

BETON W BUDYNKACH EFEKTYWNYCH ENERGETYCZNIE

Korzyści z masy termicznej

INFORMATOR



To warto wiedzieć!

Beton w budynkach efektywnych energetycznie

Korzyści z masy termicznej

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być reprodukowana, przechowywana w systemie odzyskiwania danych ani przekazywana w żadnej formie, ani w żaden sposób, drogą elektroniczną, mechaniczną, poprzez kserokopię, nagrywanie albo w inny sposób, bez uprzedniej pisemnej zgody ze strony Stowarzyszenia Producentów Cementu w Polsce.

Brozura stanowi tłumaczenie „Comprehensive fire protection and safety with concrete” za zgodą European Concrete Platform ASBL. Redaktor: Jean-Pierre Jacobs, 8 rue Volta, 1050 Brussels.

Wszelkie informacje zawarte w niniejszym dokumencie European Concrete Platform ASBL oraz Stowarzyszenie Producentów Cementu w Polsce uznają za dokładne w chwili oddania go do druku. Informacje te są przedstawiane w dobrej wierze.

Informacje dotyczące dokumentów European Concrete Platform nie powodują odpowiedzialności prawnej jej Członków. Mimo że celem jest, by podawane tu informacje były terminowe i dokładne, European Concrete Platform ASBL nie może tego zagwarantować. W przypadku informacji o błędach, zostaną one poprawione.

Opinie odzwierciedlone w niniejszym dokumencie są opiniami autorów, a European Concrete Platform ASBL oraz Stowarzyszenie Producentów Cementu w Polsce nie mogą być pociągane do odpowiedzialności za żadne z poglądów tu wyrażanych.

Wszelkie porady lub informacje ze strony European Concrete Platform ASBL oraz Stowarzyszenie Producentów Cementu w Polsce są przeznaczone dla specjalistów mogących ocenić znaczenie i ograniczenia treści tej publikacji oraz biorących odpowiedzialność za ich stosowanie. Nie przyjmuje się żadnej odpowiedzialności (w tym za zaniedbanie) w związku z żadnymi stratami wynikającymi z takich porad lub informacji.

Podziękowania dla European Concrete Platform ASBL

© Copyright: Stowarzyszenie Producentów Cementu, 2007

Zdjęcie na okładce: Betonowy dom w Marke – Belgia, wykorzystuje nasłonecznienie i masę termiczną do zapewnienia efektywności energetycznej i komfortu przez cały rok. *(Dzięki uprzejmości architekta – Ansfrieda Vande Kerckhovego, fotograf – Jasmine Van Hevel, Belgia)*

Konsultacja merytoryczna: dr inż. Waldemar Pichór
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej

Redakcja: Zbigniew Pilch

Wydawca:



Stowarzyszenie Producentów Cementu
ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków
tel. +48 12 423 33 55
tel./fax +48 12 423 33 45
e-mail: wydawnictwo@polskicement.pl
<http://www.polskicement.pl>

DTP AM-STUDIO, Kraków
www.am-studio.com.pl

Korekta KARBO Korekty, Kraków

Druk Drukarnia Skleniarz, Kraków

1. ZALETY BUDYNKÓW BETONOWYCH W ZAKRESIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ

Poprzez wybór betonu, poprawia się efektywność energetyczna i zwiększa komfort termiczny

Beton jest sprawdzonym, pewnym i dobrze znanym materiałem budowlanym, który jest używany w całej Europie w wielu rodzajach budynków. W budynkach najczęściej jest stosowany na:

- posadzki na poziomie terenu i na wyższych kondygnacjach,
- elementy konstrukcyjne (np. belki, kolumny, płyty),
- ściany zewnętrzne i wewnętrzne, wraz z panelami, blokami i elementami dekoracyjnymi,
- dachówki.

Beton jest niezmiernie wszechstronny pod względem własności konstrukcyjnych i materiałowych, co jest jedną z przyczyn jego sukcesu. Większość budynków wykorzystuje beton ciężki lub o wysokiej gęstości, który jest znany ze swojej wytrzymałości, ognioodporności, izolacji dźwiękowej i coraz częściej masy termicznej.

Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (dyrektywa EPBD)

Beton daje bardzo skuteczne rozwiązania dla wymagań dyrektywy w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (dyrektywa 2002/91/WE z 16 grudnia 2002 r.), która weszła w życie w 2006 r. i ma na celu zmniejszenie zużycia energii w Europie. Ta dyrektywa ma znaczący wpływ na sposób projektowania i budowania budynków,

Rys. 1.1. Modelowy dom koło Hamburga, Niemcy, zbudowany w całości z betonu przez niemiecki przemysł cementu i betonu. Ten atrakcyjny budynek został specjalnie zaprojektowany, aby stworzyć elastyczną przestrzeń mieszkalną i spełnić potrzeby mieszkańców. (Dzięki uprzejmości Betonbild, Erkrath, Niemcy)



przy czym państwa członkowskie wdrażają ją albo bezpośrednio, albo poprzez zmiany istniejących przepisów budowlanych. Dyrektywa:

- Stawia minimalne wymagania dotyczące charakterystyki energetycznej budynków.
- Wymaga, żeby były one sprawdzone w ukończonych budynkach.
- Nakłada system certyfikacji energetycznej budynków.
- Stanowi, że należy wyjaśniać koncepcje biernego ogrzewania i chłodzenia.
- Wymaga, żeby charakterystyka energetyczna nie naruszała jakości środowiska wewnątrz budynku.

Korzyści z masy termicznej

Główną korzyścią energetyczną stosowania betonu w budynkach jest jego wysoka masa termiczna, która prowadzi do stabilności termicznej. Oszczędza to energię i stwarza lepsze środowisko wewnętrzne dla użytkowników budynku.

Masa termiczna betonu w budynkach:

- Optymalizuje korzyści nasłonecznienia, tym samym zmniejszając zapotrzebowanie na paliwo do ogrzewania.
- Zmniejsza zużycie energii do ogrzewania o 2-15% (patrz punkt 5).
- Zmniejsza wahania temperatury wewnątrz budynku.
- Opóźnia szczytowe temperatury w biurach i innych budynkach użytkowych do czasu opuszczenia ich przez użytkowników.
- Obniża temperatury szczytowe i powoduje, że klimatyzacja staje się zbędna.
- Może być stosowana wraz z nocną wentylacją, w celu wyeliminowania potrzeby chłodzenia w ciągu dnia.
- W połączeniu z klimatyzacją, może zmniejszyć ilość energii zużytej do chłodzenia do 50%.
- Może zmniejszyć koszty ogrzewania budynków.
- Powoduje lepsze wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł ciepła, takich jak gruntowe pompy ciepłe.
- Poprzez zmniejszenie zużycia energii zarówno dla ogrzewania, jak i chłodzenia, zmniejsza emisję CO₂, głównego gazu cieplarnianego.
- Pomoże w przyszłości chronić budynki przed zmianami klimatu.

Jak widać, dyrektywa EPBD w zintegrowany sposób podchodzi do problemu zużycia energii w budynkach i dlatego projektanci i użytkownicy mają coraz większą świadomość charakterystyki energetycznej materiałów budowlanych.

W jaki sposób beton może pomóc budynkom spełniać wymogi dyrektywy EPBD

Badania charakterystyki energetycznej zarówno rzeczywistych, jak i teoretycznych budynków betonowych, pokazują, że jeżeli w projekcie budynku zostanie uwzględniona masa termiczna, to można uzyskać korzyści w każdym europejskim klimacie. Jeżeli ten efekt jest właściwie ujęty w ramach dozwolonych przez dyrektywę EPBD procedur obliczeń, w budynku ciężkim można uzyskać oszczędności energetyczne rzędu 2-15%, w porównaniu z jego lekkim odpowiednikiem (patrz punkt 5).

Badania pokazały również, że ciężki budynek dłużej utrzymuje komfortowe warunki we wnętrzu (dni) w porównaniu z budynkiem lekkim (godziny), w gorących, jak również w zimnych warunkach otoczenia. Inteligentne połączenie ogrzewania, wentylacji, osłon przeciwsłonecznych, konstrukcji budynku i nocnego chłodzenia, może dalej poprawić wykorzystanie masy termicznej betonu, poprzez tworzenie budynków betonowych, które są lepiej przystosowane do zmian temperatur i pomagają im utrzymać komfort bez potrzeby klimatyzacji.



Rys. 1.2. Pełne wykorzystanie masy termicznej betonu daje komfortowe środowisko biurowe. Centrala Toyoty, Wielka Brytania (Dzięki uprzejmości Towarzystwa Betonowego, Wielka Brytania)

Fakt, że dyrektywa wspiera koncepcje biernego ogrzewania i chłodzenia, a szczególnie docenia cenny wkład masy termicznej, jest oczekiwaną zmianą.

Zastosowanie betonu w budynkach jest korzystne dla każdego

Mieszkańcy i właściciele budynku

Oszczędności energetyczne, które umożliwia masa termiczna betonu, mogą spowodować obniżenie wysokości rachunków za ogrzewanie i chłodzenie – istotny składnik kosztów eksploatacji budynków. To może pomóc wspierać sprawiedliwość społeczną poprzez obniżenie kosztów mieszkaniowych. Ponadto, stabilność termiczna betonu, pomoże zapewnić bardziej komfortowy dom w przyszłości, kiedy skutki zmian klimatu staną się bardziej odczuwalne. Może to przyczynić się do wzrostu wartości domu przy sprzedaży na rynku wtórnym. Inne korzyści obejmują niższe koszty inwestycji związane z prostszymi systemami ogrzewania, wentylacji i chłodzenia (HVAC).

Środowisko

Zasadniczą korzyścią jest obniżenie emisji gazów cieplarnianych spowodowane oszczędnościami energetycznymi, związanymi z masą termiczną w okresie życia budynku. Ponieważ spory udział światowych emisji CO₂ pochodzi z budynków eksploatowanych przez wiele lat, nawet stosunkowo niewielki spadek zużycia energii ma istotne znaczenie.

Oszczędności energii kumulują się przez cały okres eksploatacji budynku

Badania budynków mieszkalnych z uwzględnieniem typowych europejskich cen energii za 2. kwartał 2006 r., wykazały, że w przypadku domu o powierzchni ok. 70-80 m² oszczędności energetyczne wskutek zastosowania ciężkich metod budowlanych wynoszą około 60 euro rocznie. Ceny energii nie wydają się stabilne i jeżeli nadal będą rosnąć tak dramatycznie jak w ostatnich latach, optymalizacja instalacji grzewczych i chłodniczych, przez bardziej efektywne wykorzystanie masy termicznej, będzie miała krytyczne znaczenie.

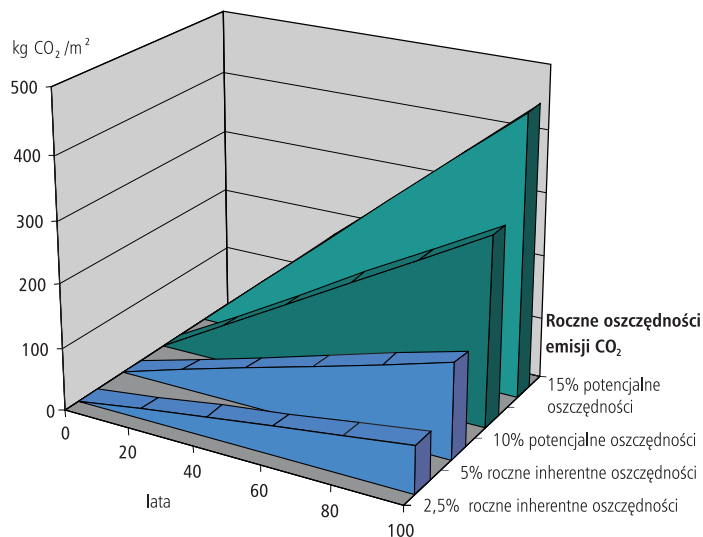
W praktyce, oczywiście, na oszczędność energii mają wpływ zachowania użytkownika, takie jak zamykanie okien i żaluzji, ale niewątpliwie, nawet niewielkie ulepszenie konstrukcji budynku będzie się akumulować z roku na rok, prowadząc w ciągu całego okresu eksploatacji budynku do znacznych oszczędności.

Oszczędności energii powodują znaczne obniżenie emisji CO₂

Rys. 1.3. pokazuje, jak nawet skromne roczne zaoszczędzenie zużycia energii powoduje znaczące obniżki emisji CO₂. Ponadto, w ostatnich badaniach brytyjskich, wykazano, że betonowy/murowany dom o średniej masie, który w pełni wykorzystuje swoją masę termiczną, w ciągu jedenastu lat może zrekompensować emisje związane CO₂, w porównaniu z równoważnym drewnianym domem szkieletowym i później nadal daje oszczędności energii i emisji CO₂ przez cały okres eksploatacji budynku (Hacker i in., 2006).

Rola, jaką ma do odegrania masa termiczna betonu w ulepszeniu środowiska wewnątrz budynku, będzie wzrastać, w miarę jak zmiany klimatyczne będą stawać się coraz bardziej dotkliwe, pomagając przygotować do nich budynki na przyszłość już w bieżącym stuleciu.

Emisje związane CO₂ materiału, elementu budowlanego lub budynku to CO₂ wyemitowany w procesach związanych z produkcją, włącznie z wydobywaniem zasobów naturalnych, produkcją i transportem materiałów.



Rys. 1.3. Konsekwencje niewielkich corocznych ulepszeń w zakresie oszczędności energii przez cały okres eksploatacji

Uwaga: **Inherentne** oszczędności wiążą się automatycznie z budynkiem ciężkim. Potencjalne oszczędności uzyskuje się, jeżeli budynek i instalacje są specjalnie zaprojektowane w celu maksymalizacji efektywności energetycznej.

BETON W BUDYNKACH

Niniejsza publikacja wyjaśnia, jak zaproponowanie w specyfikacji budowy zastosowanie ciężkiego betonu, może pomóc poprawić efektywność energetyczną i komfort termiczny budynków.



Rys. 1.4. Dom murywany z bloków betonowych w Bonheiden, Belgia (Dzięki uprzejmości architekta – Gie Wollaerta, foto – FEBE, Belgijskie Stowarzyszenie Betonu Prefabrykowanego, Belgia)



Rys. 1.5. Efektywny energetycznie apartamentowiec w Dublinie, Irlandia (Dzięki uprzejmości Grupy Rozwoju Betonu, Irlandia)

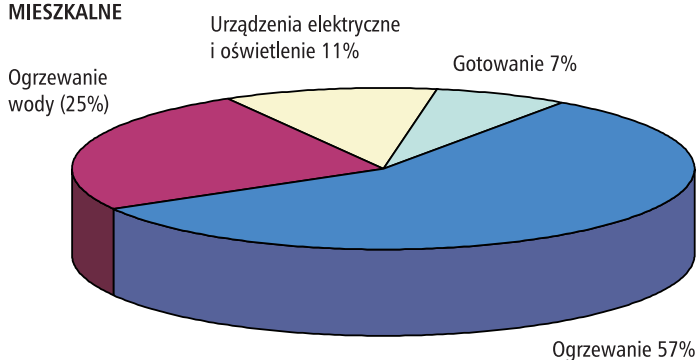
2. EFEKTYWNE WYKORZYSTANIE ENERGII W BUDYNKACH

Charakterystyka energetyczna zależy od uchwycenia równowagi pomiędzy zmniejszeniem zużycia a utrzymaniem komfortu

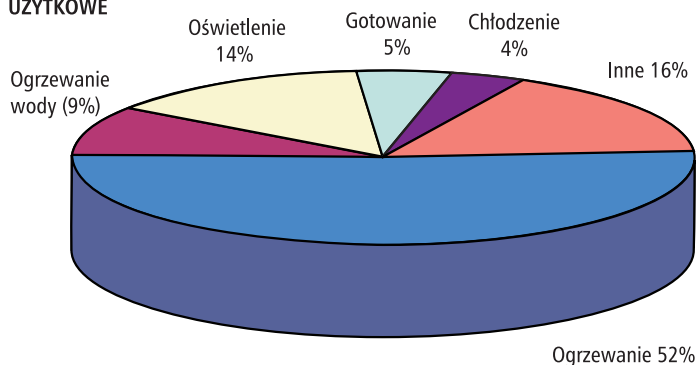
Obniżenie zużycia energii w budynkach jest niezwykle ważne, z powodu znaczącej roli, jaką może odgrywać w walce z nieproporcjonalnymi poziomami zużycia energii. Wartości europejskie pokazują, że energia zużywana na ogrzewanie, oświetlenie i gotowanie w budynkach stanowi ponad 40% zużycia energii pierwotnej. To powoduje, że mieszkanie i używanie budynków jest największym pojedynczym źródłem emisji gazów cieplarnianych, głównie w postaci dwutlenku węgla. Rysunek 2.1. pokazuje udział energii zużytej w UE na różne cele zarówno w budynkach mieszkalnych, jak i użytkowych.

Zobowiązując się do obniżenia emisji gazów cieplarnianych do poziomu z 1990 r. przed upływem 2010 r., Unia Europejska starała się wprowadzić mechanizm mający na celu obniżenie ilości energii zużywanej w budynkach. W rezultacie, dyrektywa UE w sprawie cha-

MIESZKALNE

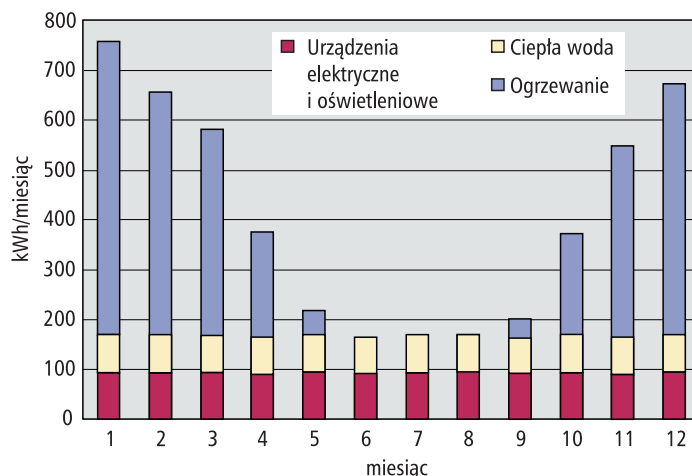


UŻYTKOWE



Rys. 2.1. Zużycie energii w budynkach w UE dla budynków mieszkalnych i użytkowych. Źródło: www.intuser.net

rakterystyki energetycznej budynków lub dyrektywa EPBD (dyrektywa 2002/91/WE z 16 grudnia 2002 r.) została nałożona na państwa członkowskie od stycznia 2006 r., dzięki czemu UE będzie mogła zapewnić mniejsze zużycie energii w nowych budynkach. Zostanie to omówione w punkcie 4.



Rys. 2.2. Miesięczne zużycie energii teoretycznego budynku mieszkalnego obliczone dla klimatu sztokholmskiego przy pomocy programu Consolis

Ocena wykorzystania energii w budynkach

Aby zachować zgodność z przepisami i stworzyć budynki komfortowe i efektywne energetycznie, należy wziąć pod uwagę wszystkie istotne składniki bilansu energetycznego i ważne czynniki lub parametry (włącznie z masą termiczną). Zużycie energii w budynku można obliczyć przy pomocy prostej metody ręcznego obliczania, opartej zwykle na statystycznych temperaturach na zewnątrz w określonym miejscu, izolacji termicznej (wartość U) i oczekiwanym stopniu wentylacji albo przy pomocy programów komputerowych, które matematycznie modelują przepływy ciepła (tj. przenikanie, promieniowanie i konwekcję).

Dyrektywa EPDB przyjmuje podejście holistyczne i zintegrowane do projektu, pozwalając na zastosowanie kilku różnych metod. Pozwala zarówno na uproszczone metody „stanu quasi-stacjonarnego”, jak również szczegółowe obliczenia „dynamiczne”, jednak złożoność nierozdzielnie związana z przepływami energii oznacza, że komputery są coraz częściej stosowane do wykonywania symulacji projektowych (rys. 2.2.). Istnieje wiele specjalistycznych programów energetycznych, ale nie wszystkie będą miały zastosowanie we wszystkich sytuacjach, na przykład pewne skupiają się na budynkach mieszkalnych, inne mogą być używane tylko w określonych krajach lub regionach klimatycznych.

Przepływy energii w budynku

Podstawowe zasady przepływów energii w budynku pokazano na rys. 2.3. Dla nas wszystkich ważne jest zrozumienie, jak te różne przepływy w budynku wzajemnie ze sobą reagują, aby stworzyć w jego wnętrzu odczuwany przez nas mikroklimat. Rzeczywiście, to efektywne zarządzanie przepływami pomaga zmniejszać zużycie energii – krytyczny aspekt przepisów budowlanych w odniesieniu do charakterystyki energetycznej.

Energia (ciepło) jest przenoszona przez przewodzenie, ruch powietrza (konwekcję) i/lub promieniowanie.

Przenikanie zależy od izolacyjności lub odwrotnie od przewodności cieplnej materiału lub budowli.

Konwekcja (ruch powietrza) jest regulowana przez wentylację. Jest również spowodowana przenikaniem przez nieszczelności; budynki stają się coraz bardziej szczelne, by uniknąć takich nieplanowanych przepływów.

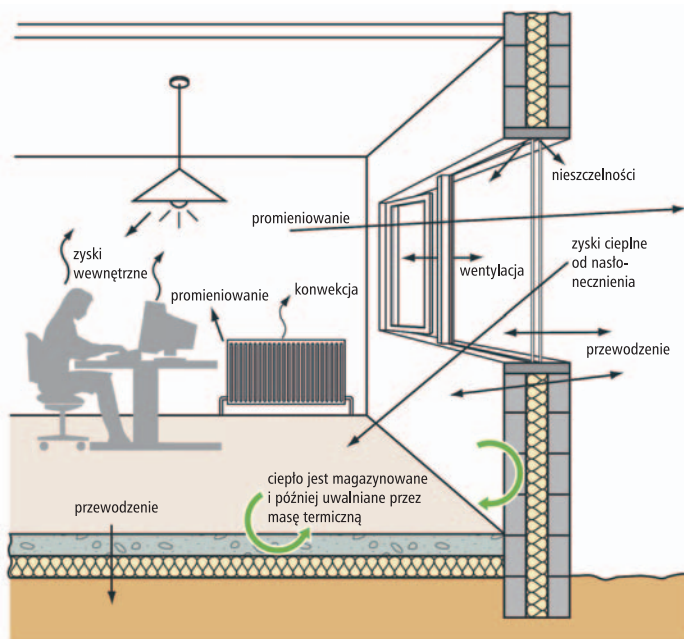
Promieniowanie oddziałuje przede wszystkim na oszklone części budynku i będzie różne w zależności od szerokości geograficznej i usytuowania.

Rys. 2.3. 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.



Kierunek i wielkość przepływów energii będzie różna o różnej porze dnia, roku i w różnych miejscach, w zależności od zewnętrznych i wewnętrznych warunków klimatycznych. Obecność ludzi i sprzętu również będzie miała pewien wpływ. Zdolność materiałów budowlanych do gromadzenia i uwalniania energii poprzez wykorzystanie ich masy termicznej ma znaczny wpływ na charakterystykę energetyczną budynku. Uzyskuje się to albo przez naturalną wentylację, która nie potrzebuje mechanicznego wspomaganie, albo przez metody aktywne, takie jak wymuszony przepływ powietrza i wody przez węzownice lub przewody w płytach betonowych. Koncepcja masy termicznej jest wyjaśniona bardziej szczegółowo w punkcie 3.

Z praktycznego punktu widzenia, są dwa ważne cele związane z charakterystyką energetyczną:

1. Zminimalizowanie ilości energii zużywanej przez budynek.
2. Zapewnienie, aby budynek utrzymywał poziom komfortu termicznego, jaki jest odpowiedni dla jego mieszkańców.

Beton pomaga budynkom osiągać oba te cele, jak szczegółowo wyjaśniono w punkcie 3.



Rys. 2.4. Przekrój przez bardzo mocno izolowaną ścianę zewnętrzną, z zewnętrzną warstwą z ciężkiego betonu w celu uzyskania dobrej masy termicznej. Daje to znakomitą charakterystykę termiczną przez cały rok, poprzez stworzenie zoptymalizowanej kombinacji przepływu i gromadzenia energii. (Zdjęcie zrobione podczas wyjazdu badawczego w BedZED, Wielka Brytania)



Rys. 2.5. „ITCLAB” znajdujący się w „Km Rosso” (czerwony kilometr), nowy, efektywny energetycznie ośrodek badawczo-innowacyjny Italcementi zaprojektowany przez Richarda Meiera w Bergamo, Włochy. (Dzięki uprzejmości Italcementi, Włochy)

3. BETON I ZUŻYCIE ENERGII W BUDYNKACH

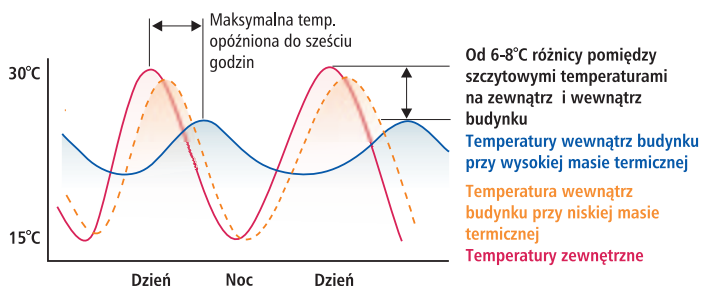
Stabilność termiczna betonu pomaga budować budynki efektywnie energetycznie i odporne na przyszłe zmiany

Przez wykorzystanie masy termicznej budynku, można zmniejszyć zużycie energii przez złagodzenie potrzeby ogrzewania i chłodzenia w budynku. Posiadana bezwładność cieplna skutkuje wygładzaniem maksimum lub minimum temperatury wewnętrznej, w ten sposób utrzymując bardziej stabilne, komfortowe środowisko wewnętrzne. (rys. 3.1.). Jest to uznane w metodyce przedstawionej w PN EN ISO 13790, która wspomaga dyrektywę EPBD (patrz punkt 4).

Jak działa masa termiczna

Jako materiał ciężki, beton działa jak magazyn (lub bufor) podczas sezonu grzewczego, przez wykorzystywanie darmowych zysków ciepła, np. z promieniowania słonecznego lub ciepła od mieszkańców,

STABILIZUJĄCY WPŁYW MASY TERMICZNEJ NA TEMPERATURĘ WE WNIĘTRZU BUDYNKU



Rys. 3.1. Wpływ masy termicznej na komfort cieplny (Z publikacji *The Concrete Centre, Masa termiczna dla budownictwa mieszkaniowego, Wielka Brytania*).

magazynując tę energię, a następnie uwalniając ją później w ciągu dnia (rys. 3.2.). Odwrotnie, zdolność betonu do ochładzania się nocą, a następnie oddawania tego chłodu do wnętrza budynku podczas dnia jest następnym ważnym sposobem, w jaki beton może przyczynić się do komfortu termicznego w okresie lata.

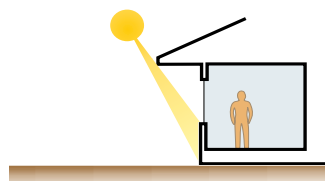
Beton zwykły daje najwyższą wielkość masy termicznej w porównaniu z innymi materiałami budowlanymi. Beton lekki (izolacyjny) daje niższą wielkość, niemniej jednak wartościowo wysoką. Od dawna był znany pozytywny wpływ masy termicznej na zużycie energii i komfort termiczny

BETON W BUDYNKACH

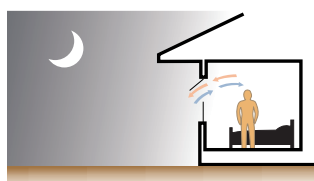
w budynkach, ale ten aspekt został włączony do budowlanych kodeksów energetycznych dopiero stosunkowo niedawno (patrz punkt 4).

W ciągu dnia wielkość masy termicznej materiału określa, na jaką głębokość penetruje ciepło i w rezultacie, jak dobrze materiał ten działa jako magazyn ciepły.

MASA TERMICZNA LATEM

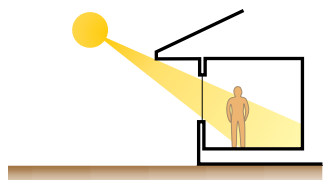


Dniem. W gorące dni okna są zamknięte, żeby trzymać gorące powietrze na zewnątrz, należy dostosować osłony, żeby zminimalizować nasłonecznienie. Masa termiczna chłodzi. Jeżeli temperatury są mniej ekstremalne, można otworzyć okna, w celu wentylacji.

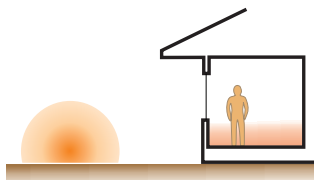


Nocą. Jeżeli dzień był gorący, mieszkaniec otwiera okna, żeby zapewnić nocne chłodzenie masy termicznej.

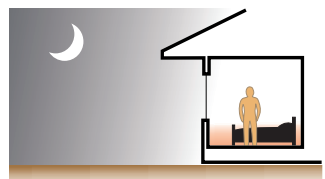
MASA TERMICZNA ZIMĄ



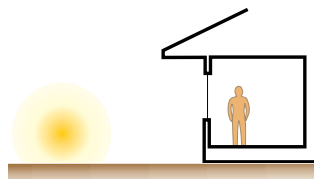
10.00 do 17.00. Światło słoneczne wchodzi przez południowe okna i uderza w masę termiczną. To ogrzewa powietrze i masę termiczną. W większość słonecznych dni, ciepło słoneczne może pomóc utrzymać komfort od przedpołudnia do późnego popołudnia.



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 ranek to 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.

Rys. 3.2. Pasywne chłodzenie latem, magazynowanie i oddawanie zysków energii zimą (Dzięki uprzejmości Centrum Betonu, Wielka Brytania)

Aby zilustrować wysoką zdolność betonu do magazynowania ciepła, można zrobić proste porównanie rodzajów ścian: Ciężka ściana z bloczków betonowych z wykończeniem tynkowym może pochłonąć około siedem razy więcej ciepła niż typowa ściana z ramy drewnianej wykończona okładziną tynkową. To oznacza, że w gorące letnie dni, dodatkowa zdolność pochłaniania ciepła w mieszkaniu zbudowanym z ciężkiego materiału może mieć podobny efekt chłodzący, jak pracujące dwa przenośne standardowe klimatyzatory.

Maksymalne wykorzystanie masy termicznej

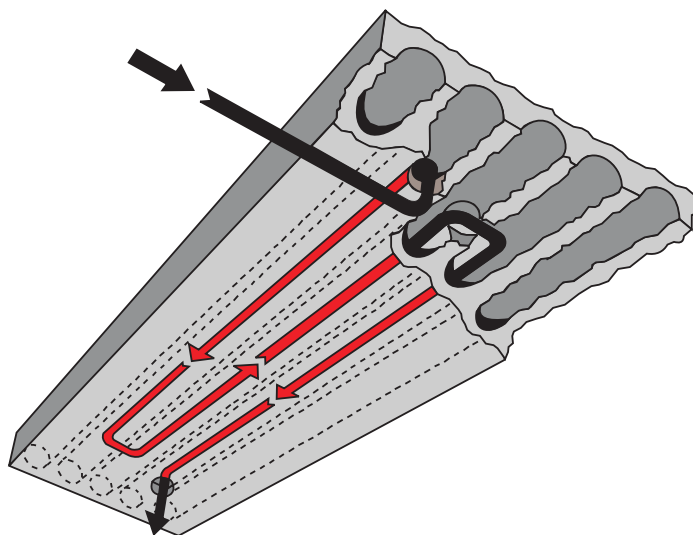
Masa termiczna betonu najlepiej działa w budynkach o regularnym cyklu zmian temperatury, zwykle w ciągu dnia. Na przykład, w szkołach lub biurach, gdzie występują znaczące szczytowe wewnętrzne przyrosty ciepła i zbiegają się ze szczytowymi przyrostami nasłonecznienia, efekt buforowy betonu pomaga zmniejszyć i opóźnić nadejście szczytowych temperatur. Wieczorny spadek temperatury, kiedy budynek jest pusty, stwarza okazję do nocnego ochłodzenia betonu, żeby przygotować go na następną dzień.

Obecność wewnętrznych wykończeń, takich jak okładzina tynkowa lub dywan, w pewnym stopniu zmniejsza masę termiczną, działając jako warstwa izolacyjna. Konsekwentnie, nie znaczy to, że budynek o ciężkiej konstrukcji automatycznie będzie miał wysoki poziom masy termicznej, zależy to od zakresu, w jakim betonowe elementy konstrukcyjne będą reagować cieplnie z zajmowaną przestrzenią, tj. wymieniać ciepło z otaczającym środowiskiem. Idealnie, izolacja ścian zewnętrznych powinna być umieszczona za betonową warstwą wewnętrzną (np. we wnęce), a izolacja parterów zostać umieszczona pod płytą. Poza tym, istnieje prosta zasada, że na ile to jest wykonalne, powierzchnia betonu powinna być pozostawiona bez izolacji cieplnej przez użycie takich wykończeń jak farba, płytki lub mokry tynk. Upraszczając – aby masa była efektywna, musi być „widoczna” dla wewnętrznych źródeł ciepła.

Podczas gdy pewne typy konstrukcji ściany betonowej mogą wykorzystywać izolację wewnętrzną w połączeniu z przerwą cieplną, w takim budynku ciągle można osiągnąć znaczny stopień masy termicznej, poprzez zastosowanie betonowych posadzek.

W klimatach, gdzie temperatury pozostają bardzo wysokie lub niskie przez długi czas, takie pasywne sposoby wykorzystywania masy termicznej stają się mniej skuteczne, przez co opcje aktywne (ze wspomaganiami mechanicznymi) są bardziej przydatne. W tym przypadku, energia jest przekazywana przez wodę w węzownikach lub powietrze w kanałach (patrz rys. 3.3.). Wysoka przewodność cieplna betonu jest korzystna dla rozprowadzania ciepła z powietrza lub wody przez płytę, do samego pomieszczenia. To podejście jest również użyteczne, jeżeli występują wysokie wewnętrzne zyski ciepła, na przykład w biurach zawierających dużą ilość sprzętu kom-

puterowego lub innego, ponieważ chłodne powietrze/woda mogą poprawić zdolność płyty do pochłaniania ciepła.



Rys. 3.3. System Termodeck. Tutaj w mechanicznej wentylacji, powietrze powoli przechodzi przez kanały płyty o pustych kanałach w kształcie węzownicy, co zapewnia przedłużony kontakt powietrza i betonu, w celu dobrego transportu ciepła. W każdej płycie, trzy do pięciu kanałów jest zwykle wykorzystywanych w ten sposób i dyfuzor dopływu powietrza jest umieszczony na dolnej stronie płyty tj. podsufitce. *(Dzięki uprzejmości Termodeck®, Szwecja)*

Badania masy termicznej

Efekt masy termicznej jest dobrze znany. Zespół z Uniwersytetu Tampere w Finlandii (Hietamäki J. i in., 2003) opracował pomocny przegląd literatury, w którym zbadano 28 publikacji międzynarodowych na ten temat i wyciągnięto szereg wniosków:

- Masa termiczna daje 2-15% oszczędności energii cieplnej, przy czym typowa oszczędność w warunkach klimatu północnoeuropejskiego wynosi 10%, jeśli porównać budynki lekkie i ciężkie.
- Jeżeli latem nie stosuje się chłodzenia, najwyższe temperatury powietrza wewnątrz ciężkiego budynku są o 3-6 stopni niższe, niż w równoważnym lekkim budynku; tym samym ciężka masa termiczna może zmniejszyć potrzebę chłodzenia.
- Nocna wentylacja budynków biurowych może zmniejszyć stosowanie chłodzenia mechanicznego lub go wyeliminować. W połączeniu

z wysoką masą termiczną, obniża to energię potrzebną do chłodzenia do 50%.

- Połączenie wysokiej masy termicznej i lepszej szczelności w domach jednorodzinnych może powodować 20% zmniejszenie zużycia energii cieplnej w porównaniu z lekkim odpowiednikiem.

W dodatkowej pracy norweskiej oceniono letnie własności użytkowe domu jednorodzinnego z nocną wentylacją i budynku biurowego z nocną wentylacją lub z aktywnym chłodzeniem w różnych reżimach pracy (Dokka T.H., 2005). W symulacji wykorzystano dane z klimatu norweskiego, które zostały zastosowane przy pomocy komercyjnego programu do dynamicznego modelowania przepływu energii. Wyniki pokazały, że ciężki budynek mieszkalny wymagałby w przybliżeniu o 7% mniej energii cieplnej niż budynek lekki i masa termiczna betonu wywarła znaczny wpływ na komfort termiczny. Dla biura, różnica wymaganej energii cieplnej wynosiła około 10%, a w przypadku aktywnego chłodzenia, lekki budynek potrzebował ponad 30% więcej energii do chłodzenia. W przypadku pasywnego, wzmocnionego przez nocną wentylację, chłodzenia lekkiego budynku, nadal było nadmierne przegrzanie – gdzie przez 179 godzin, kiedy budynek był zajęty, odczuwano temperatury powyżej 26°C. Wyniki ostatnich badań na ten temat są podane w punkcie 5 niniejszej publikacji.

Rys. 3.4. Efektywny energetycznie budynek szkoły średniej w Gislaved, Szwecja, zbudowany w 1993 r., w systemie Termodeck i rozbudowany w 2006 r., o łącznej powierzchni 12 000 m² (Dzięki uprzejmości Strångbetong, Szwecja)



4. DYREKTYWA W SPRAWIE CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKÓW (EPBD)

Dyrektywa EPDB daje wspólne ramy do obliczeń charakterystyk energetycznych budynków w całej Europie i ustala minimalne normy dla nowych i modernizowanych budynków

Dyrektywa UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (dyrektywa 2002/91/WE z 16 grudnia 2002 r.) weszła w życie w państwach członkowskich w styczniu 2006 r., dzięki czemu UE będzie mogła wymagać, żeby nowe budynki zużywały mniej energii. Użytkowanie 160 milionów budynków w UE odpowiada za 40% zużycia energii i jako takie jest największym pojedynczym źródłem emisji CO₂ regionu. Na tym etapie jednakże, ta dyrektywa ma zastosowanie jedynie do budynków o całkowitej powierzchni przekraczającej 1000 m².

Wymagania dyrektywy EPBD

Dyrektywa zawiera szereg różnych przepisów i narzędzi dotyczących charakterystyki energetycznej, które mają wpływ na projekt i eksploatację budynków. Niniejsza publikacja koncentruje się na potencjalnym przyczynieniu się betonu do realizacji celów EPBD, a więc nie wszystkie aspekty dyrektywy zostaną tutaj szczegółowo omówione. Jednakże, w istocie, dyrektywa EPBD wymaga, aby rządy, projektanci i użytkownicy podejmowali działania poprzez:

- Zapewnienie wspólnych ram dla metodyki obliczeń zintegrowanej charakterystyki energetycznej budynków.
- Stawianie minimalnych wymagań dotyczących charakterystyki energetycznej budynków, włącznie z wymaganiami dotyczącymi chłodzenia.
- Wymaganie, żeby mierzone zużycie energii było sprawdzane w ukończonych budynkach i żeby były one zgodne.
- Pozwolenie na włączenie wskaźnika CO₂ do oceny charakterystyki energetycznej, co promuje korzystanie z alternatywnych źródeł energii (takich jak kolektory słoneczne).
- Stanowienie, że należy stosować koncepcje pasywnego ogrzewania i chłodzenia.
- Stanowienie, że dobra charakterystyka energetyczna nie może być w konflikcie z jakością środowiska wewnątrz budynku.
- Nałożenie systemu certyfikacji energetycznej budynków, co zwiększa świadomość zagadnienia i wartość rynkową efektywności energetycznej (patrz rys. 4.1.).

CERTYFIKAT ENERGETYCZNY	ŚWIADECTWO ENERGETYCZNE BUDYNKU NR.....																						
	Rodzaj budynku:.....																						
	Adres:.....																						
	Nazwisko i imię właściciela.....																						
	Wartość zintegrowanego wskaźnika charakterystyki energetycznej																						
	EP =																						
KLASA ENERGETYCZNA BUDYNKU																							
<table border="1"> <tr> <td>0,00-0,25</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,26-0,50</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,51-0,75</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,75-1,00</td> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: right;">EP_{ref}</td> </tr> <tr> <td>1,01-1,25</td> <td style="text-align: center;">E</td> <td style="text-align: right;">◁</td> </tr> <tr> <td>1,26-1,50</td> <td style="text-align: center;">F</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Powyżej 1,50</td> <td style="text-align: center;">G</td> <td></td> </tr> </table>			0,00-0,25	A		0,26-0,50	B		0,51-0,75	C		0,75-1,00	D	EP _{ref}	1,01-1,25	E	◁	1,26-1,50	F		Powyżej 1,50	G	
0,00-0,25	A																						
0,26-0,50	B																						
0,51-0,75	C																						
0,75-1,00	D	EP _{ref}																					
1,01-1,25	E	◁																					
1,26-1,50	F																						
Powyżej 1,50	G																						
Imię i nazwisko audytora:.....																							
Nr licencji:..... Podpis audytora:.....																							
Data wyświetlenia świadectwa:.....																							
Data ważności świadectwa:.....																							

Rys. 4.1. Przykładowe przedstawienie, certyfikatu energetycznego budynku (Dzięki uprzejmości www.eplabel.org)

Charakterystyka techniczno-użytkowa budynku: przeznaczenie budynku, liczba użytkowników, rodzaj konstrukcji, kubatura i powierzchnia części budynku o regulowanej temperaturze, współczynniki przenikania ciepła dla przegród (w tym okna i drzwi), system c.o. i c.w.u. i ich sprawności.

Charakterystyka energetyczna: przegrody, instalacje c.o. i c.w.u., ocena zużycia energii na ogrzewanie, ocena zużycia energii na c.w.u.,

Uwagi w sprawie możliwości zmniejszenia zużycia energii:

Okres ważności świadectwa wynosi 10 lat.

We wcześniejszych obliczeniach charakterystyki energetycznej, projektanci i specjaliści ds. energii zwykle mieli projektować według przepisanych elementarnych wartości U dla podłóg, ścian i dachu budynku. W niektórych krajach, stosowano bardziej holistyczne przepisy „Charakterystyki Energetycznej” (CE) (obliczone zużycie energii budynku, zwykle wyrażane w kWh/m²) i one zostały przyjęte w nowej dyrektywie. Ten krok od elementarnych wartości U do zasady CE otwiera możliwość włączenia aspektów takich jak masa termiczna i szczelność do oceny charakterystyki energetycznej budynków.

Dyrektywa EPDB przyjmuje szerokie spojrzenie na charakterystykę energetyczną i wprowadza zintegrowane kryterium charakterystyki energetycznej, gdzie aspekty takie jak masa termiczna mogą być brane

pod uwagę przy projektowaniu. Jako minimum, dyrektywa wymaga uwzględnienia następujących aspektów:

- Własności cieplne budynku (tj. jego zewnętrzna powłoka i ściany wewnętrzne), włącznie ze szczelnością
- Instalacje ogrzewania i ciepłej wody, włącznie z ich charakterystykami izolacji
- Systemy klimatyzacji
- Systemy wentylacji mechanicznej
- Wbudowane instalacje oświetleniowe (głównie w budynkach niemieszkalnych)
- Położenie i usytuowanie budynku, włącznie z klimatem na zewnątrz
- Pasywne systemy słoneczne i ochrony przed przegrzaniem
- Naturalna wentylacja
- Warunki klimatyczne wewnątrz budynku, włącznie z zaprojektowanym klimatem wewnątrz budynku.

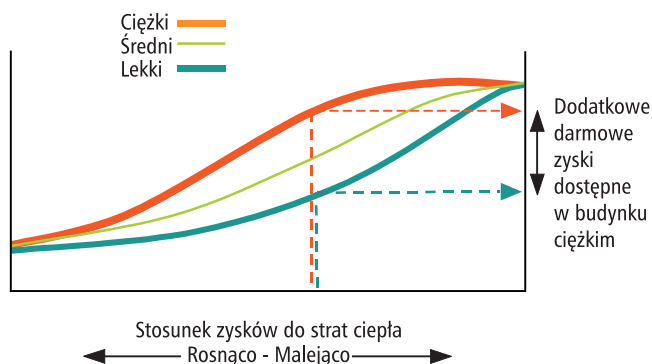
Przewidywanie zużycia energii w budynku

Aby móc wdrożyć dyrektywę, wymagany jest szereg norm. Najważniejszą jest prawdopodobnie PN EN ISO 13790:2006 *Ciepłne właściwości użytkowe budynków – obliczanie zużycia energii do ogrzewania*, która określa ocenę masy termicznej i szczelności, tym samym ustalając, jak przewidzieć zużycie energii w budynku. Norma PN EN ISO 13790 pozwala na uproszczoną metodę „stanu quasi-stacjonarnego”, jak również szczegółowe obliczenia „dynamiczne”.

Metody dynamiczne modelują prawdziwe zachowanie termodynamiczne pomieszczenia lub budynku, ale opierają się na obszernych, szczegółowych danych projektowych i klimatycznych, więc mogą być czasochłonne. Jednakże, mając łatwiejszy dostęp do codziennych danych klimatycznych i rozwoju bardziej przyjaznego dla użytkownika oprogramowania, modelowanie dynamiczne staje się coraz bardziej popularne.

Metoda „stanu quasi-stacjonarnego” jest uproszczonym podejściem i bierze pod uwagę zalety masy termicznej, co czyni ją idealną do stosowania we wczesnych fazach projektu, kiedy podejmowane są strategiczne decyzje dotyczące materiałów budowlanych. Ocenia masę termiczną poprzez kwantyfikację zysków energii darmowej (np. ciepło

z promieniowania słonecznego i od mieszkańców) i energię zakupioną, z której więcej może być wykorzystane w budynku ciężkim, co wymaga zatem mniejszej ilości energii zakupionej niż w przypadku budynku lekkiego. Sposób, w jaki jest to obliczane, pokazano na rys. 4.2., na którym widać, że większa proporcja zysków darmowej energii może być wykorzystana w budynku ciężkim. Jest to ważny aspekt normy PN EN ISO 13790:2006.

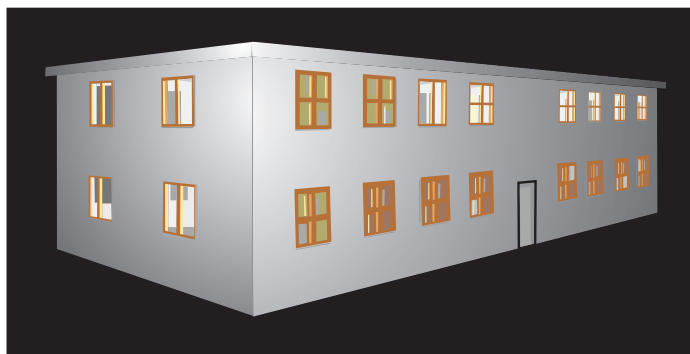


Rys. 4.2. Wykorzystanie zysków darmowej energii według PN EN ISO 13790 (uproszczone dla celów tego przewodnika). Przykład pokazuje, że dla danego stosunku darmowych zysków do strat ciepła, ciężki budynek daje wyższe wykorzystanie niż budynek lekki.

5. POKAZANIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ BETONU

Wkład betonu w stabilność termiczną i efektywność energetyczną budynków został wyraźnie pokazany przez nowe badania

W celu określenia, w jakim zakresie beton utrzymuje stabilny klimat wewnątrz budynku, jednocześnie minimalizując zużycie energii, przeprowadzono szereg prób (Johannesson G. i inni, 2006) (Johannesson G., Lieblang P. i Öberg M.) z wykorzystaniem teoretycznego projektu budynku. Celem było zbadanie bilansu energetycznego w budynkach mieszkalnych i biurowych w różnych klimatach europejskich (od Szwecji po Portugalię), dla wariantu budynku ciężkiego i lekkiego. Opracowano prosty projekt budynku dwukondygnacyjnego, który jest pokazany na rys. 5.1., nadającego się zarówno na cele mieszkalne, jak i biurowe. Zastosowano dwie różne konfiguracje: wariant ciężki obejmował betonowe posadzki, wewnętrzne i zewnętrzne ściany, podczas gdy w wariantcie lekkim stosowano typowe komponenty na szkieletie drewnianym lub z profiliów stalowych lekkich w całym budynku, z wyjątkiem betonowej płyty fundamentowej. Jednakże, w obu zastosowana izolacja cieplna była identyczna, tak aby można było dokładnie badać wpływ masy termicznej.



Rys. 5.1. Widok budynku teoretycznego użytego do badań energii

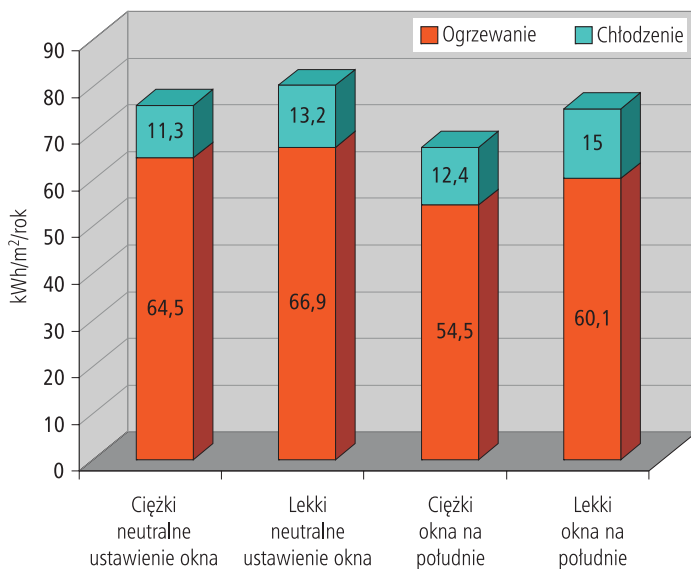
Obliczenie teoretycznej charakterystyki energetycznej

Do obliczeń zużycia energii w budynku jest dostępnych szereg programów komputerowych, które uwzględniają wytyczne normy PN EN ISO 13790. W badaniach betonu i charakterystyki energetycznej użyto pięciu programów z Danii, Niemiec i Szwecji. Trzy z nich są oparte na metodzie „stanu quasi-stacjonarnego”, jeden jest

ogólnym programem dynamicznym i jeden wykorzystuje równolegle obie metody obliczeń.

Wyniki tych prób z wykorzystaniem pięciu wariantów teoretycznego budynku pokazują, że budynek z ciężkiego betonu daje znaczącą przewagę pod względem charakterystyki energetycznej w porównaniu z równoważną konstrukcją lekką. Wszystkie pięć programów pokazało wyraźną przewagę własności użytkowych dla wariantu budynku ciężkiego.

Dla konstrukcji mieszkalnej z neutralnym usytuowaniem okien budynek z ciężkiego betonu wymagał 2-9% mniej energii pierwotnej lub zakupionej (1,5 do 6 kWh/m²/rok) w porównaniu z podobnym wariantem lekkim. Przewaga wariantu ciężkiego wzrastała, jeżeli więcej okien było zorientowanych na południe. Rys. 5.2. pokazuje, że ciężki budynek z oknami południowymi wymaga mniejszej ilości energii do chłodzenia niż budynek lekki, z neutralną orientacją okien. Innymi słowy, budynek ciężki pozwala na maksymalne wykorzystanie energii słonecznej przy minimalnych problemach z komfortem.



Rys. 5.2. Typowe wyniki obliczeń energii potrzebnej do ogrzewania i chłodzenia w modelu budynku ciężkiego i lekkiego pokazanego na rys. 5.1. W tym przypadku modelowanym przykładem był budynek mieszkalny w Sztokholmie, Szwecja

Zalety własności użytkowych betonu robiły jeszcze większe wrażenie w scenariuszu budynku biurowego (7-15%), gdzie efekt masy termicznej był bardzo wyraźny. Projekt biurowy zawierał klimatyzację (aby radzić sobie z dużymi przyrostami ciepła wewnętrznego od pracowników i urządzeń biurowych), ale wariant ciężki wykorzystywał masę termiczną do minimalizacji potrzeby chłodzenia i tym samym zachowywał się znacznie lepiej niż jego lekki odpowiednik.

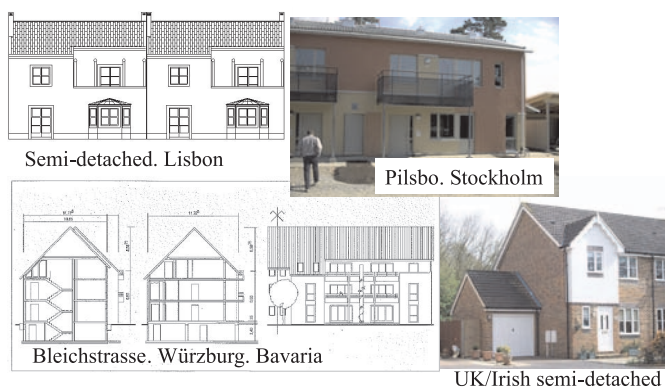
Stwierdzono, że trudno jest ocenić komfort termiczny przy pomocy programów opartych na metodzie „stanu quasi-stacjonarnego”, ale jako wskaźnik komfortu termicznego przyjęto wynikowe obniżenie energii do chłodzenia, w tym przypadku wariant ciężki zachowywał się o 10-20% lepiej niż wariant lekki.

W obu przypadkach, gdyby masa termiczna została uwzględniona w początkowym projekcie budynku, wraz z zastosowaniem wentylacji i oczekiwań odnośnie do temperatur na zewnątrz, można by jeszcze bardziej zwiększyć oszczędności energii.

Podsumowując, programy dały spójne wyniki zarówno dla bezwzględnego zużycia energii, jak i stosunku budynku ciężkiego do lekkiego. Metody „dynamiczna” i „stanu quasi-stacjonarnego” dały podobne wyniki dla budynków betonowych, ale pokazały mniej jednolite wyniki dla wariantów lekkich. To może być spowodowane tym, że niższa stabilność termiczna budynków lekkich powoduje słabą przewidywalność ich rzeczywistego zachowania na podstawie scenariuszy badawczych.

Zalety betonu potwierdzone w rzeczywistych budynkach

Jednakże, żeby potwierdzić ogólną słuszność powyższych wyników, przeanalizowano kilka rzeczywistych budynków (patrz rys. 5.3.) w szeregu różnych klimatów, przy użyciu tych samych programów komputerowych. Rozpatrzono szereg alternatyw konstrukcyjnych, zarówno lekkich, jak i ciężkich oraz uwzględniono dane klimatyczne specyficzne dla miejsca.



Rys. 5.3. Analizowano różne budynki europejskie przy użyciu programów komputerowych, które wykorzystywały efekt zarówno wersji lekkiej, jak i ciężkiej.



Rys. 5.4. Torre Verde (Zielona Wieża), efektywny energetycznie dwunastokondygnacyjny betonowy budynek mieszkalny (7200 m²), zbudowany w Lizbonie, Portugalia. Monitoring pokazał, że emituje on około 24 tony CO₂ rocznie mniej, niż konwencjonalny budynek tej samej wielkości. Słoneczny system ciepłny dostarcza 70% ciepła do ogrzania ciepłej wody na potrzeby zużycia domowego w budynku. (Dzięki uprzejmości Tirone Nunes, SA, Portugalia)

Wyniki tego sprawdzającego badania zostały zebrane w tabeli 5.1. i były ogólnie zgodne z danymi testowymi podanymi przez pięć programów komputerowych, ale poczyniono interesujące obserwacje w odniesieniu do okresowego ogrzewania budynków. Zwykle różnice pomiędzy budowlami ciężkimi i lekkimi są niewielkie, jeżeli są poddawane okresowym cyklom grzewczym, ale tylko wtedy kiedy spadek temperatury pomiędzy kolejnymi cyklami grzewczymi jest minimalizowany przez efektywną izolację i odpowiednią szczelność.

Tabela 5.1. Przykład z rzeczywistych badań budynku; roczne zużycie energii (kWh/m²)

Typ budynku	Zużycie energii	Ciężki	Lekki
Wielka Brytania /Irlandia, Bliźniak, Średnia z 9 miejsc	Ogrzewanie**	34	35
Bliźniak, Lizbona	Ogrzewanie*	17	19
	Chłodzenie	27	32
	Razem	44	51
Wielorodzinny, Würzburg	Ogrzewanie*	51	55
Bliźniak, Sztokholm	Ogrzewanie	78	81
* Stały reżim ogrzewania			
** Średnia ze stałego i okresowego ogrzewania z uwzględnieniem wspólnego użycia ogrzewania okresowego w tych krajach.			

BETON W BUDYNKACH



Rys. 5.5. Dom miejski in situ w Brukseli, Belgia (Dzięki uprzejmości architekta – Joël Claisse Architectures; foto – Jean-Paul Legros, Belgia)



Rys. 5.6. 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)



Rys. 5.7. EDIFICIO ECOBOX, FUNDACIÓN METRÓPOLI dla zrównoważonej przyszłości, efektywny energetycznie betonowy budynek biurowy w Madrycie, Hiszpania (Dzięki uprzejmości architektów Vicente Olmedilli i Ángela de Diego, Hiszpania)

LITERATURA

- ARUP (2004). Too hot to handle. Building, No. 6, 2004, London, UK.
- ARUP/BILL DUNSTER ARCHITECTS (2004). UK Housing and Climate Change - Heavyweight versus lightweight construction, Arup Research + Development, Bill Dunster Architects, UK.
- CIBSE (Chartered Institute of Building Services Engineers) (2005). Climate change and the Indoor environment: Impacts and adaptation, TM36, CIBSE, Ascot, UK.
- DE SAULLES T. (2005). Thermal mass – a concrete solution for a changing climate. The Concrete Centre, Camberley, UK, 25 pp.
- DOKKA T.H. (2005). Varmelagringseffekt ved bruk av tunge materialer i bygninger. (Effect of thermal storage by use of heavy materials in buildings.) SINTEF report STF 50 A05045, Trondheim, Norway (In Norwegian)
- EC (2003). DIRECTIVE 2002/91/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Community, Brussels, 2003.
- HIETAMÄKI J., KUOPPALA M., KALEMA T. and TAIVALANTTI K. (2003). Thermal mass of buildings – Central researches and their results. Tampere University of Technology, Institute of Energy and Process Engineering. Report 2003:174. Tampere, Finland, 43 pp + Annex. (In Finnish)
- PN EN ISO 13790:2006 Ciepłota właściwości użytkowe budynków – obliczanie zużycia energii do ogrzewania
- JOHANNESSON G. et al. (2006). Possibility to energy efficient houses by new integrated calculation approach. ByggTeknik No. 3, Stockholm, Sweden 2006, 66 pp. (In Swedish)
- JOHANNESSON G., LIEBLANG P. and ÖBERG M. Holistic building design for better energy performance and thermal comfort – opportunities with the Energy Performance of Buildings Directive. Submitted in April 2006 to the International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings. Div. of Building Technology, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- HACKER et al. (2006) Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: a case study on the effects of thermal mass and climate change. ARUP Research commissioned by The Concrete Centre and British Cement Association, UK.
- ÖBERG M. (2005). Integrated life cycle design – Application to Swedish concrete multi-dwelling buildings, Lund University. Division of Building Materials, Report TVBM-3103, Lund, Sweden, 117 pp.

SPIS TREŚCI

1. ZALETY BUDYNKÓW BETONOWYCH W ZAKRESIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ	3
Dyrektywa w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (dyrektywa EPBD).....	3
Korzyści z masy termicznej.....	4
W jaki sposób beton może pomóc budynkom spełniać wymogi dyrektywy EPBD	5
Zastosowanie betonu w budynkach jest korzystne dla każdego.....	6
Oszczędności energii kumulują się przez cały okres eksploatacji budynku	6
Oszczędności energii powodują znaczne obniżenie emisji CO ₂ ..	7
2. EFEKTYWNE WYKORZYSTANIE ENERGII W BUDYNKACH	9
Przepływy energii w budynku.....	11
3. BETON I ZUŻYCIE ENERGII W BUDYNKACH.....	13
Jak działa masa termiczna.....	13
Maksymalne wykorzystanie masy termicznej.....	15
Badania masy termicznej.....	16
4. DYREKTYWA W SPRAWIE CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKÓW (EPBD)	18
Wymagania dyrektywy EPBD	18
Przewidywanie zużycia energii w budynku	20
5. POKAZANIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ BETONU	22
Obliczenie teoretycznej charakterystyki energetycznej	22
Zalety betonu potwierdzone w rzeczywistych budynkach	24
LITERATURA	28

B E T O N W B U D Y N K A C H

NOTATKI

ISBN: 978-83-913152-7-9



www.polskicement.pl