie nośniki, w których energia magazynowana jest dzięki zmianie temperatury, a więc energii kinetycznej cząstek.

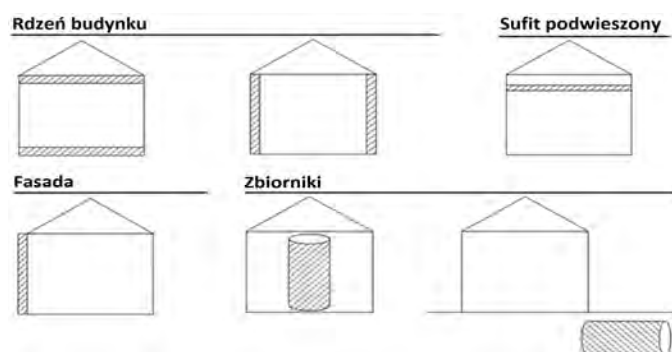
W materiały o zmiennych fazach (PCM - ang. Phase Change Materials) ciepło przenoszone jest podczas przejścia fazowego spowodowanego nawet niewielką różnicą temperatur. Energia uwalniana jest podczas topnienia materiałów, zamkniętych najczęściej w mikrokapsułkach, a gromadzona ponownie, gdy dochodzi do ich krzepnięcia. By proces mógł samoczynnie się powtarzać, należy utrzymywać stałą temperaturę topnienia, czyli przemiany fazowej. W zależności od pochodzenia materiały te dzieli się na organiczne (najczęściej to pochodne parafiny), nieorganiczne (np. sole hydratyzowane), metale oraz eutektyki (które są mieszaninami dwóch lub więcej faz) [2].

Wypełnienie termochemiczne magazynów charakteryzuje się odwracalnymi wysokotemperaturowymi procesami chemicznymi zachodzącymi wewnątrz zbiornika. Te procesy to sorpcja i desorpcja. Para po podgrzaniu ulega dysocjacji i oddaje ciepło, gdy ponownie może wziąć udział w reakcji. Ciepło przechowywane jest tak długo, aż możliwe będzie wzięcie udziału w reakcji, która je uwolni. Gęstość energii podczas przemiany chemicznej jest relatywnie wyższa niż w przypadku przemiany fizycznej (zmiana fazy), dlatego tego typu magazyny mogą mieć mniejsze rozmiary niż dla wypełnień jedno- i zmiennofazowych przy zachowaniu tej samej efektywności.

Wybór odpowiedniego wypełnienia magazynu i jego wielkości jest kwestią kluczową w projektowaniu tego typu technologii. Nie mniej istotną sprawą jest także lokalizacja systemu magazynowania w konstrukcji obiektu. Celem niniejszej pracy jest dokonanie przeglądu zastosowanych rozwiązań magazynowania energii cieplnej pod kątem sposobów zintegrowania ich z bryłą budynku.

## **INTEGRACJA SYSTEMÓW MAGAZYNOWANIA CIEPŁA Z BUDYNKIEM**

By osiągnąć narzucane regulacjami prawnymi parametry energooszczędności obiektów budowlanych, niejednokrotnie trzeba łączyć ze sobą kilka technologii pozyskiwania i przechowywania energii cieplnej. Integrację takich systemów należy przewidywać na etapie projektowania, ponieważ nie każde rozwiązanie można zainstalować w istniejącym budynku. Pojemność cieplną budynków można zwiększyć poprzez poprawę termoizolacyjności przegród lub podłączenie jednostek pozyskujących „zieloną energię” (kolektory słoneczne, ogniwa fotowoltaiczne, przydomowe elektrownie wiatrowe). Inna możliwość to wkomponowanie w układ budynku jednostki magazynującej energię cieplną. Może to być np. zbiornik zainstalowany w pomieszczeniu technicznym bądź zakopany pod ziemią. Takie naczynia gromadzące ciepło można instalować także w elementach konstrukcyjnych jako alternatywa dla konwencjonalnych rozwiązań. Rysunek 1 przedstawia różne sposoby rozmieszczenia magazynów cieplnych w obiekcie: w przegrodach pionowych i poziomych budynku (rdzeń konstrukcji), jako część fasady, w elementach osłonowych wewnętrznych (np. w powieszonym suficie) oraz jako zbiorniki w środku budynku lub pod ziemią.



Rys. 1. Sposoby instalacji magazynu energii cieplnej w budynku; na podstawie [3]

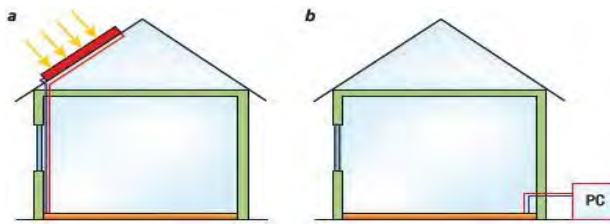
### Magazyn ciepła zintegrowany z rdzeniem budynku

W doborze materiałów, z których wykonane są przegrody, istotnym czynnikiem jest ich akumulacyjność cieplna. Materiałami o stosunkowo dobrej pojemności cieplnej wykorzystywanymi do budowy przegród są wyroby ceramiczne lub betonowe. „Masę termiczną” tych budulców można zwiększyć, instalując w przegrodach dodatkowe materiały tworzące barierę cieplną. Do tego celu bardzo dobrze nadają się materiały zmiennofazowe, które dzięki niewielkim gabarytom z powodzeniem można umieścić w przegrodach, takich jak ściana, strop czy podłoga. Jak pokazuje rysunek 2, istnieje możliwość ułożenia ich w specjalnych kieszeniach, a następnie wbudowywania na stałe w elementy konstrukcyjne. To rozwiązanie umożliwia nie tylko dogrzewanie budynku, ale także chłodzenie, gdy zaistnieje taka potrzeba.



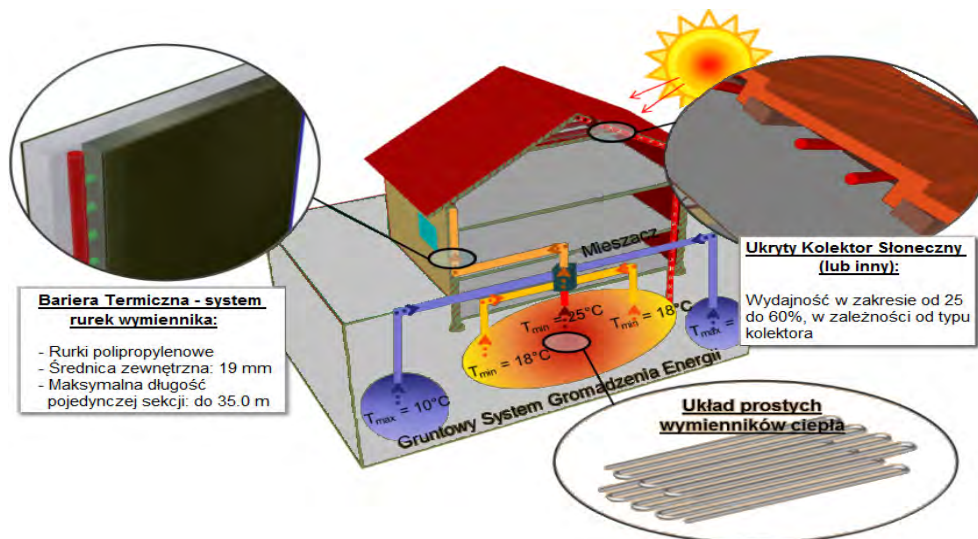
Rys. 2. Pustaki ceramiczne z wkładem z materiałów zmiennofazowych [4]

Jak wspomniano na początku artykułu, mikrokapsułki wypełnione materiałem o zmiennych fazach ulegają naprzemiennemu topnieniu (z jednoczesnym oddawaniem energii) i krzepnięciu (z kumulowaniem tej energii). Procesy te mogą zachodzić samoistnie pod wpływem działania promieni słonecznych. Jednak dla osiągnięcia najbardziej efektywnych wyników oraz sprawnego działania systemu również w okresie zimowym wspomaga się je instalacją z paneli słonecznych lub pompy ciepła (rys. 3).



Rys. 3. Zwiększenie pojemności cieplnej podłogi dzięki PCM: a) wykorzystanie instalacji kolektorów słonecznych, b) wykorzystanie pompy ciepła [5]

Bardziej konwencjonalne rozwiązanie, które także zostało zintegrowane z przegrodami budynku zastosowano między innymi w eksperymentalnej konstrukcji naukowców z Politechniki Gdańskiej. Testowy budynek powstał w Warznie na Kaszubach, posiada wbudowany system rurek polipropylenowych wypełnionych wodą. Rozmieszczone zostały w ścianach i na dachu, gdzie stanowią barierę termiczną oraz pod ziemią, skąd w okresie zimowym pobierana będzie energia do pozostałej części instalacji [6]. Założenie jest takie, by przez cały rok temperatura ścian utrzymywana była na równym poziomie, czyli  $19\div 20^{\circ}\text{C}$ . W rozwiązaniu wyeliminowano elementy o krótkiej żywotności (np. pompa ciepła, rekuperator), a zastosowano zaawansowany system sterowania i pompkę obiegową. Powyższą koncepcję prezentuje rysunek 4. W efekcie zapotrzebowanie energetyczne budynku ma zmniejszyć się kilkunastokrotnie, co przełoży się na spore oszczędności.

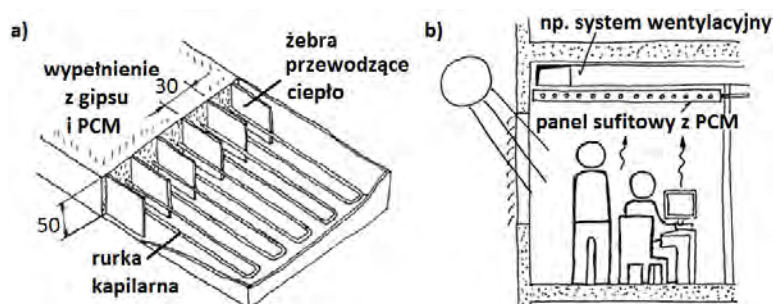


Rys. 4. System rurek wypełnionych wodą jako bariera termiczna ścian i dachu [6]

### Magazyn ciepła w panelach sufitu podwieszonego

Dodatkowe ciepło kumulowane może być także pod elementami konstrukcyjnymi budynku, czyli w przestrzeni sufitu podwieszanego. Takie rozwiązanie jest

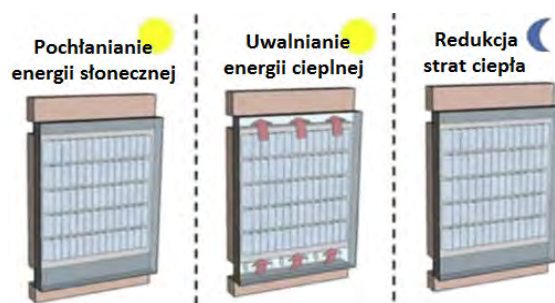
alternatywą dla istniejących budynków i pozwala uniknąć dużych nakładów finansowych i czasowych związanych z renowacją obiektów. Panel sufitowy zaproponowany przez Koschenza i Lehmana [7] to płyta gipsowa z wypełnieniem kapsułkami PCM. W tym przypadku rozwiązanie przewidziane zostało dla biurowca z przeszkloną elewacją na potrzeby chłodzenia. Wewnątrz każdej z płyt zainstalowano system rurek kapilarnych wypełnionych wodą, które miały dostarczać chłód do kapsułek z materiałem zmiennofazowym i utrzymywać komfortową temperaturę w pomieszczeniach. Na podstawie doświadczeń ustalono, że do spełnienia założeń grubość płyty powinna mieć co najmniej 5 cm, przy czym w 25% jej wypełnienie powinny stanowić materiały zmiennofazowe. Schemat zaproponowanego rozwiązania obrazuje rysunek 5. Podobną technologię z powodzeniem zastosować można także jako pokrycie ścian, zarówno na potrzeby grzania, jak i chłodzenia.



Rys. 5. Aktywny termicznie sufit podwieszany z wypełnieniem PCM: a) schemat, b) sposób instalacji [7]

## Magazynowanie ciepła z wykorzystaniem fasady

Sposobem kumulowania energii słonecznej może być także wykonanie dodatkowej przesłony na fasadzie. Tego typu rozwiązanie wiąże się z dodatkowymi walorami estetycznymi, dlatego ma szansę zdobyć popularność w nowoczesnym budownictwie. Jednym z przykładowych sposobów zastosowania technologii jest eksperyment De Garcii i innych [8], wykorzystujący materiały zmiennofazowe w fasadzie wentylowanej. PCM umieszczone zostały w komorze powietrznej połączonej z systemem wentylacyjnym. W sezonie grzewczym fasada działa podobnie jak kolektor słoneczny, absorbując energię słoneczną (rys. 6). Gdy pojawia się zapotrzebowanie na ogrzewanie, zgromadzone ciepło zostaje uwolnione. Dodatkowa przesłona zapobiega wychładzaniu przegrody w porze nocnej. Taki system może wspomagać konwencjonalne sposoby ogrzewania, pozwalając znacznie obniżyć koszty eksploatacyjne. Problemem, który może się tu pojawić, jest ryzyko przegrzania budynku w okresie letnim, dlatego niezbędne jest zaprojektowanie odpowiedniej wentylacji.

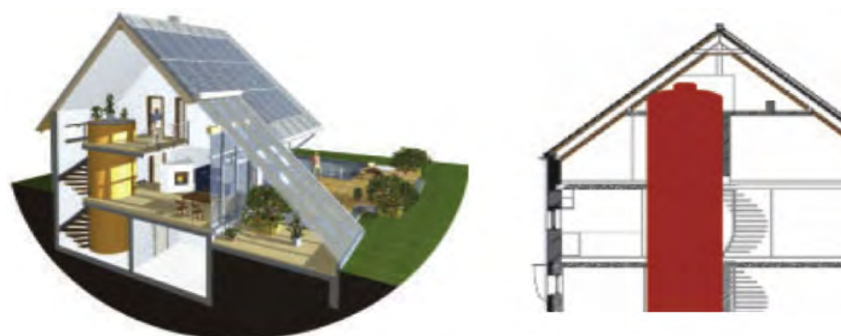


Rys. 6. Fasadowy system magazynowania energii cieplnej w okresie zimowym [8]

Oprócz elementów przeszklonych w fasadach zastosować można także osłony z innych materiałów pochłaniających energię słoneczną, np. z betonu. Przestrzeń pomiędzy warstwami wypełnić można jak w opisywanych wcześniej przypadkach materiałami zmiennofazowymi, rurkami z wodą (lub zastąpić wodę bardziej wydajnym czynnikiem działającym na zasadzie przemian termochemicznych), można także po prostu pozostawić ją jako pustkę powietrzną, gdyż powietrze również umożliwia zakumulowanie pewnej ilości energii.

### Magazyn ciepła jako zbiornik

Najbardziej powszechnym sposobem magazynowania energii cieplnej w budynku są stalowe zbiorniki wypełnione cieczą (najczęściej wodą), które na rynku dostępne są w różnych gabarytach. W środku bufora znajduje się co najmniej jedna wężownica, przy czym każda kolejna pozwala na podłączenie dodatkowego źródła ciepła. Takie naczynie może zostać zainstalowane w przeznaczonym do tego pomieszczeniu, ale istnieją także rozwiązania przewidujące jego montaż w centralnym punkcie obiektu (rys. 7). Architektoniczna integracja ze szkieletem budynku pozwala na dodatkowe wykorzystanie ciepła generowanego przy ściankach naczynia, które tworzy barierę termiczną w rdzeniu konstrukcji. Istotne jest także zapewnienie odpowiedniej termoizolacji naczynia, umożliwiającej efektywne wykorzystanie zgromadzonej energii bez niepotrzebnych strat.



Rys. 7. Przykład wodnego magazynu ciepła zintegrowanego z konstrukcją budynku [9]

Stalowe zbiorniki wodne umieszcza się również pod budynkiem, gdzie ciepło z gruntu stanowi dodatkową izolację termiczną naczynia. Temperatura gruntu na głębokości około 15 metrów utrzymuje przez cały rok stałą wartość ( $8^{\circ}\text{C}$ ), dlatego umieszczenie w tej przestrzeni konstrukcji magazynu ciepła zapobiega jego wychładzaniu w okresie zimowym. W tym przypadku zbiorniki można wykonać np. jako element żelbetowy z wypełnieniem naturalnym (np. piasek) lub sztucznym (np. PCM). Wewnątrz instaluje się system rurek mających ładować ciepło (pochodzące np. z odnawialnych źródeł energii) do magazynu w okresie letnim i pobierać je zimą. Tutaj także niezwykle istotna jest kwestia termoizolacji konstrukcji.

Innym przykładem podziemnego złoża ciepła jest system wiercony, czyli duża ilość sond zagłębionych w gruncie niczym fundamenty palowe. Układ wykorzystuje zjawisko stratyfikacji ciepła, w której rdzeń magazynu ma najwyższą temperaturę, a im dalej od niego, tym temperatura niższa. Duża powierzchnia takiego złoża zapewnia niewielkie straty ciepła. System został zrealizowany jako zasilanie w energię dla osiedla Drake Landing w Kanadzie, składającego się z 52 domów wraz z garażami [10]. Energię słoneczną pobiera 800 paneli solarnych i ładuje nią znajdujący się nieopodal podziemny magazyn składający się ze 144 otworów o średnicy 6 cali. Ich głębokość wynosi 35 m, a w każdym zainstalowano rurki wypełnione wodą (czynnikiem pośredniczącym).

## PODSUMOWANIE

W dążeniu do rozwoju budownictwa pasywnego idea magazynowania ciepła i chłodu, które można wykorzystać w okresie szczytowego zapotrzebowania, zyskuje na wartości oraz staje się obiektem kolejnych badań i eksperymentów naukowych. Nieustannie tworzone są kolejne prototypy konstrukcji złożeń energii cieplnej, z których część z powodzeniem została zrealizowana i wykorzystana w życiu codziennym. Niniejsza praca przeglądowa obrazuje, jak szerokie może być pojęcie magazynu ciepłego i w jaki sposób można wkomponować go w bryłę budynku. W rozwiązaniach zastosowano różne rodzaje wypełnienia takiej konstrukcji, które mają wpływ przede wszystkim na jej rozmiar. Ze względu na najmniejszą pojemność cieplną największych rozmiarów wymagają zbiorniki z wkładem jednofazowym, czyli np. z wodą. Z tego powodu wzrasta popularność materiałów zmiennofazowych, wymagających nawet 5 razy mniejszych przestrzeni przy zachowaniu tych samych parametrów cieplnych [11]. Niektóre z rozwiązań, ze względu na stosunkowo małą inwazyjność, nadają się do instalacji w budynkach już istniejących bardziej niż inne (np. panele sufitu podwieszanego z wypełnieniem z PCM). Mimo to największą efektywnością charakteryzuje się połączenie kilku systemów przewidziane już na etapie projektowania obiektu, kiedy istnieje możliwość dostosowania konstrukcji budynku na potrzeby wybranych technologii.

Podsumowując, zaleca się:

1. Stosowanie materiałów zmiennofazowych jako wypełnienie elementów magazynujących ciepło, które umożliwiają kumulację większej ilości energii niż konwencjonalne magazyny jednofazowe.

2. Przewidywanie rozwiązań wykorzystujących alternatywne źródła ciepła już na etapie projektowania budynku.
3. Optymalne wykorzystanie konstrukcji obiektów i znajdujących się w nich wolnych przestrzeni przy lokalizowaniu elementów magazynujących ciepło.

## LITERATURA

- [1] <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/>, dostęp: 14.10.2016 r.
- [2] Kant K., Shukla A., Sharma A., Kumar A., Jain A., Thermal energy storage based solar drying systems: A review, *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 2016, 34, 86-99.
- [3] De Gracia A., Cabeza L.F., Phase change materials and thermal energy storage for buildings, *Energy and Buildings* 2015, 103, 414-419.
- [4] 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* 2012, 49, 235-245.
- [5] Jaworski M., Jak zwiększyć efektywność energetyczną budynków? Wykorzystanie materiałów zmienneofazowych (PCM), *Izolacje* 2009, 4.
- [6] [http://ctwt.pg.edu.pl/aktualnosci/-/asset\\_publisher/HWSdNde3LaII/content/rewolucyjny-syst-em-regulacji-temperatury-domow-dr-hab-marka-krzaczka](http://ctwt.pg.edu.pl/aktualnosci/-/asset_publisher/HWSdNde3LaII/content/rewolucyjny-syst-em-regulacji-temperatury-domow-dr-hab-marka-krzaczka), dostęp: 15.10.2016 r.
- [7] Koschenz M., Lehmann B., Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings, *Energy and Buildings* 2004, 36, 567-578.
- [8] De Gracia A., Navarro L., Castell A., Ruiz-Pardo A., Alvarez S., Cabeza L.F., Experimental study of a ventilated facade with PCM during winter period, *Energy and Buildings* 2012, 58, 324-332.
- [9] [www.sonnenhausinstitut.de](http://www.sonnenhausinstitut.de), dostęp: 10.10.2016 r.
- [10] Howell G., Borehole Field in the The Drake Landing Solar Community Okotoks, Alberta, American Association of Physics Teachers, 2008.
- [11] Tatsidjodoung P., Le Pierres N., Luo L., A review of potential materials for thermal energy storage in building applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013, 18, 327-349.

## THERMAL ENERGY STORING FOR THE NEEDS OF BUILDING - A REVIEW OF SOLUTIONS AND METHOD TO INTEGRATE THEM WITH THE OBJECT'S STRUCTURE

Storing thermal energy gained from renewable sources is a promising technology to improve the energy efficiency of buildings. It is now a popular theme of many researches focused on choosing optimal parameters of storage, such as its size, filling type, location and the way of installation in the building. Each of these factors have a significant impact on reducing energy needs, both in the private and commercial sector. This paper is a review of the existing heat storage systems and ideas how they were integrated with the building structure.

**Keywords:** thermal energy storage, phase change materials, building core, facade