

Krzysztof Kasperkiewicz*

OCENA MOŻLIWOŚCI HARMONIZACJI PROCEDUR OBLICZEŃ CIEPLNYCH BUDYNKU

Obliczenia cieplne budynku dotyczą zagadnień przepływu ciepła w jego strukturze i przestrzeni. W ostatnich latach ich zakres uległ rozszerzeniu o obliczenia zapotrzebowania na energię zużywaną w budynku w związku z wdrożeniem w Polsce wymagań wynikających z dyrektywy 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. W artykule przeprowadzono analizę możliwości harmonizacji procedur obliczeniowych stosowanych w obliczeniach zapotrzebowania na energię i obciążenia cieplnego budynków w celu uproszczenia i weryfikacji tych obliczeń.

1. Wprowadzenie

Obliczenia cieplne budynku dotyczą zagadnień przepływu ciepła w jego strukturze i przestrzeni. Prawie do końca ubiegłego wieku obliczenia te wykonywane były w celu projektowania instalacji ogrzewczych w budynku.

W ostatnich latach zakres obliczeń cieplnych uległ rozszerzeniu, ponieważ do przepisów budowlanych wprowadzone zostały wymagania energetyczne określające maksymalny poziom rocznego zapotrzebowania na energię zużywaną w budynku. Początkowo wymagania te dotyczyły zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i zamieszkania zbiorowego [1]. Od 2009 r., w związku z wdrożeniem w Polsce wymagań wynikających z dyrektywy 2002/91/WE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [2]. Zakres oceny energetycznej budynków uległ znacznemu rozszerzeniu [3], jednak obliczenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania stanowią nadal istotną część stosowanej obecnie procedury tej oceny.

W ramach projektu instalacji ogrzewczej oraz oceny zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynku wykonywane są obliczenia strat ciepła z przestrzeni ogrzewanej do środowiska zewnętrznego. Do roku 2009 procedury obliczeniowe stosowane w obydwu przypadkach znacznie się różniły. Przyczyną tego był niespójny stan normalizacji w Polsce, spowodowany rozpoczęciem w tym okresie jej harmonizacji z normalizacją europejską. Straty ciepła na potrzeby wymiarowania instalacji ogrzewczej obliczane były według metod krajowych podanych w PN-B-03406:1994 [4], a na potrzeby sezonowego zapo-

* dr inż. – Zakład Fizyki Ciepłej, Instalacji Sanitarnych i Środowiska ITB

trzebowania na ciepło do ogrzewania według PN-B-02025:2001 [5], która mimo tego, że była normą krajową, bazowała na metodach obliczeń cieplnych stosowanych w normach europejskich, nie włączonych jeszcze wówczas do zbioru Polskich Norm. Skutkiem tego, obliczenia strat ciepła w projekcie instalacji ogrzewczej i w ocenie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania wykonywane były niezależnie, a jedyny wspólny element obydwu procedur stanowiły obliczenia współczynnika przenikania ciepła przez budynek bez uwzględniania mostków cieplnych.

Wraz z wprowadzeniem zmian w przepisach budowlanych, obowiązujących od 2009 r., normy krajowe [4] i [5] zostały wycofane, a sposoby obliczania strat ciepła stosowane na potrzeby projektowania instalacji ogrzewczych i w celu określenia zapotrzebowania budynku na nieodnawialną energię pierwotną oparte zostały na normach europejskich, głównie na PN-EN 12831:2006 [6], PN-EN 6946:2008 [7], PN-EN ISO 13790:2009 [8] i PN-EN ISO 13789:2008 [9]. W takiej sytuacji zasadne staje się przeprowadzenie analizy stosowanych obecnie w obydwu przypadkach procedur obliczania strat ciepła w celu określenia wspólnych elementów w nich występujących. Identyfikacja takich elementów pozwoliłaby na integrację obliczeń cieplnych budynków, dzięki której byłoby możliwe zmniejszenie pracochłonności tych obliczeń oraz weryfikacja poprawności ich wykonywania.

Należy jednak zaznaczyć, że pojęcie „strata ciepła” stosowane w normach i polskich przepisach budowlanych nie jest jednoznaczne.

Zgodnie z sensem fizycznym „strata ciepła” przestrzeni ogrzewanej jest to ilość ciepła przenoszona różnymi drogami z tej przestrzeni do środowiska zewnętrznego w określonym przedziale czasowym. W praktyce straty ciepła oblicza się w długich okresach, na przykład w skali miesiąca lub całego roku. Z tego względu straty ciepła określa się: GJ/miesiąc (rok) lub kWh/miesiąc (rok).

W obliczeniach wykonywanych natomiast na potrzeby projektowania instalacji ogrzewczych stratami ciepła przyjęto nazywać „straty mocy cieplnej” ogrzewanych pomieszczeń przez przenikanie lub wentylację. Strata mocy cieplnej jest to strumień ciepła, określanej w W, jeśli dotyczy ogrzewanego pomieszczenia, lub czasami w kW, jeśli odnosi się do całego ogrzewanego budynku. Ze względu na to, że straty mocy cieplnej nazywane są stratami ciepła od czasu, kiedy w budynkach zaczęto stosować instalacje centralnego ogrzewania, nazwa ta głęboko zakorzeniła się w świadomości projektantów tych instalacji, a w aktualnej normie europejskiej dotyczącej określenia zapotrzebowania na moc cieplną do ogrzewania PN-EN 12831:2006 [6] jest nadal używana. Aby wyeliminować tę niejednoznaczność terminologiczną na określenie ilości ciepła przepływającego różnymi drogami z budynku do jego otoczenia, w normach [8] i [9] wprowadzony został ostatnio nowy termin: „całkowite przenoszenie ciepła”.

W Polsce obserwuje się tendencję odwrotną: termin „całkowite przenoszenie ciepła” nie został dotychczas wprowadzony do polskich przepisów budowlanych, w których nadal ilość ciepła przenoszona z przestrzeni ogrzewanej do środowiska zewnętrznego określana jest jako „straty ciepła” [3], natomiast zamiast „straty ciepła” według definicji podanej w normie [6] coraz częściej używany jest termin „strata mocy cieplnej”.

W związku z tym w artykule stosowane będą określenia: „straty ciepła” i „straty mocy cieplnej”.

2. Zasady określania strat mocy cieplnej i strat ciepła

W metodzie obliczeń strat mocy cieplnej podanej w normie [6] wprowadzono pojęcie przestrzeni ogrzewanej, będącej pomieszczeniem lub zespołem pomieszczeń ogrzewanych do takiej samej temperatury wewnętrznej θ_{int} . Całkowite straty mocy cieplnej z ogrzewanej przestrzeni Φ_j równe są strumieniowi ciepła przepływającego z tej przestrzeni do otoczenia budynku na drodze przenikania $\Phi_{T,i}$ i z powietrzem wentylacyjnym $\Phi_{V,i}$:

$$\Phi_j = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}, \text{ W} \quad (1)$$

Obliczenia tych strumieni ciepła wykonuje się przy założeniu, że straty mocy cieplnej przestrzeni ogrzewanej odnoszone są zawsze do różnicy temperatury środowisk wewnętrznych i zewnętrznego: $\theta_{int} - \theta_e$, również w przypadkach przepływu ciepła do przyległych pomieszczeń nieogrzewanych, ogrzewanych do innej temperatury wewnętrznej lub przez grunt. Wielkość składników strat mocy cieplnej w ogólnym przypadku określana jest w warunkach projektowych, przyjmowanych do określania mocy cieplnej grzejników i źródła ciepła w instalacji ogrzewczej:

$$\Phi_{T,i} = H_{T,i} (\theta_{int} - \theta_e), \text{ W} \quad (2)$$

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} (\Phi_{int} - \theta_e), \text{ W} \quad (3)$$

w których: $H_{T,i}$ – łączny współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przez przegrody ograniczające przestrzeń ogrzewaną, W/K,

$H_{V,i}$ – współczynnik strat mocy cieplnej na wentylację, W/K,

θ_{int} – projektowa temperatura wewnętrzna dla określonej przestrzeni ogrzewanej budynku – według rozporządzenia w sprawie warunków technicznych [10], °C,

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna według PN-82/B-02403 [11], °C.

Całkowite straty ciepła przestrzeni ogrzewanej Q oblicza się, sumując ilości ciepła przepływającego z ogrzewanych pomieszczeń do otoczenia budynku na drodze przenikania Q_{tr} i wymiany powietrza Q_{ve} :

$$Q = Q_{tr} + Q_{ve}, \text{ kWh/okres} \quad (4)$$

Zgodnie z metodą podaną w rozporządzeniu [3] obydwa składniki strat ciepła oblicza się, mnożąc średnie straty mocy cieplnej strefy ogrzewanej w określonym okresie przez jego długość:

$$Q_{tr} = H_{tr} (\theta_{int,H} - \theta_e) t_M 10^{-3}, \text{ kWh/okres} \quad (5)$$

$$Q_{ve} = H_{ve} (\theta_{int,H} - \theta_e) t_M 10^{-3}, \text{ Wh/okres} \quad (6)$$

w których: H_{tr} – współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przez przegrody ograniczające przestrzeń ogrzewaną, W/K,

H_{ve} – współczynnik wentylacyjnej straty mocy cieplnej, W/K,

$\theta_{int,H}$ – temperatura wewnętrzna w przestrzeni ogrzewanej budynku w okresie ogrzewania, °C,

- θ_e – średnia temperatura zewnętrzna w okresie, w którym obliczane są straty ciepła, °C,
 t_M – liczba godzin w ww. okresie.

Należy zaznaczyć, że w normach europejskich [6], [8] i [9] w sposób niejednoznaczny stosowany jest symbol θ_e na oznaczenie projektowej i średniej wartości temperatury zewnętrznej, co może prowadzić do pomyłek.

Obliczenia strat ciepła wykonywane są w ramach procedury określania charakterystyki energetycznej budynków, lokali mieszkalnych i części budynków stanowiących samodzielną całość techniczno-użytkową, zgodnie z którą oblicza się zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania budynków w kolejnych miesiącach sezonu ogrzewczego od stycznia do maja i od września do grudnia [3].

Z porównania zależności (2) i (3) oraz (5) i (6) wynika, że do obliczenia strat mocy cieplnej według normy [6] i do obliczenia strat ciepła zgodnie z metodologią podaną w rozporządzeniu [3] konieczne jest określenie współczynników strat mocy cieplnej przez przenikanie i na wentylację. Jednak współczynniki te stosowane w obydwu procedurach obliczeniowych odnoszą się do różnych części budynku i mają inne wartości. Ze względu na to, że obliczenia wartości współczynników są najtrudniejszą i najbardziej pracochłonną częścią procedur obliczeń cieplnych budynku, celowe jest przeanalizowanie możliwości integracji obliczeń strat mocy cieplnej z obliczeniami strat ciepła polegającej na wykorzystaniu współczynników strat ciepła obliczonych w ramach jednej procedury obliczeniowej – w drugiej procedurze. Pozwoliłoby to na uproszczenie i skrócenie czasu trwania obliczeń cieplnych budynku lub umożliwiłoby sprawdzenie wyników tych obliczeń.

Kompleksowa integracja obliczeń strat mocy cieplnej z obliczeniami strat ciepła, polegająca na wykorzystywaniu współczynników obliczonych w ramach jednej procedury w drugiej procedurze, byłaby możliwa w przypadku, gdyby udało się ustalić zależności: $H_{tr} = f_1(H_T)$ i $H_{ve} = f_2(H_V)$, a częściowa, gdyby znaleziona została przynajmniej jedna z tych zależności.

3. Obliczenia współczynnika strat mocy cieplnej przez przenikanie

Łączny współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie H_{tr} określa izolacyjność cieplną całej obudowy przestrzeni ogrzewanej, która zależy przede wszystkim od rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych oraz powierzchni poszczególnych elementów obudowy tej przestrzeni. W ogólnym przypadku wartość współczynnika strat mocy cieplnej obliczana jest ze wzoru

$$H_{tr} = H_D + H_g + H_U + H_A, \text{ W/K} \quad (7)$$

gdzie: H_D – współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie bezpośrednio przez obudowę budynku, W/K,

H_g – współczynnik jw. – przez grunt, W/K,

H_U – współczynnik jw. – przez przestrzenie nieogrzewane, W/K,

H_A – współczynnik jw. – do przyległej przestrzeni ogrzewanej do innej temperatury wewnętrznej, W/K.

Podstawowe metody obliczania współczynników strat ciepła przez przenikanie podane zostały w normie [9]. W obliczeniach tych uwzględniany jest wpływ liniowych i punktowych mostków cieplnych, intensywność wentylacji w przyległych do strefy ogrzewanej przestrzeniach nieogrzewanych, a obliczenia strat ciepła przez grunt wykonywane są dokładną metodą miesięczną według PN-EN ISO 13370:2008 [12]. W obliczeniach wykonywanych w celu konkretnych zastosowań, tzn. aby określić charakterystykę energetyczną budynku lub straty mocy cieplnej ogrzewanych pomieszczeń, dopuszcza się uproszczenia polegające na stosowaniu wartości orientacyjnych, na przykład stabelaryzowanych wartości współczynnika redukcji temperatury lub ryczałtowych dodatków uwzględniających wpływ mostków cieplnych.

Uproszczenia stosowane w obydwu rozpatrywanych procedurach obliczeniowych jednak się różnią. Typowym tego przykładem są dodatki do współczynnika przenikania ciepła U stosowane w celu uwzględnienia wpływu liniowych mostków cieplnych. W normie [6], stosowanej do projektowania instalacji ogrzewczych, dopuszcza się dwa sposoby uwzględniania tych mostków. W metodzie podstawowej obliczania strat mocy cieplnej dopuszczone zostało stosowanie dodatków do współczynnika przenikania ciepła U – w przypadku przegród zewnętrznych z otworami okiennymi lub drzwiowymi, albo elementami naruszającymi ciągłość warstwy izolacji cieplnej. Dodatki ΔU_{th} osiągają wartości do $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. W metodzie uproszczonej obliczania strat mocy cieplnej stosuje się współczynniki temperaturowe. W przypadku przegrody zewnętrznej z nieocieplonymi mostkami cieplnymi współczynnik ten jest równy 1,4, co skutkuje przyjęciem w obliczeniach wartości współczynnika U przegrody zwiększonej o 40%.

W obliczeniach wykonywanych w celu określenia zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania według normy [8], dodatki do współczynnika przenikania ciepła przegród nieprzezroczystych należy stosować we wszystkich przypadkach, gdy średnia wartość tego współczynnika $U_{op,mn} < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Dla przegród spełniających warunek $0,4 \leq U_{op,mn} < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ wartość dodatku wynosi $\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, a dla przegród spełniających warunek $U_{op,mn} < 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ należy przyjmować $\Delta U_{tb} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Możliwość stosowania różnych sposobów uproszczeń w obliczeniach współczynników strat mocy cieplnej przez przenikanie w procedurach według norm [6] i [8] stanowi przeszkodę w integracji tych obliczeń.

W Polsce obliczenia współczynników strat ciepła przez przenikanie w procedurach określenia charakterystyki energetycznej budynku i strat mocy cieplnej wykonywane są według tych samych zasad, przyjętych w PN-EN 12831:2006 [6]. Umożliwia to skrócenie i uproszczenie obliczeń cieplnych, ponieważ współczynniki przenikania ciepła U i liniowe współczynniki przenikania ciepła Ψ , obliczone w celu określenia charakterystyki energetycznej budynku wymaganej w projekcie budowlanym, mogą być później wykorzystane w projekcie instalacji ogrzewczej. W obliczeniach charakterystyki energetycznej budynku cała jego przestrzeń ogrzewana traktowana jest jako jedna strefa, w związku z czym przepływ do sąsiednich stref ogrzewanych nie następuje, a współczynnik strat

mocy cieplnej przez przenikanie, obliczany w celu określenia charakterystyki energetycznej, jest równy

$$H_{tr} = \sum H_{T,ie} + \sum H_{T,iue} + \sum H_{T,ig}, \text{ W/K} \quad (8)$$

gdzie: H_{tr} – współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie przestrzeni ogrzewanej budynku (w obliczeniach charakterystyki energetycznej wszystkie ogrzewane pomieszczenia traktowane są jako jedna strefa ogrzewana), W/K,

$H_{T,ie}$, $H_{T,iue}$, $H_{T,ig}$ – współczynniki strat ciepła przez przenikanie, odpowiednio: przez obudowę budynku, przestrzeń nieogrzewaną, grunt – określone dla wszystkich ogrzewanych pomieszczeń w budynku, W/K.

Wykorzystując zależność (8), można zweryfikować prawdziwość wykonania obliczeń współczynników strat mocy cieplnej przez przenikanie, które są najtrudniejszą i najbardziej pracochłonną częścią obliczeń cieplnych budynku.

Należy podkreślić, że suma współczynników strat mocy cieplnej ogrzewanych pomieszczeń obliczanych w ramach projektu instalacji ogrzewczej ze wzoru (7) nie jest równa łącznemu współczynnikowi strat ciepła przez przenikanie budynku traktowanego jako jedna strefa ogrzewana:

$$H_{tr} \neq \sum H_T, \text{ W/K} \quad (9)$$

ponieważ dla przyległych pomieszczeń ogrzewanych do różnej temperatury wewnętrznej suma współczynników strat ciepła nie jest równa zero, gdyż mianowniki we współczynnikach redukcyjnych temperatury są różne, a zatem

$$H_{T,ij} + H_{T,ji} = A_k U_k \left(\frac{\theta_{int,i} - \theta_{int,j}}{\theta_{int,i} - \theta_e} + \frac{\theta_{int,j} - \theta_{int,i}}{\theta_{int,j} - \theta_e} \right) \neq 0, \text{ W/K} \quad (10)$$

4. Obliczenia współczynników strat mocy cieplnej przez wentylację

Współczynnik strat mocy cieplnej przez wentylację oblicza się z zależności

$$H_{ve} = \dot{V}_{ve} \rho_a c_a, \text{ W/K} \quad (11)$$

gdzie: \dot{V}_{ve} – strumień powietrza wentylacyjnego w przestrzeni ogrzewanej, m³/s,
 ρ_a – gęstość powietrza odpowiadająca $\theta_{int,i}$, kg/m³,
 c_a – ciepło właściwe powietrza odpowiadające $\theta_{int,i}$, kJ/kg·K,

Wielkości ρ_a i c_a przyjmowane są w obliczeniach jako stałe, w związku z tym wartość współczynnika H_{ve} zależy od strumienia powietrza wentylacyjnego \dot{V}_{ve} .

Metoda obliczania współczynnika H_{ve} podana została w normie [9]. Rozróżnia się w niej dwa podstawowe przypadki: budynek z wentylacją naturalną i mechaniczną.

W pierwszym przypadku porównywane są dwie wielkości strumienia powietrza wentylacyjnego: wymagana ze względów higienicznych – \dot{V}_{\min} i dopływająca do budynku przez nieszczelności w obudowie na skutek wyporu termicznego i działania wiatru – \dot{V}_d :

$$\dot{V} = \max(\dot{V}_{\min}; \dot{V}_d), \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (12)$$

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w budynkach mieszkalnych minimalna krotność wymiany powietrza wynosi $0,3 \text{ h}^{-1}$ i jest w każdym przypadku niższa od krotności wymiany powietrza na skutek wyporu termicznego i działania wiatru, która w zależności od klasy szczelności obudowy budynku i jego osłonięcia zawiera się w przedziale od $0,5$ do $1,5 \text{ h}^{-1}$.

W drugim przypadku strumień powietrza wentylacyjnego obliczany jest z zależności:

$$\dot{V} = \dot{V}_f + \dot{V}_x \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (13)$$

gdzie: \dot{V}_f – średni strumień powietrza zapewniany przez instalację wentylacyjną w budynku, m^3/s ,

\dot{V}_x – dodatkowy strumień powietrza wentylacyjnego spowodowany działaniem wiatru, m^3/s .

Wartość dodatkowego strumienia powietrza zależy od:

- szczelności obudowy budynku, której wskaźnikiem jest liczba wymian powietrza przy różnicy ciśnienia między wnętrzem budynku i otoczeniem równej 50 Pa , oznaczana symbolem n_{50} ,

- różnicy strumieni powietrza nawiewanego i wywiewanego,
- osłonięcia budynku.

W metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku [3] współczynnik strat mocy cieplnej na wentylację we wszystkich przypadkach, również w przypadku budynków z wentylacją naturalną, należy obliczać w sposób przewidziany w normie [9] dla budynków wyposażonych w wentylację mechaniczną, ze wzoru:

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum_k (b_{ve,k} \dot{V}_{ve,k,mn}), \quad \text{W/K} \quad (14)$$

gdzie: $\dot{V}_{ve,k,mn}$ – uśredniony w czasie strumień powietrza, m^3/s ,

$b_{ve,k}$ – współczynnik korekcyjny dla strumienia k ,

k – identyfikator strumienia powietrza.

Łączny strumień powietrza wentylacyjnego w budynku jest sumą podstawowego strumienia powietrza wymaganego ze względów higienicznych $\dot{V}_{ve,1,mn}$ oraz dodatkowego strumienia powietrza infiltrującego przez nieszczelności $\dot{V}_{ve,2,mn}$, spowodowanego działaniem wiatru i wyporu termicznego. W przypadku najprostszyc technicznie rozwiązań systemu wentylacji, tzn. wentylacji naturalnej, mechanicznej wywiewnej i mechanicznej nawiewnej, wartości współczynników korekcyjnych do strumieni powietrza $\dot{V}_{ve,1,mn}$ i $\dot{V}_{ve,2,mn}$ są równe 1, natomiast przy zastosowaniu odzysku ciepła lub/i wymiennika gruntowego współczynnik $b_{ve,1} = 1 - \eta_{oc}$, gdzie η_{oc} oznacza skuteczność odzysku ciepła

z powietrza wywiewanego, w przypadku wymiennika gruntowego powiększoną o skuteczność pozyskiwania ciepła zakumulowanego w gruncie.

Wielkość podstawowego strumienia powietrza wentylacyjnego zapewnianego przez instalację wentylacyjną, oznaczanego w metodologii symbolem $\dot{V}_{ve,1,mn}$ określa się jako sumę strumieni powietrza wentylacyjnego dla poszczególnych pomieszczeń lub zespołów pomieszczeń (np. mieszkań) określoną na podstawie wymagań podanych w normie krajowej PN-63/B-03430/AZ3:2000 [13], z jednym wyjątkiem dotyczącym kawalerek, dla których niezależnie od rodzaju zastosowanej w nich kuchni przyjęto, że podstawowy strumień powietrza wentylacyjnego wynosi 80 m³/h.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że stosując tę metodę, otrzymuje się duże wartości strumienia powietrza wentylacyjnego, co łatwo wykazać na przykładzie typowego mieszkania z oddzielnym WC, wyposażonego w kuchnię gazową, dla którego podstawowy strumień powietrza wentylacyjnego $\dot{V}_{ve,1,mn}$, określony zgodnie z zasadami podanymi w normie [13], wynosi 150 m³/h. Przy założeniu, że powierzchnia przeciętnego mieszkania ma 57,7 m², a jego wysokość 2,6 m, jego kubatura wynosi 150 m³. Uwzględniając dodatkowy strumień powietrza infiltrującego przez nieszczelności, który – obliczony zgodnie z metodologią przeznaczoną dla budynku z wentylacją naturalną, nie poddanego próbie szczelności – jest równy 30 m³/h, otrzymuje się całkowity strumień powietrza wentylacyjnego wynoszący 180 m³/h, przy którym krotność wymiany powietrza w mieszkaniu osiąga 1,2 h⁻¹. Obliczona wartość jest ponad cztery razy większa od orientacyjnej krotności wymiany powietrza w budynkach mieszkalnych podanej w PN-EN ISO 13790:2009 [8], określanej na poziomie 0,27 h⁻¹.

Dodatkowy strumień powietrza oblicza się według zależności podanej w normie [9]:

$$\dot{V}_{ve,2,min} = \frac{V n_{50} e}{\left[1 + \frac{f}{e} \left(\frac{\dot{V}_{su} - \dot{V}_{ex}}{V n_{50}} \right)^2 \right]} \cdot 3600, \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (15)$$

gdzie: V – wentylowana kubatura budynku, m³,
 n_{50} – krotność wymiany powietrza w tej kubaturze przy różnicy ciśnienia między wnętrzem a otoczeniem budynku, h⁻¹,
 \dot{V}_{su} – strumień nawiewanego powietrza, m³/s,
 \dot{V}_{ex} – strumień usuwanego powietrza, m³/s,
 e, f – współczynniki osłonięcia budynku.

Wartość tego strumienia zależy od szczelności obudowy budynku i jego osłonięcia. Największe jego wartości są osiągane przy zrównoważonej wentylacji $\dot{V}_{su} = \dot{V}_{ex}$. W takich warunkach przyjmuje się, że dodatkowy strumień powietrza wentylacyjnego $\dot{V}_{ve,2,mn}$ zapewnia krotność wymiany powietrza w budynku na poziomie 0,2 h⁻¹.

Podobnie jak w przypadku współczynnika strat mocy cieplnej przez przenikanie, sposób obliczania współczynnika H_V podany w normie [6] nieco się różni od opisanego w normie [9], mimo że zasada obliczeń strumieni powietrza wentylacyjnego w obydwu przypadkach jest taka sama. Różnice te w znacznej mierze wynikają z faktu, że metoda podana w normie [6] dotyczy poszczególnych ogrzewanych pomieszczeń, a zatem uwzględnia się w niej

dotatkowe uwarunkowania, które nie były brane pod uwagę w przypadku oceny całego budynku, takie jak na przykład wysokość pomieszczenia nad poziomem terenu.

W normie [6] określone zostały dwie procedury obliczeniowe strumienia powietrza wentylacyjnego w zależności od sposobu wentylacji budynku – budynki wyposażone w instalacje wentylacji mechanicznej traktowane są jako budynki z instalacją wentylacyjną, a pozostałe, w tym również wyposażone w instalacje wentylacji grawitacyjnej kanałowej, zaliczono do kategorii budynków bez instalacji wentylacyjnej.

W przypadku budynków bez instalacji wentylacyjnej strumień powietrza wentylacyjnego dla każdego ogrzewanego pomieszczenia określa się z zależności (12), przy czym minimalne ze względów higienicznych krotności wymiany powietrza zostały przyjęte na znacznie wyższym poziomie – od $0,5 \text{ h}^{-1}$ dla pomieszczeń mieszkalnych, do $2,0 \text{ h}^{-1}$ dla sali konferencyjnych i klas lekcyjnych.

Strumień powietrza infiltrującego przez obudowę każdego ogrzewanego pomieszczenia, o kubaturze V_i , określany jest z zależności

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 V_i n_{50} e_i \varepsilon_i, \text{ m}^3/\text{h} \quad (16)$$

gdzie: n_{50} – krotność wymiany powietrza na godzinę (h^{-1}), powstała przy różnicy ciśnienia 50 Pa między wnętrzem a otoczeniem budynku, z uwzględnieniem wpływu nawiewników powietrza, h^{-1} ,

e_i – współczynnik osłonięcia; dla pomieszczeń bez odsoniętych otworów $e_i = 0$,

ε_i – współczynnik korekcyjny ze względu na wysokość, który uwzględnia wzrost prędkości wiatru w zależności od wysokości usytuowania ogrzewanego pomieszczenia ponad poziomem terenu.

Wartości strumienia powietrza obliczane z zależności (12) dla budynków osłoniętych, charakteryzujących się dużą szczelnością obudowy $n_{50} < 4$, są mniejsze od strumieni \dot{V}_d obliczanych według metody podanej w normie [9]. Zatem w obliczeniach wykonywanych według normy [6] w przeważającej liczbie przypadków do obliczeń strat mocy cieplnej przez wentylację przyjmowane są wartości strumienia powietrza określone na podstawie krotności wymiany powietrza wymaganej ze względów higienicznych.

Strumień powietrza wentylacyjnego dla ogrzewanych pomieszczeń w budynkach z instalacją wentylacyjną określany jest z zależności

$$\dot{V} = \dot{V}_{\text{inf},i} + \dot{V}_{\text{su},i} f_{V,i} + \dot{V}_{\text{mech,inf},i}, \text{ m}^3/\text{h} \quad (17)$$

gdzie: $\dot{V}_{\text{inf},i}$ – strumień powietrza infiltrującego do przestrzeni ogrzewanej (i), określony ze wzoru (14), m^3/h ,

$\dot{V}_{\text{su},i}$ – strumień powietrza dostarczanego do przestrzeni ogrzewanej (i), określony w projekcie budynku, m^3/h ,

$\dot{V}_{\text{mech,inf},i}$ – nadwyżka usuwanego powietrza z przestrzeni ogrzewanej (i), m^3/h ,

$f_{V,i}$ – współczynnik redukcji temperatury, określany jako

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{su},i}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (18)$$

$\theta_{\text{su},i}$ – temperatura powietrza dostarczanego do przestrzeni ogrzewanej (i), $^{\circ}\text{C}$.

Konieczność wprowadzenia współczynnika redukcji temperatury stosowanego do strumienia powietrza dostarczanego do przestrzeni ogrzewanej przez instalację nawiewną lub z przestrzeni przyległych wynika z faktu, że powietrze to jest zwykle wstępnie podgrzane, a zatem w rozpatrywanej przestrzeni ogrzewanej następuje tylko dogrzanie powietrza wentylacyjnego. Jeżeli zaś temperatura powietrza doprowadzonego jest wyższa od temperatury w przestrzeni ogrzewanej (np. przypadek ogrzewania powietrznego), wartość współczynnika $f_{V,i}$ jest ujemna.

Nadwyżka usuwanego powietrza kompensowana jest strumieniem powietrza zewnętrznego infiltrującego przez obudowę budynku. Jej wielkość – w odniesieniu do całego budynku – określa się w sposób następujący:

$$\dot{V}_{\text{mech,inf}} = \max(\dot{V}_{\text{ex}} - \dot{V}_{\text{su}}, 0), \text{ m}^3/\text{h} \quad (19)$$

gdzie: \dot{V}_{ex} – strumień usuwanego powietrza, m^3/h ,
 \dot{V}_{su} – strumień powietrza dostarczanego, m^3/h .

W przypadku budynków z instalacją wentylacyjną mechaniczną wywiewną obliczenia wykonuje się, przyjmując jako strumień usuwanego powietrza sumę strumieni powietrza usuwanych przez każdą kratkę wentylacyjną oraz zakładając, że strumień powietrza nawiewanego jest równy 0.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że sposoby obliczania strumienia powietrza wentylacyjnego dla przestrzeni ogrzewanej budynku według metodologii [3] i ogrzewanych pomieszczeń według normy [6] różnią się w przypadku budynków wyposażonych w wentylację mechaniczną i wentylowanych w sposób naturalny. Zatem współczynników strat mocy cieplnej na wentylację określonych w ramach jednej z procedur obliczeniowych nie można wykorzystać w drugiej procedurze, ponieważ

$$H_{\text{ve}} \neq \sum_i H_{V,i}, \text{ W/K} \quad (20)$$

5. Podsumowanie

Zastosowanie w procedurze określania charakterystyki energetycznej budynku metod obliczeniowych podanych w ostatnio ustanowionych normach europejskich oraz wprowadzenie do polskich przepisów budowlanych wymagania obliczania mocy instalacji ogrzewczych według PN-EN 12831:2006 [6] stworzyło możliwość częściowej harmonizacji procedur obliczeń cieplnych budynku, która polega na możliwości:

- wykorzystania w obliczeniach strat mocy cieplnej współczynników przenikania ciepła U i Ψ , określonych w procedurze obliczania charakterystyki energetycznej budynku,
- weryfikacji poprawności obliczenia współczynników strat ciepła przez przenikanie; obliczenia te są wykonane bez błędów, jeśli współczynnik strat mocy cieplnej przez przenikanie określony dla całej strefy ogrzewanej budynku jest równy sumie współczynników strat mocy cieplnej przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne, przyległe przestrzenie nieogrzewane oraz przez grunt, określonych dla wszystkich ogrzewanych pomieszczeń.

Natomiast ze względu na różnice w sposobie obliczeń i inne dane wyjściowe nie można zintegrować obliczeń współczynników wentylacyjnej straty mocy cieplnej stosowanych w obydwu procedurach. Przyczyną takiego stanu rzeczy są niespójne metody podawane w normach europejskich. W przypadku wentylacyjnych strat ciepła niespójności te można częściowo tłumaczyć innymi warunkami, w których strumienie powietrza wentylacyjnego określane są w obydwu procedurach: w warunkach projektowych – w odniesieniu do obliczeń wykonywanych w celu zaprojektowania instalacji ogrzewczej, i średnich eksploatacyjnych – w obliczeniach charakterystyki energetycznej. Zastanawiające jest jednak, że w Polsce przyjmuje się znacznie większe wartości strumienia powietrza wentylacyjnego w obliczeniach charakterystyki energetycznej niż do zaprojektowania instalacji ogrzewczej, podczas gdy w Europie obserwuje się tendencję odwrotną, co wynika z porównania danych zawartych w normach PN-EN 12831:2006 [6] i PN-EN ISO 13780:2009 [9].

Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 30 września 1997 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- [2] Dyrektywa 2002/91/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [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 sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej
- [4] PN-B-03406:1994 Ogrzewnictwo – Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m³
- [5] PN-B-02025:2001 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego
- [6] PN-EN 12831:2006 Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego
- [7] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania
- [8] PN-EN ISO 13790:2009 Energetyczne właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zużycia energii na potrzeby ogrzewania i chłodzenia
- [9] PN-EN ISO 13789:2008 Ciepłne właściwości użytkowe budynków – Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację – Metoda obliczania
- [10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- [11] PN-B-02403:1982 Ogrzewnictwo – Temperatury obliczeniowe zewnętrzne
- [12] PN-EN ISO 13370:2008 Ciepłne właściwości użytkowe budynków – Przenoszenie ciepła przez grunt – Metody obliczania
- [13] PN-83/B-03430/AZ3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF HARMONIZATION PROCEDURES OF THERMAL CALCULATIONS FOR BUILDINGS

Summary

Thermal calculations for buildings are related to problems of heat transfer in the space and structure of a building. Recently, the scope of these calculations has been extended to calculate energy demand of a building according to implementation of the requirements given in the EPBD Directive to the Polish building regulations. In the paper the possibilities of harmonization procedures applied in calculations of energy demand for a building and its heating load in the aim to simplify and verify these calculations were analysed.

Praca wpłynęła do Redakcji 19 X 2010 r.