

Zapotrzebowanie na ciepło w pomieszczeniu mieszkalnym – porównanie metody bilansowej i symulacyjnej

Dr inż. Magdalena Grudzińska, Politechnika Lubelska

Wprowadzenie

Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania definiowane jest jako ilość ciepła, którą należy doprowadzić do przestrzeni klimatyzowanej, aby utrzymać założoną temperaturę pomieszczenia w określonym okresie przy założeniu idealnie działających systemów instalacyjnych [6]. Wielkość tę wyznacza się w czasie sezonu grzewczego, obejmującego miesiące, dla których straty ciepła są większe od zysków. Są to na ogół miesiące od września do maja.

Zapotrzebowanie na ciepło jest jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących jakość energetyczną budynku. Uzależnione jest przede wszystkim od izolacyjności cieplnej obudowy i intensywności wymiany powietrza. Czynniki zewnętrzne wpływające na potrzeby energetyczne to temperatura powietrza zewnętrznego, nasłonecznienie i działanie wiatru.

1. Wyznaczanie zapotrzebowania na ciepło

Zapotrzebowanie na ciepło ustalane jest na podstawie bilansu strat i zysków ciepła budynku lub jego części. Obliczenia mogą być wykonywane metodami bilansowymi lub symulacyjnymi.

Metody bilansowe to metody quasi-stacjonarne, oparte na założeniu ustalonego przepływu ciepła w przegrodach budowlanych. Obliczenia przeprowadza się dla dość długich okresów czasu (np. jeden miesiąc lub cały sezon grzewczy), uśredniając parametry klimatyczne, takie jak temperatura zewnętrzna i natężenie promieniowania słonecznego. Zjawiska związane z dynamicznym zachowaniem budynku polegające na akumulacji i uwalnianiu ciepła mogą być uwzględniane pośrednio, poprzez empirycznie określony współczynnik wykorzystania zysków ciepła.

Metody symulacyjne, o większym stopniu złożoności, przeznaczone są do wykonywania obliczeń komputerowych. Krok obliczeniowy przyjmowany jest znacznie krótszy – może to być np. jedna godzina lub kilkanaście minut. Pozwala to uwzględnić procesy wymiany cie-

pła uzależnione od zmian temperatury i działania promieniowania słonecznego jako dynamiczne procesy dyskretne [4, 6]. Metody te wymagają szczegółowych danych klimatycznych opracowanych dla godzinnych odstępów czasu.

Obowiązująca norma PN-EN ISO 13790 „Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia” podaje sposób obliczania zapotrzebowania na ciepło wg bilansowej metody miesięcznej i sezonowej oraz symulacyjnej metody godzinowej. Podstawowe równania metody miesięcznej są następujące:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad (1.1.)$$

gdzie:

$Q_{H,nd}$ – zapotrzebowanie na energię do ogrzewania w ciągu kroku czasowego

$Q_{H,ht}$ – całkowite przenoszenie ciepła, uwzględniające straty ciepła przez obudowę budynku lub pomieszczeń Q_{tr} i straty ciepła na ogrzanie powietrza wentylacyjnego Q_{ve} :

$$Q_{H,ht} = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (1.2.)$$

$Q_{H,gn}$ – całkowite zyski ciepła, uwzględniające zyski bytowe Q_{int} i pochodzące od promieniowania słonecznego Q_{sol} :

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (1.3.)$$

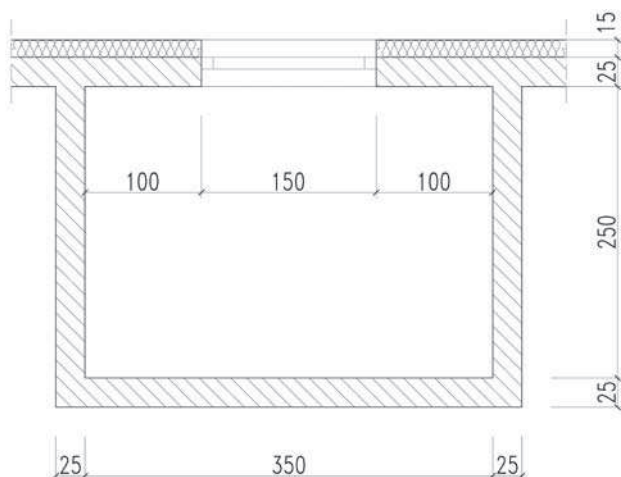
$\eta_{H,gn}$ – bezwymiarowy czynnik wykorzystania zysków ciepła, zależny od proporcji zysków i strat ciepła oraz od pojemności cieplnej budynku.

W metodach symulacyjnych równania są bardziej złożone. Wyprowadza się je najczęściej na podstawie bilansu termicznego objętości powietrza w wydzielonej strefie budynku, z uwzględnieniem doprowadzonej i odprowadzonej energii w jednostce czasu. Przepływ ciepła przez przegrody nie ogranicza się do stanu ustalonego, ale obejmuje także zjawiska akumulacji i uwalniania ciepła w wyniku zmian temperatury. Równania rozwiązywane są metodami numerycznymi w kolejnych krokach czasowych.

2. Założenia przyjęte w obliczeniach

Artykuł porównuje zapotrzebowanie na ciepło obliczone normową metodą miesięczną i metodą symulacyjną za pomocą programu komputerowego BSim, opracowanego na Uniwersytecie w Aalborg, w Danii.

Model obliczeniowy stanowi pojedyncze pomieszczenie mieszkalne z jedną ścianą zewnętrzną zawierającą okno. Przyjęcie prostego modelu pozwoliło na przejrzyste wyodrębnienie różnic między wynikami obliczeń. Schemat i podstawowe wymiary pomieszczenia prezentuje poniższy rysunek.



Rys. 2.1. Schemat analizowanego pomieszczenia

Współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej wynosi $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, a okna – $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Konstrukcja pełnych przegród zewnętrznych i wewnętrznych jest masywna, są one wykonane z cegły kratówki (ściany) i żelbetu (stropy). Założono wymianę powietrza wentylacyjnego na poziomie $0,5$ objętości pomieszczenia w ciągu godziny. Zyski wewnętrzne pochodzące od użytkowników i sprzętu gospodarstwa domowego pominięto w obliczeniach, uwzględniając jedynie zyski od promieniowania słonecznego.

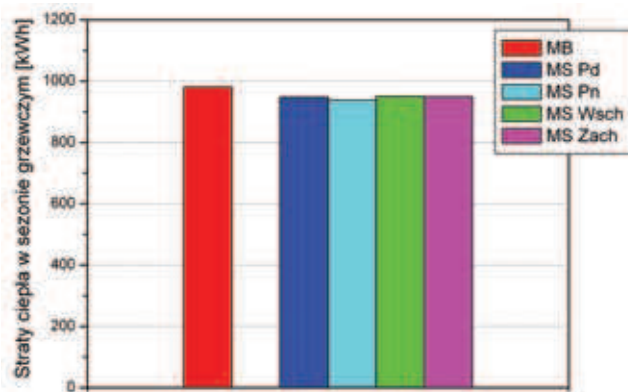
Rozważane pomieszczenie i pomieszczenia sąsiednie są ogrzewane do temperatury $+20^\circ\text{C}$, a temperatura zewnętrzna w ciągu sezonu grzewczego zmienia się zgodnie z danymi dla typowego roku meteorologicznego w miejscowości Lublin. Zróżnicowane warunki nasłonecznienia uwzględniono zakładając, że przegroda zewnętrzna z oknem może być skierowana na północ, południe, wschód lub zachód.

3. Wyniki analiz

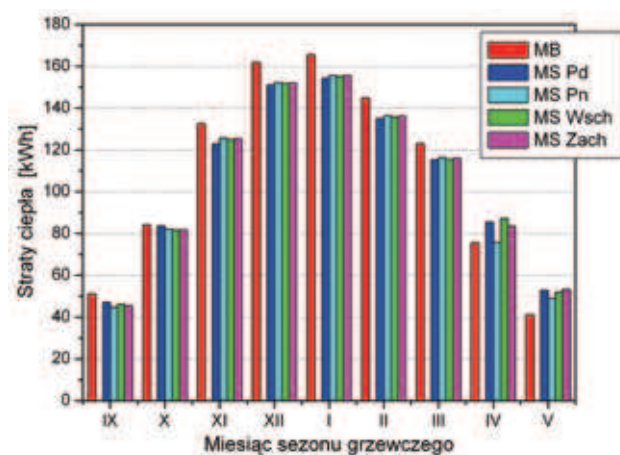
Rozpatrując wyniki obliczeń wyodrębniono straty i zyski ciepła. Pozwoliło to na bardziej dokładną analizę różnic między obiema metodami. Porównano wielkości charakterystyczne dla całego sezonu grzewczego oraz ich miesięczne składowe.

3.1. Straty ciepła

W metodzie miesięcznej straty związane z przepływem ciepła przez elementy konstrukcji i ogrzaniem powietrza wentylacyjnego z założenia nie są uzależnione od lokalizacji pomieszczenia względem stron świata. Wynika to z przyjęcia stałej temperatury powietrza zewnętrznego i wewnętrznego, uśrednionej dla każdego miesiąca. Obliczenia symulacyjne wykazały niewielkie różnicowanie wyników przy zmianie orientacji przegrody ze-



Rys. 3.1. Sumaryczne straty ciepła w zależności od orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)



Rys. 3.2. Straty ciepła w miesiącach sezonu grzewczego w zależności od orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)

wewnętrznej (rys. 3.1.). Różnice te nie przekraczały $1,3\%$ i były spowodowane zmianami temperatury operatywnej związanymi z niejednakowym działaniem promieniowania słonecznego na poszczególne elewacje. Sumaryczne straty ciepła w czasie całego sezonu grzewczego obliczone metodą bilansową są większe średnio o $3,6\%$ od strat obliczonych metodą symulacyjną. Jest to spowodowane nieuwzględnieniem zdolności akumulacji ciepła w masywnych przegrodach budowlanych. Różnice są największe w środkowych miesiącach sezonu grzewczego i od listopada do marca wynoszą średnio $6,4\%$. W tym czasie moż-

liwości pochłaniania ciepła przez obudowę są w największym stopniu wykorzystane ze względu na niskie temperatury zewnętrzne (rys. 3.2.). W kwietniu i maju straty ciepła obliczone metodami symulacyjnymi przewyższają straty wyznaczone metodą bilansową, co bardziej uwidacznia się na elewacjach nasłonecznionych. W tych miesiącach zaobserwowano wzrost temperatury operatywnej w pomieszczeniu o około 0,7°C i 2,5°C (odpowiednio w kwietniu i maju) ze względu na zwiększoną operację słoneczną. W połączeniu z ograniczoną możliwością akumulacji energii w miesiącach wiosennych, daje to w rezultacie zwiększenie ilości ciepła, które musi być usunięte poprzez przewodzenie i wymianę powietrza wentylacyjnego.

3.2. Zyski ciepła

W obliczeniach uwzględniono jedynie zyski pochodzące od promieniowania słonecznego. Według normowej metody bilansowej, wyznaczone są one na podstawie miesięcznych sum promieniowania padającego na płaszczyznę o danej orientacji i właściwości oszklenia opisywanych jako efektywne pole powierzchni zbierającej. W przypadku niezacienionych płaszczyzn zyski ciepła od nasłonecznienia wyrażają się wzorem:

$$Q_{sol} = A_{sol} \cdot I_{sol} \cdot t \quad (3.1.)$$

gdzie:

A_{sol} – efektywne pole powierzchni zbierającej [m²]:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot A_{gl} \quad (3.2.)$$

$F_{sh,gl}$ – czynnik redukcyjny ze względu na zacienienie dla ruchomych urządzeń zacieniających

g_{gl} – całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego dla oszklenia przezroczystego

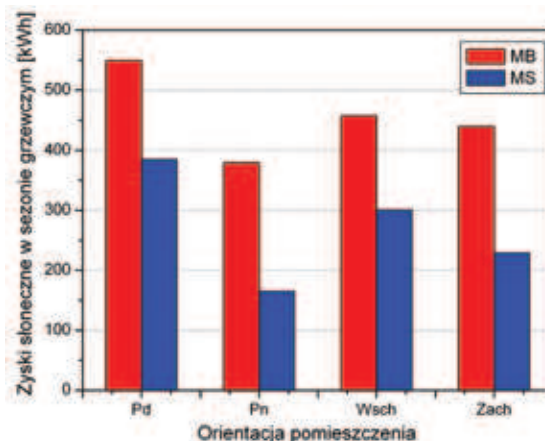
A_{gl} – pole powierzchni oszklenia przezroczystego [m²]

I_{sol} – średnia energia promieniowania słonecznego dla kroku czasowego obliczeń [W/m²]

t – długość kroku czasowego [h].

Całkowita przepuszczalność energii promieniowania słonecznego ustalana jest jako przepuszczalność energii promieniowania padającego prostopadle do oszklenia zmniejszona poprzez wymnożenie przez czynnik korekcyjny, którego proponowana wielkość wynosi 0,9 [6]. Obliczona w ten sposób transmisyjność może być znacznie zawyżona, gdyż nie uwzględnia w dostateczny sposób spadku przepuszczalności układu szyb wraz ze wzrostem kąta padania promieniowania. Natężenie promieniowania słonecznego w obliczeniach przyjmowane jest w postaci miesięcznych sum promieniowania, bez wydzielenia składowych działających bezpośrednio i w sposób rozproszony. Jest to podejście bardzo uproszczone, które może powodować znaczne niedokładności wyników.

W obliczeniach metodą symulacyjną promieniowanie słoneczne traktowane jest jako suma promieniowania bezpośredniego i anizotropowego promieniowania rozproszonego. Przepuszczalność składowej kierun-

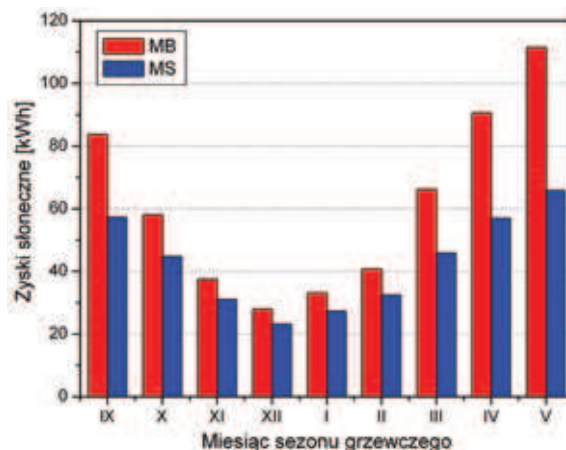


Rys. 3.3. Sumaryczne zyski ciepła w zależności od orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)

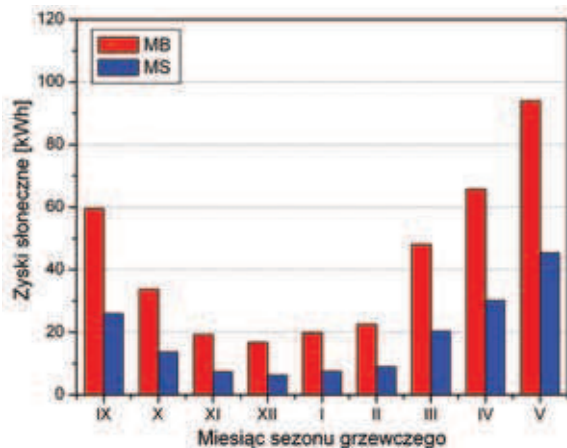
kowej modelowana jest w zależności od kąta padania, a w przypadku składowej rozproszonej ustalana jest jako przepuszczalność promieniowania kierunkowego padającego pod kątem 60° [1, 3, 5].

Wyniki obliczeń wykazują znaczne rozbieżności pomiędzy metodą bilansową a symulacyjną (rysunek 3.3.). W ciągu całego sezonu grzewczego zyski oszacowane metodą normową przewyższają rezultaty obliczeń komputerowych o 43% dla ściany skierowanej na południe i 130% dla ściany skierowanej na północ oraz o 52% i 92% odpowiednio dla ścian o lokalizacji wschodniej i zachodniej. Prezentowane na wykresach zyski słoneczne wyznaczone wg metody bilansowej nie są zmniejszone o czynnik wykorzystania.

Powyższe różnice są odzwierciedleniem miesięcznych różnic ilości ciepła pozyskiwanego dzięki promieniowaniu słonecznemu. Przykładowe zestawienia dla ściany zewnętrznej zorientowanej na południe i północ przedstawiono na rysunkach 3.4. i 3.5. (podobny charakter wyników uzyskano dla wszystkich orientacji przegrody zewnętrznej).



Rys. 3.4. Zyski ciepła w miesiącach sezonu grzewczego dla południowej orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)



Rys. 3.5. Zyski ciepła w miesiącach sezonu grzewczego dla północnej orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)

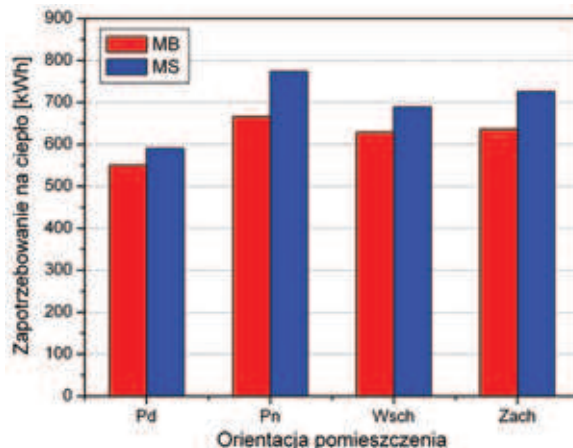
Dla ścian skierowanych na północ, wschód i zachód największe rozbieżności można zaobserwować w okresie zimowym (odpowiednio 163%, 70% i 104%). Miesiące te charakteryzuje znaczny udział promieniowania rozproszonego, a w przypadku przegród zwróconych na wschód i zachód – duże kąty padania promieniowania bezpośredniego dostępnego w ciągu doby. W takich warunkach rzeczywista przepuszczalność szyb może być mniejsza niż założone w metodzie bilansowej 90% przepuszczalności dla kierunku prostopadłego. W okresie wiosenno-jesiennym rośnie udział składowej kierunkowej promieniowania, a także zwiększa się jego dostępność na płaszczyznach skierowanych na wschód i zachód. Przyczynia się to do niewielkiego zmniejszenia różnic między wynikami obliczeń dla obu metod (dla płaszczyzn skierowanych na północ, wschód i zachód wynoszą one średnio: 128%, 50% i 90%).

Dla ściany skierowanej na południe wyniki mają nieco inny charakter – obie metody dają najbardziej zgodne wyniki w miesiącach zimowych (różnice wynoszą około 22%). Jest to efektem zwiększonego udziału promieniowania kierunkowego o stosunkowo niewielkich kątach padania.

3.3. Zapotrzebowanie na ciepło

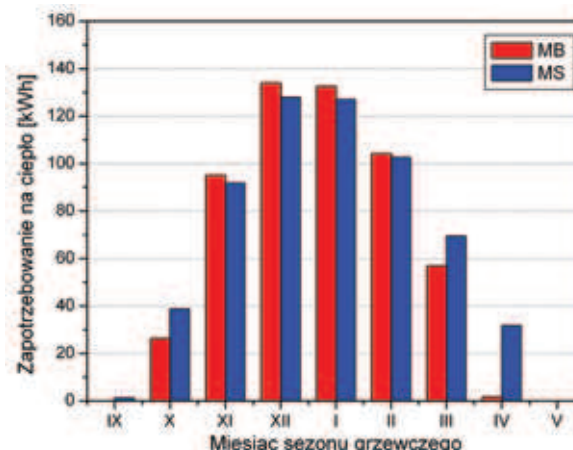
Całkowite zapotrzebowanie na ciepło jest sumą strat i zysków w poszczególnych krokach obliczeniowych, przy czym w metodzie bilansowej zyski słoneczne wymnożone są przez zmniejszający współczynnik wykorzystania. Końcowe wyniki obliczeń prezentuje rysunek 3.6.

Sumaryczne zapotrzebowanie na ciepło obliczone metodą symulacyjną jest większe niż wyznaczone metodą bilansową. Największe różnice występują w przypadku ściany zwróconej na północ (14%), najmniejsze – dla ściany skierowanej na południe (6,8%). Jest to spowodowane przeszacowaniem zysków słonecznych w metodzie normowej, zmniejszającym potrzeby energetyczne pomieszczenia.

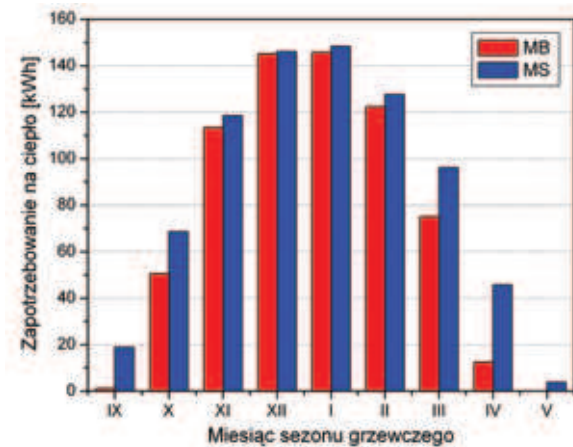


Rys. 3.6. Zapotrzebowanie na ciepło w zależności od orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)

Rozkład zapotrzebowań miesięcznych w sezonie grzewczym dla powyższych lokalizacji przedstawia się następująco:



Rys. 3.7. Zapotrzebowanie na ciepło w miesiącach sezonu grzewczego dla południowej orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)



Rys. 3.8. Zapotrzebowanie na ciepło w miesiącach sezonu grzewczego dla północnej orientacji pomieszczenia – metoda bilansowa (MB) i symulacyjna (MS)

Największe rozbieżności między obiema metodami widoczne są w miesiącach końcowych i początkowych sezonu grzewczego (wrzesień, październik, marzec, kwiecień, maj), co również jest efektem zawyżonych zysków słonecznych w metodzie bilansowej.

4. Wnioski

Metody bilansowe i symulacyjne prezentują różne podejście do wyznaczania zapotrzebowania na ciepło. Ze względu na dynamiczny charakter symulacji komputerowych, trudno jest dokładnie porównać wyniki otrzymane na oba sposoby.

Przeprowadzone analizy pozwoliły zaobserwować pewne prawidłowości dotyczące poszczególnych składowych i końcowych wielkości bilansu energetycznego, opisane dokładniej w punkcie 3. Przyczyną największych rozbieżności wyników jest wyznaczanie zysków związanych z działaniem promieniowania słonecznego. Metoda bilansowa, ze względu na bardzo uproszczone modelowanie transmisyjności promieniowania przez elementy przezroczyste i wykorzystywanie miesięcznych sum promieniowania bez wyróżnienia składowej kierunkowej i rozproszonej, może być obciążona dużym błędem.

Z tych względów normową metodę bilansową należy traktować raczej jako narzędzie przydatne do wstępnej

analizy zapotrzebowania na ciepło obiektów o przeciętnym poziomie ochrony cieplnej. Dla budynków o obniżonych potrzebach energetycznych, wykorzystujących w znaczącym stopniu energię promieniowania słonecznego w sposób bierny lub czynny, konieczne jest podejście bardziej dokładne oparte na dynamicznych symulacjach komputerowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Atrium models for the analysis of thermal comfort and energy use, Report of Task 12: Building energy analysis and design tools for solar application, International Energy Agency 1996
- [2] Chwieduk D., Modelowanie i analiza pozyskiwania oraz konwersji termicznej energii promieniowania słonecznego w budynku, Prace IPPT 11/2006, Warszawa 2006
- [3] Lomas K., Eppel H., Martin C., Bloomfield D., Empirical validation of thermal building simulation programs using test room data, UK Building Research Establishment, 1994
- [4] Typowy rok meteorologiczny do symulacji wymiany ciepła i masy w budynkach, praca pod red. D. Gawina i E. Kosseckiej, Politechnika Łódzka, Łódź 2002
- [5] Wittchen K. B., Johnsen K., Grau K., BSim user's guide, Danish Building Research Institute 2004

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [6] PN-EN ISO 13790 Energetyczne właściwości użytkowe budynków. Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia

Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych

Włodzimierz Starosolski,
Wydawnictwo Naukowe PWN,
wydanie 4

Kolejna już edycja znanej w środowisku budowlanym książki, obecnej na rynku wydawniczym od ponad 25 lat. Tom 4 jest w głównej mierze poświęcony ustrojom ściannym, zarówno monolitycznym, jak i prefabrykowanym. Omówiono zasady kształtowania ustrojów ściannych, ich konstruowania i obliczania, problemy związane ze zbrojeniem i szczegółami połączeń. Zagadnienia te poprzedzono rozdziałami poświęconymi: doborowi proporcji elementów konstrukcyjnych, ogólnej metodologii projektowania, wszelkim typom dylatacji, obliczaniu i konstruowaniu tarcz oraz usztywnianiu ustrojów.

Do książki dołączona jest płyta CD, która zawiera: program Mombes pozwalający na uzyskiwanie charakterystyk przekrojów poprzecznych: stalowych, drewnianych i betonowych oraz przekrojów złożonych, oraz program ABC-Rama 3D do obliczania płaskich i przestrzennych konstrukcji prętowych w zakresie statyki i dynamiki, ograniczony do 33 węzłów.

