

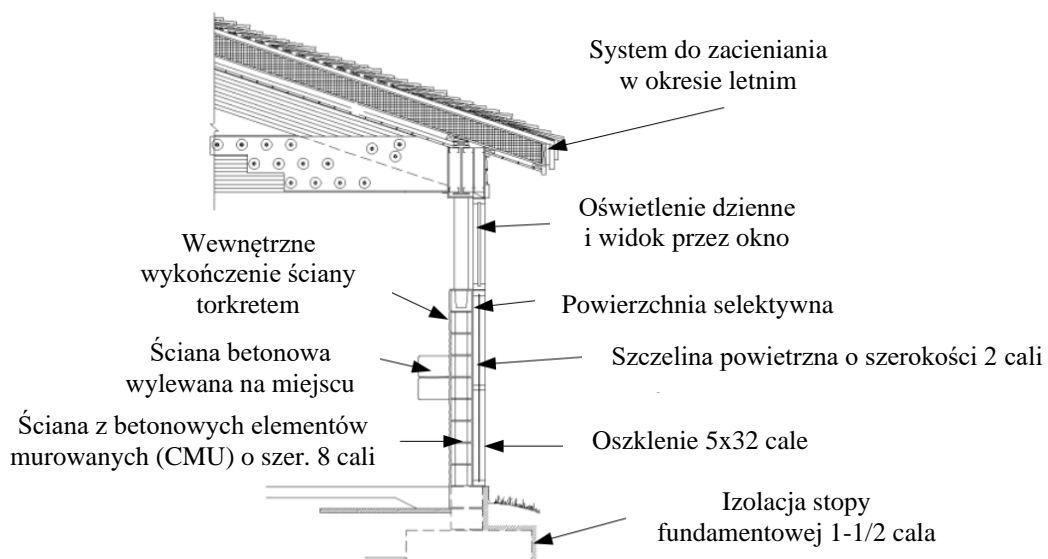
## Magazynowanie ciepła w ścianie Trombe'a

Systemy pasywnego kształtowania budynków uwzględniają wykorzystanie naturalnych zjawisk fizycznych, zachodzących w budynku i jego otoczeniu. Stosowano je już w starożytności (np. Dom Sokratesa jako przykład zysków bezpośrednich), a później udoskonalano. Jednym z takich systemów jest system magazynowania ciepła w ścianie Trombe'a. Jest to system pozyskiwania energii słonecznej, opierający się na systemie zysków pośrednich z wykorzystaniem warstwy akumulującej. Nazwany tak na cześć francuskiego wynalazcy Felixa Trombe'a pod koniec lat 50. XX wieku.

Niniejsze opracowanie zostało przygotowane w oparciu o artykuł „Ściany Trombe'a w budynkach niskoenergetycznych: Doświadczenia praktyczne” [1]. Na Rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładową ścianę Trombe'a, zainstalowaną w Centrum dla zwiedzających w Parku Narodowym w Zion w USA w stanie Utah.



Rys.1. Ściana Trombe'a w Centrum dla zwiedzających w Parku Narodowym w Zion [2].



Rys.2. Przekrój przez ścianę Trombe'a w Centrum dla zwiedzających w Parku Narodowym w Zion [1].

Ściana Trombe'a przedstawiona na Rys. 1 i 2 ma wysokość 1,8 m i powierzchnię całkowitą 68,7 m<sup>2</sup>. Znajduje się na całej długości ścian południowych Centrum dla Zwiedzających i stanowi 44% całkowitej powierzchni południowej. Stanowią ją 20 cm betonowe elementy murowe (CMU) wypełnione fugą o wartości oporu cieplnego  $R = 0,4 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ . Pozostałe ściany to ściany szkieletowe o grubości 15 cm i wartości oporu cieplnego  $R = 2,8 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ . W ścianie Trombe'a znajduje się pojedyncza tafla wzorzystego szkła o wysokiej przepuszczalności, zamontowana na termicznie uszkodzonym systemie frontowym. Efektywność ścian Trombe'a zmniejsza się, jeśli wewnątrz ściany nie jest otwarte na strefy wewnętrzne. Na podstawie wcześniejszych doświadczeń ze ścianami Trombe'a [1 za 3], ciepło dostarczane przez tę ścianę w mieszkaniu zostało zredukowane o ponad 40%, ponieważ szafki kuchenne zostały umieszczone po wewnętrznej stronie ściany. W projekcie ściany w Zion zastosowano betonowe elementy wystające przymocowane do wewnętrznej strony ściany. Ma to zapewnić, że półki z książkami nie zostaną umieszczone przy ścianie Trombe'a. Wewnętrzna powierzchnia ściany Trombe'a w Zion została dobrana tak, by zmaksymalizować wymianę ciepła do pomieszczenia. Niektóre materiały wykończeniowe, takie jak płyta gipsowo-kartonowa, mogą zmniejszyć ilość ciepła dostarczane przez ściany Trombe'a z powodu nieprzewodzących szczelin powietrznych pomiędzy betonową ścianą a powierzchnią wewnętrzną [1 za 3]. Wykończenie ścian torkretem zostało wybrane by zapewnić bardziej ciągłą przewodność w całej ścianie. Podczas procesu budowy monitorowano wypełnienie ściany z betonowych elementów murowanych (CMU), aby upewnić się, że rdzenie bloków betonowych zostały całkowicie wypełnione, co zapewnia stałą przewodność przez ścianę. W trakcie budowy sprawdzono również rozmieszczenie izolacji ławy fundamentowej, aby zapewnić jej prawidłowy montaż. Jest to istotne, ponieważ wydajność ściany Trombe'a może być obniżona z powodu trójwymiarowego przenoszenia ciepła do gruntu. Dzięki termicznemu odsprężnieniu stóp od gruntu za pomocą izolacji termicznej, unika się niepotrzebnych strat ciepła, a więcej ciepła ze ściany Trombe'a jest dostarczane do budynku.

## **Jak działa ściana Trombe'a?**

Zasadę działania takiej ściany przedstawiono na przykładzie tej zainstalowanej w USA i opisanej powyżej [1].

Typowa, niewentylowana ściana znajduje się na elewacji południowej budynku. Ma grubość od 10 do 41 cm i pokryta jest od zewnątrz ciemnym, pochłaniającym ciepło materiałem i pojedynczą lub podwójną warstwą szkła. Szkło umieszcza się w odległości od 2 do 5 cm od ściany murowanej, aby stworzyć niewielką przestrzeń powietrzną. Ciepło pochodzące z promieniowania słonecznego, przechodzącego przez szkło jest pochłaniane przez ciemną powierzchnię, magazynowane w ścianie i odprowadzane powoli do wewnątrz przez mur. Szkło o wysokiej przepuszczalności maksymalizuje zyski ciepła słonecznego do ściany murowanej. Jako detal architektoniczny, szkło wzorzyste może ograniczyć widoczność ciemnej betonowej ściany na zewnątrz, nie tracąc przy tym na przepuszczalności. Zastosowanie powierzchni selektywnej na ścianie Trombe'a poprawia jej wydajność poprzez zmniejszenie ilości energii podczerwonej wypromieniowywanej z powrotem przez szkło. Powierzchnia selektywna składa się z arkusza folii metalowej, przyklejonego do zewnętrznej powierzchni ściany. Pochłania ona prawie całe promieniowanie widzialnej części widma słonecznego i emituje bardzo niewiele promieniowania w zakresie podczerwieni. Wysoka absorpcja sprawia, że światło zamienia się w ciepło na powierzchni ściany, a niska emisyjność zapobiega wypromieniowywaniu ciepła z powrotem w kierunku szkła.

W przypadku ściany Trombe'a o grubości 20 cm, ciepło potrzebuje około 8 do 10 godzin, aby dotrzeć do wnętrza budynku. Oznacza to, że pomieszczenia są ogrzewane powoli i równomiernie przez wiele godzin po zachodzie słońca, co znacznie zmniejsza zapotrzebowanie na ogrzewanie konwencjonalne. W pomieszczeniach ogrzewanych za pomocą ściany tego typu często odczuwany jest większy komfort cieplny niż w tych ogrzewanych za pomocą powietrza zewnętrznego, ze względu na dużą ciepłą powierzchnię zapewniającą komfort promieniowania.

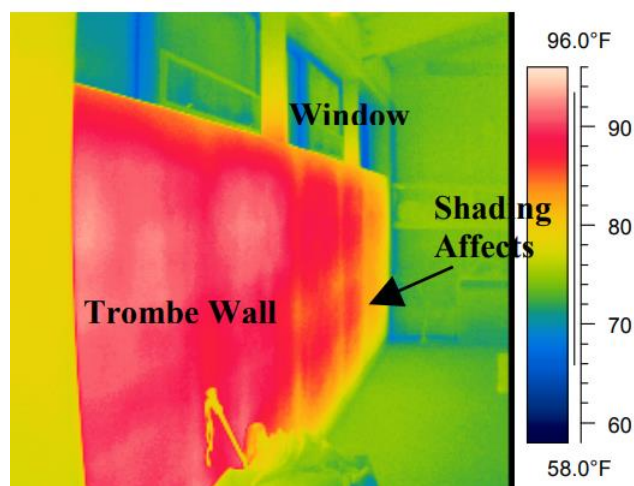
Architekci mogą stosować ściany Trombe'a w połączeniu z oknami, okapami i innymi elementami projektu budynku, aby zrównoważyć dostawy ciepła słonecznego. Odpowiednio zwymiarowany system do zacielenia takiej ściany, może zapobiec jej nagrzewaniu się w czasie, gdy ciepło nie jest potrzebne.

## Wydajność energetyczna

Wydajność energetyczna Centrum Turystycznego w Zionie była monitorowana i analizowana przez okres dwóch lat. Analiza składała się z pomiarów końcowego zużycia energii elektrycznej, profili temperaturowych ściany Trombe'a oraz zdjęć termograficznych w celu określenia wydajności tej ściany [1 za 4].

Rysunek 3 przedstawia rozkład temperatur w ścianie o godzinie 20:30, 16 grudnia 2000 roku. Temperatura powierzchni wewnętrznej jest zasadniczo jednorodna i waha się w przedziale 90-96°F (32-36°C). Temperatura ściany zwykle osiąga szczyt między godziną 20.00 a 21.00.

Obniżona temperatura ściany w skrajnie prawej jej części jest spowodowana zacieleniem. Budynek zacielenia część ściany Trombe'a w godzinach popołudniowych, co skutkuje obniżeniem temperatury wewnątrz budynku.



Rys.3. Obrazy w podczerwieni ściany Trombe'a w Centrum dla zwiedzających w Parku Narodowym w Zion; 16 grudnia 2000, godz. 20.30 [1].

*Źródło: Trombe Wall – ściana Trombe'a, Window – okno, Shading Affects – wpływ zacielenia*

W sezonie grzewczym 2001-2002 zmierzono gradient temperatury w ścianie. Na podstawie pomiarów temperatury wewnętrznej obliczono energię ściany Trombe'a dostarczaną do budynku z uwzględnieniem metod obliczania strumienia ciepła opublikowanych w pracy Balcomb'a i Hendstroma [1 za 5]. Elektryczny system ogrzewania promiennikowego zużył 22 680 kWh (81,6 GJ) w ciągu roku, przy czym ściana Trombe'a odpowiadała za 20% całkowitego ogrzewania budynku. Obciążała ona budynek tylko przez dwa spośród 151 dni sezonu grzewczego 2001-2002. W pozostałych 149 dniach

grzewczych ściana była netto dodatnia. Szczytowy strumień ciepła przez ścianę wynosił 11,2 W/ft<sup>2</sup> (89 W/m<sup>2</sup>), czyli 8,3 kW na całej jej powierzchni. Średnia efektywność ściany (zdefiniowana jako ilość ciepła dostarczonego do budynku podzielona przez całkowite promieniowanie słoneczne padające na zewnętrzną stronę ściany) wyniosła 13%.

Literatura:

[1] Torcellini P., Pless S.: Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences, National Renewable Energy Laboratory, 2004.

[2] Zdjęcie budynku Centrum dla zwiedzających w Parku Narodowym w Zion w USA, pobrane w dniu 20.04.2022 ze strony <http://www.dchamberlinarchitect.com/travel-north%20america-united%20states-utah-zion-VISITORS%20CENTER.htm>

[3] Balcomb D., Barker G., Hancock C.E.: "An Exemplary Building Case Study of the Grand Canyon South Rim Residence." NREL/TP-550-24767, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 1998.

[4] Torcellini P., Long N., Pless S., Judkoff R.: Evaluation of the Low-Energy Design and Energy Performance of the Zion National Park Visitor Center, NREL Report No. TP-550-34607. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2004.

[5] Balcomb D., Hedstrom J.C.: Determining Heat Fluxes from Temperature Measurements in Massive Walls, The 5th National Passive Solar Conference. Amherst, MA, October 19-26, 1980.

Opracowanie:

Dr inż. Anna Staszczuk, prof. UZ