

ANNA ZASTAWNA-RUMIN*

WYZNACZANIE MASY BUDYNKU
NA POTRZEBY OBLICZEŃ OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO
WEDŁUG PN-EN 12831

DETERMINING THE MASS OF THE BUILDING
FOR SUPPORT HEAT LOAD CALCULATION ACCORDING
TO PN-EN 12831

Streszczenie

Artykuł porusza problem prawidłowego uwzględnienia pojemności cieplnej budynku w obliczeniach obciążenia cieplnego. Opisuje także sposoby wyznaczania masy budynku oraz wpływ błędnego jej wyznaczenia na wartość obciążenia cieplnego.

Słowa kluczowe: pojemność cieplna, obciążenie cieplne

Abstract

The paper describes problems with proper use of heat capacity in heat load calculation. The paper also describes calculation methods of heat capacity and its influence on heat load value.

Keywords: heat capacity, heat load

* Mgr inż. Anna Zastawna-Rumin, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Norma PN-EN 12831 *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego* [3] obowiązuje w Polsce już blisko dekadę. Jednak, pomimo długiego czasu obecności w polskiej praktyce projektowania wiele jej zapisów jest ciągle niezrozumiałych. Stosowanie normy w wielu przypadkach wymaga szeroko rozumianej interpretacji oraz zastępowania zapisów normowych wiedzą i doświadczeniem projektanta. O ile wiedza i doświadczenie projektanta stanowią wartość samą w sobie i są nieodzowne w procesie projektowania, o tyle w niektórych przypadkach można, a nawet należałoby ustalić ściśle reguły obliczeń normowych. Dobrym przykładem takich praktyk jest niemiecki załącznik do normy EN 12831 (*Heizsysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der NormHeizlast Nationaler Anhang NA, Berichtigung zu*) [1] uszczegółowiający zapisy normowe i dostosowujący normę do obowiązujących w Niemczech praktyk budowlanych. W Polsce niestety nie poczyniono takich kroków i ograniczono się jedynie do wiernego przetłumaczenia normy EN 12831. Jednym z nie do końca jasnych punktów tej normy jest kwestia obliczania masy budynku na potrzeby obliczeń obciążenia cieplnego.

2. Cel podjętego tematu

Celem podjętego tematu jest propozycja uszczegółowienia zapisu normowego. W artykule zawarty został algorytm postępowania w przypadku budynków o niejednorodnej budowie – niewpisujących się w klasyfikację zawartą w normie. Opiszano również wpływ błędnego jej wyznaczenia na wartość obciążenia cieplnego. Podjęto próbę wykorzystania niemieckich przepisów i adaptacji ich do polskich norm i aktów prawnych. Poruszono kwestię grubości przegrody, którą należy uwzględnić w obliczeniach nadwyżki mocy cieplnej i jaka ma wpływ na pojemność cieplną budynku.

3. Opis problemu

Norma PN-EN 12831 służy do wyznaczania projektowego obciążenia cieplnego pomieszczeń oraz całego budynku. Pojęcie „zapotrzebowania na ciepło”, które funkcjonowało w starej polskiej normie PN 94 B03406, zostało zastąpione pojęciem „całkowite projektowe obciążenie cieplne”. Na takie obciążenie (w odróżnieniu od zapotrzebowania na ciepło) składają się nie tylko straty ciepła przez przenikanie i na potrzeby podgrzewu powietrza wentylacyjnego w pomieszczeniach ogrzewanych w sposób ciągły, ale również na potrzeby podgrzewu po osłabieniu, czyli czasowym spadku temperatury. W punkcie 9.2.2 normy PN-EN 12831 podany jest wzór, dzięki któremu można wyznaczyć nadwyżkę mocy cieplnej wymaganą do skompensowania czasowego obniżenia temperatury. Wzór w normie zapisany został w następujący sposób

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]}$$

gdzie:

$\Phi_{RH,i}$ – nadwyżka mocy cieplnej wymagana do skompensowania skutków nieciągłego ogrzewania. Indeks i odnosi się do i -tego pomieszczenia,

- A – powierzchnia podłogi i -tego pomieszczenia wyrażona w m^2 ,
 f_{RH} – współczynnik dogrzewania wyznaczony na podstawie tabel NB.10a i NB.10b załącznika polskiego (tabele są identyczne jak w wersji oryginalnej normy D.10a i D.10b załącznika D). Wartość tego współczynnika wyznaczana jest w oparciu o charakterystykę pojemnościową budynku, spadek temperatury podczas osłabienia oraz przewidywany czas powrotu do temperatury projektowej.

Aby obliczyć nadwyżkę mocy cieplnej wymaganą do skompensowania skutków nieciągłego ogrzewania, niezbędne jest wyznaczenie masy budynku (czyli jednego z parametrów potrzebnych do skorzystania z tabel NB.10a i D.10b). Pozostałe dwa parametry potrzebne do odczytania współczynnika f_{RH} , czyli czas powrotu do temperatury projektowej i obniżenie temperatury (zakładamy, że obniżenie jest kontrolowane przez system ciepły), są wynikiem procesu projektowania systemów ciepłych i nie nastroczają większych problemów. Natomiast masa budynku musi zostać przez projektanta określona na podstawie budowy przegród budynku. Niestety w normie nie podano szczegółowego sposobu wyznaczania masy budynku, a jedynie przybliżone podejście do jej oceny.

Przyjmuje się, że budynki:

- o dużej masie to budynki o ciężkiej konstrukcji stropów ze ścianami z cegły pełnej lub betonu,
- o średniej masie to budynki o betonowej konstrukcji stropów i lekkich ścianach,
- o niskiej masie to budynki o konstrukcji szkieletowej z lekkimi ścianami.

Jednak taka klasyfikacja nastrocza bardzo wiele wątpliwości przy próbie opisu rzeczywistych konstrukcji budowlanych, będących często połączeniem ciężkich materiałów konstrukcyjnych z dużymi powierzchniami przeszkleń i lekkich materiałów opartych na konstrukcji szkieletowej. Dlatego też w niemieckim załączniku do normy [1] została wprowadzona specyficzna metoda wyznaczania masy budynku. W proponowanej metodzie masa budynku została związana z wewnętrzną pojemnością cieplną, odniesioną do kubatury ogrzewanej. Jako wartości odpowiadające wymienionym w normie przypadkom zróżnicowania masy budynku przyjęto:

- 15 Wh/m³K dla niskiej masy budynku,
- 35 Wh/m³K dla średniej masy budynku,
- 50 Wh/m³K dla dużej masy budynku.

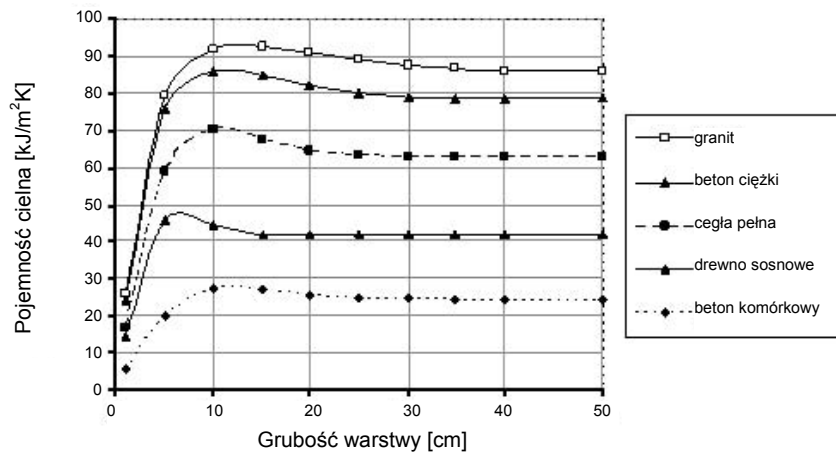
Przyjęcie pojemności cieplnej jako reprezentacji masy budynku jest bardzo trafne, ponieważ ogrzewanie po osłabieniu ma na celu głównie skompensowanie strat do wychłodzonych przegród. Moc potrzebna do pokrycia tych strat jest tym większa, im wewnętrzna pojemność cieplna budynku jest większa. Do obliczeń wewnętrznej pojemności cieplnej proponuje się wykorzystanie wzoru zawartego w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej [4] (punkt 3.2.1.1 *Współczynnik efektywności wykorzystania zysków ciepła*). Według powyższego rozporządzenia wewnętrzną pojemność cieplną budynku można obliczyć w następujący sposób

$$C_m = \sum \sum (c_{ij} \cdot \rho_{ij} \cdot d_{ij} \cdot A_i) \left[\frac{J}{K} \right]$$

gdzie:

- c_{ij} – ciepło właściwe materiału warstwy i -tej w elemencie j -tym [kJ/kgK],
- ρ_{ij} – gęstość materiału warstwy i -tej w elemencie j -tym [kg/m³],
- d_{ij} – grubość warstwy i -tej w elemencie j -tym, przy czym łączna grubość warstw nie może przekraczać 0,1 m,
- A_i – pole powierzchni j -tego elementu budynku [m²].

Wzór na wewnętrzną pojemność cieplną zawarty w rozporządzeniu służy do innych celów niż obliczenie wymaganej nadwyżki cieplnej – dlatego też analizowano kwestię grubości przegrody d_{ij} , jaką należy uwzględnić w obliczeniach. W tym celu skorzystano z wyników analiz zawartych w pracy habilitacyjnej [2]. Jak widać na poniższym wykresie (rys. 1), dla większości materiałów budowlanych przy krótkim okresie wahań maksimum pojemności cieplnej przypada dla 10 cm warstwy akumulującej. Potwierdzono więc słuszność wartości, która jest zalecana w rozporządzeniu i przyjęto $d_{ij} = 10$ cm.



Rys. 1. Połowa pojemność cieplna od strony wnętrza w zależności od rodzaju i grubości warstwy akumulującej, okres wahań 24 h

Fig. 1. Heat capacity per area measured from inside in dependency of kind and thickness accumulations layer, term fluctuations 24 h

Jako wartość kluczową do wyznaczenia masy budynku traktuje się współczynnik masy oznaczony w artykule jako C_w . Współczynnik ten proponuje się wyznaczyć z zależności analogicznej do zapisanej w załączniku do normy niemieckiej [1]

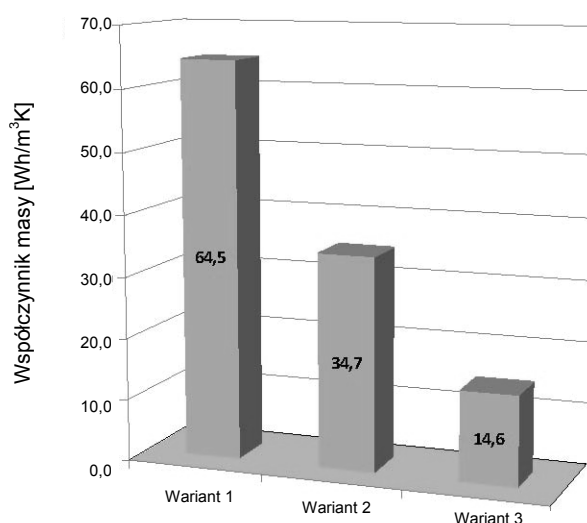
$$C_w = \frac{C_m}{V \cdot 3600} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]$$

gdzie:

- C_m – wewnętrzna pojemność cieplna strefy budynku lub całego budynku [J/K],
- V – kubatura części ogrzewanej [m³],
- C_w – należy potraktować jako kryterium klasyfikacji masy budynku.

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń masy budynku dwukondygnacyjnego o powierzchni całkowitej ok. 200 m² i kubaturze ok. 600 m³. Obliczenia prowadzone były wg proponowanego algorytmu i miały na celu potwierdzenie zbieżności z wytycznymi PN-EN 12831 [3]. Obliczenia wykonano dla trzech wariantów konstrukcji wpisujących się w klasyfikację zawartą w [3]:

- wariant 1 – ściany z cegły pełnej, stropy i podłogi żelbetowe,
- wariant 2 – stropy DZ, podłogi żelbetowe, ściany z betonu komórkowego,
- wariant 3 – budynek o konstrukcji szkieletowej drewnianej.



Rys. 2. Zależność współczynnika masy budynku C_w dla różnych wariantów konstrukcji

Fig. 2. Dependence of the mass ratio C_w for different variants of building construction

Z obliczeń i podanej analizy wynika, że budynek o konstrukcji najcięższej (wariant 1) uzyskał wartość współczynnika 64,5 Wh/m³K, co kwalifikowało go do budynków o dużej masie. W przypadku wariantu 2 obliczony wskaźnik wyniósł 34,7 Wh/m³K, pozwalając zakwalifikować budynek do budynków o średniej masie, natomiast w przypadku budynku o konstrukcji drewnianej szkieletowej wskaźnik wyniósł 14,6 Wh/m³K, co pozwoliło uznać go za budynek o niskiej masie. Potwierdza to zbieżność klasyfikacji wg normy PN-EN 12831 [3] z propozycją obliczeń opartych na załączniku do niemieckiej normy i rozporządzeniu [2].

O ile dla budynków wpisujących się dokładnie pod względem materiałowo-konstrukcyjnym w klasyfikację zawartą w polskiej normie dość łatwo i szybko można określić masę budynku, o tyle dla konstrukcji niejednorodnych materiałowo jest to obarczone dużą dozą niepewności. Takim przykładem jest budynek biurowy jednokondygnacyjny o danych konstrukcyjno-materiałowych przedstawionych poniżej. Budynek jest użytkowany przez ok. 8 godzin dziennie. Tak więc przez kilkanaście godzin możliwe jest, a nawet wskazane w aspekcie ekonomicznym, obniżenie temperatury.

Dane ogólne obiektu:

Wymiary w rzucie: 20 m × 15 m.

Powierzchnia całkowita: 300 m².

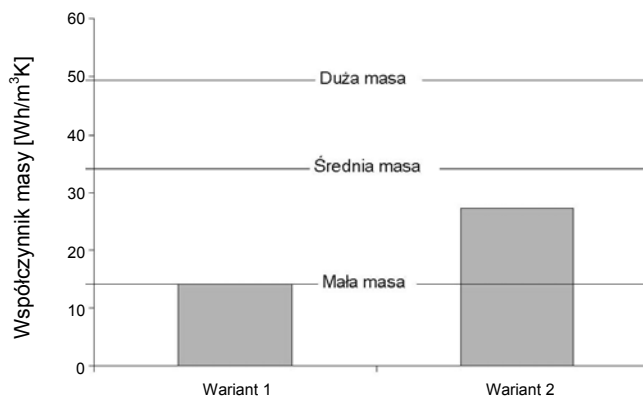
Wysokość: 3,5 m.

Kubatura: 1050 m³.

Informacje dotyczące konstrukcji obiektu:

1. Ściany zewnętrzne podłużne o wymiarach 20 m × 3,5 m:
 - murowana z cegły pełnej grubości 25 cm,
 - całkowicie przeszklona (konstrukcja nośna – dwuteowniki stalowe).
2. Ściany zewnętrzne osłonowe o wymiarach 15m x 3,5 m z bloczków typu PGS o grubości 15 cm.
3. Ściany wewnętrzne: 3 ściany o wymiarach 15 × 3,5 m z płyt kartonowo-gipsowych wypełnionych wełną o grubości 10 cm w wariantie 1 i w wariantie 2 wykonanych z cegły pełnej i tynku o łącznej grubości 15 cm.
4. Pokrycie dachu: płyta warstwowa z wypełnieniem z wełny mineralnej o grubości 15 cm.
5. Podłoga na gruncie.

Przedstawiony budynek zbudowany jest z różnych materiałów, które różnią się znacznie pod względem parametrów wpływających na pojemność cieplną. Wskazówki normowe dotyczą jedynie wybranych materiałów konstrukcyjnych i przede wszystkim budynków jednorodnych pod względem materiałowym. Tak więc projektant opierając swoje obliczenia wyłącznie na normie PN-EN 12831, mógłby wybrać właściwie każdy z trzech wariantów masy budynku. Sugerując się dużą powierzchnią ściany z cegły pełnej o grubości aż 25 cm, mógłby zakwalifikować powyższy budynek do budynków o dużej masie. Z drugiej strony mógłby zasugerować się powierzchnią przeszklenia oraz szkieletowym charakterem konstrukcji, zaliczając budynek do budynków lekkich. Natomiast większość projektantów, nie wiedząc, jaką decyzję podjąć, wybrałoby wariant pośredni, czyli budynek o masie średniej. Tymczasem obliczenia mogą znacząco pomóc w wyznaczeniu odpowiedniego wariantu – prezentowany budynek na podstawie proponowanego algorytmu został zakwalifikowany do budynków o masie niskiej (rys. 2, wariant 1).



Rys. 3. Zależność współczynnika masy budynku C_w dla różnych wariantów konstrukcji ścian wewnętrznych w budynku referencyjnym

Fig. 3. Dependence of mass ratio C_w for different variants of the interior walls in the reference building

Błąd w przyjmowaniu wartości masy budynku może być błędem istotnym. W zaprezentowanym budynku na potrzeby przykładu zmieniono wyłącznie konstrukcję ścian wewnętrznych (wariant 1 – płyty gipsowo-kartonowa wypełnione wełną, wariant 2 – ściany z cegły pełnej). Pomimo stosunkowo niewielkiej zmiany budynek przestał mieć charakter konstrukcji o niskiej masie, a uzyskał status konstrukcji o masie średniej. Zostało to przedstawione na rys. 2. Zmiana konstrukcji ścian wewnętrznych spowodowała zwiększenie wartości obciążenia cieplnego o 2,1 kW. Pokazuje to problem prawidłowej oceny masy budynku opartej jedynie na normie [3] i intuicji projektanta.

4. Wnioski

Artykuł porusza istotny problem prawidłowego uwzględnienia pojemności cieplnej budynku w obliczeniach obciążenia cieplnego. Błąd wartości współczynnika f_{RH} w zależności od przyjętej masy budynku jest błędem istotnym.

Niewłaściwe określenie masy budynku może w skrajnych przypadkach skutkować różnicą wartości współczynnika f_{RH} wynoszącą 13 W/m^2 (dla budynku o masie niskiej $f_{RH} = 9 \text{ W/m}^2$, natomiast o masie dużej $f_{RH} = 22 \text{ W/m}^2$). Dla rozpatrywanego przypadku daje to błąd nadwyżki mocy cieplnej wymaganej do skompensowania skutków nieciągłego ogrzewania rzędu 4 kW, czyli ok. 10% całkowitego obciążenia cieplnego budynku. W praktyce oznacza to konieczność powiększenia powierzchni zaprojektowanych grzejników oraz średnic instalacji grzewczej bądź doprojektowanie dodatkowych grzejników. Warto również zauważyć, że wartość błędu, jaki możemy, popełnić może przewyższać wartość właściwej nadwyżki cieplnej wymaganej do skompensowania skutków nieciągłego ogrzewania.

Tymczasem zaproponowane obliczenia mogą znacząco pomóc w odpowiedniej klasyfikacji budynku, a tym samym zapobiec błędnemu wyznaczeniu obciążenia cieplnego. Dzięki konkretnym wartościom współczynnika C_w (a nie jedynie intuicyjnemu przyporządkowaniu do danej grupy) możliwa jest interpolacja wartości współczynnika dogrzewania f_{RH} niezbędnego do wyznaczenia nadwyżki mocy cieplnej $\Phi_{RH,i}$. Warto również zauważyć, że wskazana metoda nie wymaga dodatkowych obliczeń dla nowo projektowanych budynków, ponieważ wartość wewnętrznej pojemności cieplnej C_m jest i tak konieczna do określania projektowanej charakterystyki cieplnej. Metoda w tym wypadku korzysta więc z wartości, która powinna zostać przez projektanta wcześniej wyznaczona.

Literatura

- [1] *Heizsysteme in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Nationaler Anhang NA*, Berichtigung zu DIN EN 12831 Beiblatt 1:200807.
- [2] Kisilewicz T., *Wpływ izolacyjnych, dynamicznych i spektralnych własności przegród na bilans cieplny budynków energooszczędnych*, Monografia 364, Kraków 2008.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego

lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzenia i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.

- [4] PN-EN 12831:2006 *Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*