

Torre Verde (Zielona Wieża), efektywny energetycznie dwunastokondygnacyjny betonowy budynek mieszkalny (7200 m²), zbudowany w Lizbonie. Monitoring pokazał, że emituje on około 24 ton CO₂ rocznie mniej niż konwencjonalny budynek tej samej wielkości. Słoneczny system ciepły dostarcza 70% ciepła do ogrzania ciepłej wody na potrzeby zużycia domowego w budynku. (Dzięki uprzejmości Tirone Nunes, SA, Portugalia)



Wykorzystanie betonu w budynkach energooszczędnych

Wprowadzenie

W większości przypadków budynki energooszczędne kojarzą się z obiektami, w których zastosowano bardzo grubą warstwę izolacji, świetne okna i nowoczesny system ogrzewania. Jednak ta obiegowa opinia nie jest do końca prawdziwa. Oczywiście domy o znacznie zwiększonej grubości izolacji będą miały mniejsze zapotrzebowanie na energię do ogrzewania, jednak sama izolacja to nie wszystko. Często konsekwencją stosowania bardzo grubej izolacji i okien o podwyższonej izolacyjności (przy

okazji szczelnych) oraz zlekceważenia odpowiednio zaprojektowanego i wykonanego systemu wentylacji jest brak komfortu cieplno-wilgotnościowego w pomieszczeniach czy wręcz „niezdrowa” atmosfera. Zwykle zapomina się o innych możliwościach zmniejszenia energochłonności obiektów, w tym przede wszystkim czynnikach architektonicznych, oraz wykorzystaniu pasywnego pozyskiwania energii do ogrzewania, np. promieniowania słonecznego. Wykorzystanie energii słonecznej zwykle kojarzy się z przepływowymi kolektorami słonecznymi lub ogniwami fotowoltaicznymi. Rzadko kojarzone jest z wykorzystaniem betonowych ścian lub warstw monolitycznych w celu akumulacji ciepła pochodzącego z nasłonecznienia. Zresztą jest to po części niezrozumiałe, bo już chociażby w przypadku ogrzewania podłogowego wykorzystuje się to samo zjawisko akumulacji ciepła przez beton i wszyscy to doskonale wiedzą.

Przykładów energooszczędnych, prawidłowo zaprojektowanych obiektów betonowych jest wiele, jednak ciągle świadomość wykorzystania masy termicznej w budynku jest niewielka. Wprowadzenie dyrektywy 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (ang. EPBD), a właściwie znowelizowanych przepisów Prawa budowlanego narzucających od 2009 roku obowiązek certyfikacji budynków pod względem energochłonności pozwoli zapewne poszerzyć zakres stosowania rozwiązań prowadzących do obniżenia zapotrzebowania na ciepło przez budynki. Certyfikat energetyczny jest pewnego rodzaju świadectwem kosztów eksploatacji, i podobnie jak to ma miejsce np. przy zakupie sprzętu AGD czy samochodu będziemy na to zwracać uwagę.

Energochłonność budynków

Energochłonność budynków określana jest na podstawie wskaźników sezonowego zapotrzebowania na ciepło w odniesieniu do powierzchni (EA) lub

Dom miejski in situ w Brukseli.
(Dzięki uprzejmości architekta – Joël Claisse Architectures; foto – Jean-Paul Legros, Belgia)



kubatury (EV). Przyjmuje się, że budynki energooszczędne to takie, dla których wartość wskaźnika EA nie przekracza poziomu 100 kWh/(m²rok). Jest to jednak wartość przeciętna, bo np. dla domów o dużej efektywności energetycznej (niskoenergetycznych) EA < 45 kWh/(m²rok), a w przypadku domów pasywnych jest to wartość jeszcze trzykrotnie mniejsza. Obecnie wznoszone domy w Polsce wskaźnik ten mają na poziomie 120-140 kWh/(m²rok).

Energochłonność budynków mieszkalnych zależy od wielu czynników. Można wyróżnić czynniki pasywne, w tym: architektoniczne, konstrukcyjne, i aktywne: systemy grzewcze, rekuperacyjne, zarządzania wykorzystaniem energii w budynkach wielorodzinnych etc. Do czynników architektonicznych przede wszystkim zaliczyć można:

- geometrię obiektu (zwartość bryły architektonicznej wyrażona współczynnikiem kształtu budynku A/V, rozmieszczenie pomieszczeń)
- usytuowanie budynku względem stron świata, zacienienie, co ma zasadnicze znaczenie podnoszące efektywność wykorzystania rozwiązań wykorzystujących nasłonecznienie
- powierzchnię przegród przezroczystych.

Czynniki konstrukcyjne to przede wszystkim:

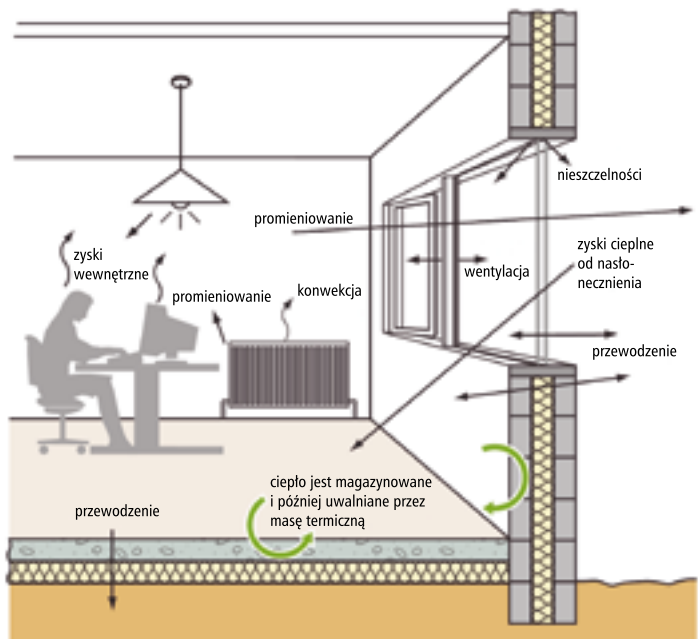
- rodzaj i grubość warstw w przegrodzie, w tym zasadnicze znaczenie ma współczynnik przewodzenia ciepła i grubość warstw użytych materiałów termoizolacyjnych
- wykorzystanie izolacji transparentnej i przegród kumulacyjnych, np. betonowych
- eliminacja lub znaczne ograniczenie występowania mostków termicznych
- zastosowanie szyb o niskim współczynniku przenikania ciepła (z szybami niskoemisyjnymi z warstwami refleksyjnymi, wypełnionych gazami szlachetnymi, np. argonem, etc).

Biorąc pod uwagę czynniki aktywne, należy mieć na uwadze systemy ogrzewania o dużej sprawności, wykorzystanie energii odnawialnej, np. kolektory słoneczne, pompy ciepła, rekuperację ciepła w systemach wentylacji, czy wreszcie sprawne, prowadzone indywidualnie dla każdego mieszkania zarządzanie dystrybucją energii w domach wielorodzinnych.

Zatem myśląc o budowie domu energooszczędnego, musimy uwzględnić znacznie więcej czynników niż tylko grubość warstw izolacji ścian i wybór rodzaju kotła do ogrzewania.

Rozwiązania architektoniczne a energochłonność

Biorąc pod uwagę straty ciepła w budynku, nie możemy zapominać, że do każdego obiektu dociera również strumień zysków ciepłych. W budynkach mieszkalnych zyski ciepła generowane są przede wszystkim przez różnego rodzaju urządzenia elektryczne, sprzęt AGD, spalanie paliw, np. gazu na potrzeby gotowania, podgrzewania wody etc. Sami również generujemy dość znaczne ilości ciepła, szczególnie podczas wysiłku fizycznego, które ogrzewa powietrze wewnątrz pomieszczeń, w których przebywamy (np. projektując chłodnie składowe uwzględnia się ilość pracowników i ich czas przebywania wewnątrz chłodni np. przy rozładunku towaru). Duży udział w zyskach ciepłych ma również promieniowanie słoneczne docierają-



ce do pomieszczeń przede wszystkim przez okna, przeszklone drzwi i świetliki.

O wskaźniku wykorzystania energii słonecznej decyduje wiele czynników, a wśród nich usytuowanie budynku względem stron świata. Przemyślane usytuowanie budynku względem stron świata, przede wszystkim powierzchni przeszklonych i ewentualnych izolacji transparentnych pozwala zmniejszyć zapotrzebowanie na energię do ogrzewania w nowoczesnych obiektach o kilka procent, a w budynkach pasywnych nawet o 30%.

Zyski z nasłonecznienia są większe, jeśli wykorzystamy masę termiczną materiałów konstrukcyjnych wykorzystanych do wzniesienia obiektu. Duża masa termiczna, a zatem zdolność kumulacji energii, jest związana zasadniczo z dwoma parametrami opisującymi materiał, jego gęstością i ciepłem właściwym. Ilość ciepła, jaką może potencjalnie zakumulować przegroda, można opisać prostą zależnością

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$$

gdzie:

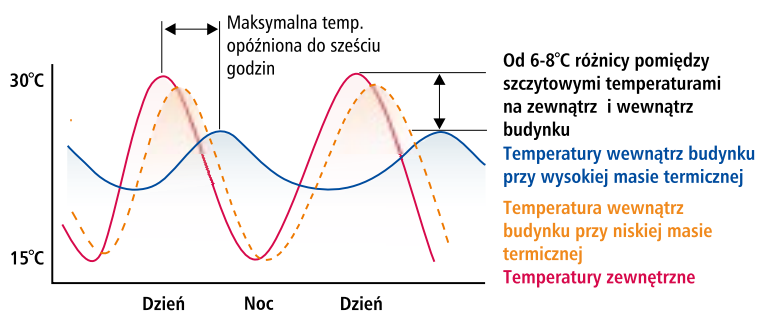
V – objętość materiału w przegrodzie, m³; *ρ* – gęstość materiału kg/m³; *c* – ciepło właściwe materiału przegrody, J/(kg·K); *ΔT* – różnica temperatur po obu stronach przegrody, K

Większość materiałów budowlanych posiada zbliżone wartości ciepła właściwego, natomiast znacznie różnią się gęstością pozorną. Spośród typowych materiałów budowlanych wykorzystywanych do wznoszenia murów największą gęstość pozorną ma beton. W celu zakumulowania możliwie dużych ilości ciepła należy stosować materiały ciężkie, np. silikaty, cegłę pełną czy świetnie nadający się do tego celu właśnie – beton. Przegroda betonowa lub posadzka w przypadku wyeksponowania jej na promieniowanie słoneczne będzie znakomitym akumulatorem ciepła.

Szybkość nagrzewania, ale również wychładzania przegrody będzie zależać od współczynnika przewodzenia ciepła warstw. W przypadku ścian zewnętrznych dobrze izolowanych zasadniczym problemem jest ekspozycja warstwy muru na promieniowanie słoneczne.

Przepływy ciepła (energii) w budynku
Ciepło przyrasta przez promieniowanie słoneczne, zyski ciepła wewnętrzne z oświetlenia, ogrzewania, od mieszkańców i ich urządzeń.
Ciepło jest tracone przez nieszczelności, wentylację, promieniowanie przez okna i przenikanie przez ściany, okna i podłogi.
Ciepło jest magazynowane i oddawane przez masę termiczną budynku

STABILIZUJĄCY WPŁYW MASY TERMICZNEJ NA TEMPERATURĘ WE WNĘTRZU BUDYNKU



Wpływ masy termicznej na komfort cieplny (Z publikacji The Concrete Centre, Masa termiczna dla budownictwa mieszkaniowego, Wielka Brytania)

Pasywne chłodzenie latem, magazynowanie i oddawanie zysków energii zimą (Dzięki uprzejmości Centrum Betonu, Wielka Brytania)

Wykorzystanie efektu akumulacji energii w ciężkich materiałach budowlanych można zrealizować w tym przypadku stosując różne rozwiązania. Przykładem mogą być przegrody kolektorowo-akumulacyjne z warstwą przeszklenia, pod którą bezpośrednio na ciężkim murze znajduje się warstwa absorbera. Warstwa ta przejmuje ciepło promieniowania słonecznego, które dalej przekazywane jest przez mur do pomieszczenia. Zastosowanie warstw refleksyjnych po wewnętrznej stronie szyb pozwala na znaczne obniżenie współczynnika przenikania ciepła przez taką przegrodę i ucieczki ciepła na zewnątrz. Rozwiązaniem znajdującym coraz większe

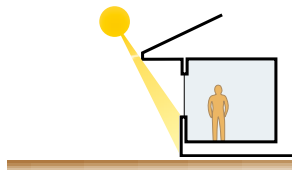
zainteresowanie są ściany akumulacyjne z izolacją transparentną, w której warstwa przezroczysta dla promieniowania słonecznego ma specjalną budowę komórkową, w formie kanałów o niewielkiej średnicy, ograniczających przenoszenie ciepła na drodze konwekcji. Izolacyjność warstw transparentnych jest stosunkowo duża i pozwala na ograniczenie strat ciepła przez przewodzenie na zewnątrz obiektu, a jednocześnie pozwala efektywnie wykorzystywać masę termiczną muru betonowego. Innym rozwiązaniem jest stosowanie paneli tzw. termosyfonowych, gdzie dzięki specjalnej konstrukcji ciepło transportowane jest do strefy kumulacyjnej – muru poprzez kanały skośne, i po oddaniu nadmiaru ciepła do muru wracają innymi kanałami do strefy ogrzewania. Rozwiązanie to pozwala stosować tradycyjną dekoracyjną warstwę elewacyjną w postaci tynku strukturalnego jedynie z pewnymi obszarami transparentnymi, co ma szczególne znaczenie np. przy termorenowacji obiektów istniejących o tradycyjnym charakterze, w niewielkim stopniu zaburzając wygląd elewacji.

Wykorzystanie masy termicznej betonu

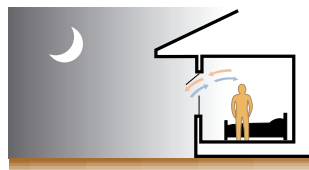
Główną korzyścią energetyczną stosowania betonu w budynkach jest jego wysoka masa termiczna, która może kompensować wahania temperatury wewnątrz pomieszczeń. Może to eliminować lub znacznie ograniczyć konieczność stosowania dodatkowych systemów zarówno ogrzewania jak i klimatyzacji. Niesie to ze sobą bezpośrednio zyski prowadzące do zmniejszenia zużycia energii w tego rodzaju obiektach o 2-15% w stosunku do analogicznych obiektów niewykorzystujących masy termicznej betonu. Oprócz kompensacji wahań temperatury obecność dużej masy termicznej powoduje również przesunięcie w czasie osiągnięcia maksymalnej temperatury pomieszczenia od nasłonecznienia na godziny popołudniowe lub nawet wieczorne. Jest to szczególnie istotne w przypadku dużego nasłonecznienia, które prowadzić może do chwilowego przegrzewania pomieszczeń. Można zatem powiedzieć, że akumulacyjna przegroda betonowa działa jak swego rodzaju stabilizator wahań temperatury w pomieszczeniach.

Masa termiczna betonu najlepiej działa w budynkach o regularnym cyklu zmian temperatury, zwykle w ciągu dnia, np. w szkołach, biurach, gdzie występują znaczące szczytowe wewnętrzne przyrosty ciepła i zbiegają się ze szczytowymi przyrostami ciepła wywołanymi przez nasłonecznienie. Efekt buforowy betonu pomaga zmniejszyć i opóźnić nadejście szczytowych temperatur. Wieczorny spadek temperatury, kiedy budynek jest pusty, pozwala na wychłodzenie betonu, który nadmiar ciepła będzie oddawał do pomieszczeń. Obecność wewnętrznych wykończeń, np. ciepłego tynku, dywanu, w pewnym stopniu zmniejsza wykorzystanie masy termicznej, działając jako warstwa izolacyjna. Nie znaczy to więc, że budynek z ciężkimi materiałami budowlanymi automatycznie będzie miał wysoki poziom wykorzystania masy termicznej. Efektywność wykorzystania masy termicznej betonu zależy od wielu czynników, ale przede wszystkim od sposobu wyekspozowania powierzchni betonu na promieniowanie słoneczne. W klimatach, gdzie temperatury pozostają bardzo wysokie lub niskie przez długi czas, takie pasywne sposoby wy-

Masa termiczna latem

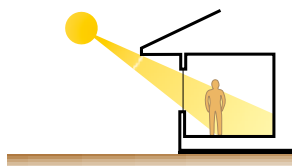


Dniem. W gorące dni okna są zamknięte, żeby trzymać gorące powietrze na zewnątrz, należy dostosować osłony, żeby zminimalizować nasłonecznienie. Masa termiczna chłodzi. Jeżeli temperatury są mniej ekstremalne, można otworzyć okna, w celu wentylacji.

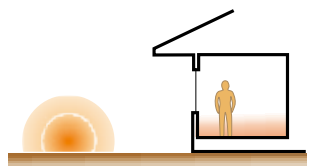


Nocą. Jeżeli dzień był gorący, mieszkaniec otwiera okna, żeby zapewnić nocne chłodzenie masy termicznej.

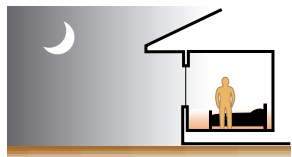
Masa termiczna zimą



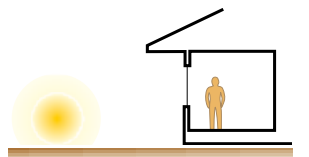
10.00 do 17.00. Światło słoneczne wchodzi przez południowe okna i uderza w masę termiczną. To ogrzewa powietrze i masę termiczną. W większość słonecznych dni, ciepło słoneczne może pomóc utrzymać komfort od przedpołudnia do późnego popołudnia.



17.00 do 23.00. Po zachodzie słońca, znaczna ilość ciepła została zmagazynowana w masie termicznej. Teraz jest powoli oddawana, pomagając utrzymać komfortowe warunki wieczorem.



23.00 do 07.00. Mieszkaniec reguluje ogrzewanie, tak żeby potrzebne było tylko minimalne uzupełniające ogrzewanie. Dobra szczelność i izolacja minimalizują straty ciepła.



07.00 do 10.00. Wczesny rano jest najtrudniejszy czas, żeby utrzymać komfort przy pasywnym ogrzewaniu słonecznym. Masa termiczna zwykle oddała już większość nagromadzonego ciepła i mieszkaniec musi polegać na ogrzewaniu uzupełniającym. Jednakże, dobra szczelność i izolacja pomagają minimalizować tę potrzebę.



Szkoła średnia Kvernhuset we Fredrikstad, Norwegia. Budynek efektywny energetycznie, wykorzystujący prefabrykowane elementy betonowe do uzyskania oszczędności energetycznych i cechujący się wieloma innymi zrównoważonymi rozwiązaniami. (Dzięki uprzejmości fotografa: Ter je Heen – Gmina Fredrikstad)

korzystywania masy termicznej są mniej skuteczne. Rozwiązaniem jest stosowanie dodatkowych systemów aktywnych, np. ogrzewania podłogowego (lub chłodzenia wodnego) z systemem rur rozproszonych w betonowej płycie. W tym przypadku energia jest przekazywana przez wodę w węzłownicach lub powietrze w kanałach, a dzięki wysokiej przewodności cieplnej betonu po pewnym czasie cała płyta stanowi element aktywny. Takie podejście jest również użyteczne, jeżeli występują wysokie wewnętrzne zyski ciepła, na przykład w biurach zawierających dużą ilość sprzętu komputerowego.

Rozwinięciem idei zastosowania materiałów o dużej zdolności akumulacji ciepła jest modyfikacja materiałów budowlanych (w tym przede wszystkim betonu) poprzez dodatek materiałów fazowo-zmiennych (PCM). W czasie nagrzewania takiego materiału część ciepła pochłaniana jest na przemianę fazową, np. topienie, które to ciepło będzie oddawane w czasie ochładzania. Do popularnych materiałów wykorzystywanych w tym celu można zaliczyć wosk, parafinę czy niektóre uwodnione sole, np. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Zwykle materiały te są zamknięte w formie kapsulek. Efekt przemiany fazowej występujący w temperaturach 28-35°C jest dodatkowym czynnikiem zwiększającym ilość energii zakumulowanej w materiale. Ciepło przemiany fazowej przebiegającej w czasie wychładzania muru dodatkowo zwiększa ilość energii uwalnianej w tym czasie do pomieszczenia. Modyfikacja materiałami fazowo-zmiennymi jest szczególnie efektywna w przypadku betonów lekkich, które mają mniejszą masę termiczną

Podsumowanie

Dom ergooszczędny to dom nowoczesny. Biorąc pod uwagę wzrastające ceny nośników energii to również dom tani w eksploatacji. Efektywność energetyczna budynków jest zagadnieniem złożonym i częste upraszczanie do grubej warstwy izolacji i nowoczesnego systemu ogrzewania jest niewystarczające. Wykorzystanie energii odnawialnej, a przede wszystkim promieniowania słonecznego jest na pewno kierunkiem przyszłościowym. Znakiem nowoczesności budynku może być wykorzystanie betonu jako akumulatora ciepła, regulującego wahania temperatury wewnątrz pomieszczeń bez potrzeby używania dodatkowej energii na systemy

ogrzewania i klimatyzacji. Kolejny raz okazuje się, że nowe spojrzenie na tradycyjny materiał, jakim jest beton, stwarza nowe możliwości jego wykorzystania. Zatem umiejętnie wykorzystany doskonale wszystkim znany beton jest materiałem, który pozwala dodatkowo obniżyć zużycie energii w budynkach, a co za tym idzie emisję CO_2 do atmosfery.

dr inż. Waldemar Pichór
Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki



EDIFICIO ECOBOX, FUNDACIÓN METRÓPOLI dla zrównoważonej przyszłości, efektywny energetycznie betonowy budynek biurowy w Madrycie. (Dzięki uprzejmości architektów Vicente Olmedilli i Ángela de Diego, Hiszpania)

