



ELEKTRA[®]

Michał Strzeszewski
Piotr Wereszczyński

poradnik

Metoda obliczania obciążenia cieplnego budynków wg normy PN-EN 12831



Michał Strzeszewski
Piotr Wereszczyński

Metoda obliczania obciążenia cieplnego budynków wg normy PN-EN 12831

Poradnik

Wydanie II rozszerzone



Warszawa 2016

Metoda obliczania obciążenia cieplnego budynków wg normy PN-EN 12831. Poradnik. Wersja 2.00.

W opracowaniu przedstawiono metodykę obliczania obciążenia cieplnego pomieszczeń i budynków wg normy PN-EN 12831. Zwrócono uwagę na główne różnice w stosunku do normy PN-B-03406:1994. Zasady obliczeń zilustrowano przykładami. Omówiono również wspomagane komputerowo obliczanie obciążenia cieplnego budynków. W drugim wydaniu poradnika uwzględniono doświadczenia praktyczne, związane ze stosowaniem normy.

© Copyright by Michał Strzeszewski 2006-2016

Wydawca

ELEKTRA
ul. K. Kamińskiego 4
05-850 Ożarów Mazowiecki
tel. 22 843 32 82
e-mail: info@elektra.pl
www.elektra.pl

Opracowano we współpracy z firmą

Sankom sp. z o.o.
www.sankom.pl

Niniejszy poradnik może być wykorzystywany wyłącznie do celów informacyjno-dydaktycznych. Inne wykorzystanie jest zastrzeżone. W szczególności poradnik nie zastępuje Polskiej Normy i nie może służyć jako podstawa prowadzenia obliczeń projektowych.

Autorzy dołożyli należytych starań w trakcie opracowywania poradnika. Jednak autorzy ani wydawca nie gwarantują braku błędów i nie ponoszą odpowiedzialności za żadne straty ani utracone zyski, powstałe w wyniku wykorzystania poradnika.



Przedmowa

5 czerwca 2006 r. została zatwierdzona norma PN-EN 12831:2006, będąca tłumaczeniem normy europejskiej EN 12831:2003. Nowa norma wprowadziła wiele zmian w stosunku do dotychczasowej metodyki obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków. Było ich tak dużo, że w zasadzie powinno się mówić raczej o zupełnie nowej metodyce niż o modyfikacji wcześniejszego sposobu prowadzenia obliczeń.

6 listopada 2008 r. Minister Infrastruktury podpisał *Rozporządzenie zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz.U. 2008 nr 201) [30], zawierające powołanie normy PN-EN 12831:2006 z mocą od 1 stycznia 2009 r.

Niniejszy poradnik miał – w zamierzeniu autorów – być elementem akcji szkoleniowej, związanej z wprowadzaniem nowej metodyki obliczeniowej. Otrzymujemy szereg sygnałów świadczących, że poradnik jest szeroko wykorzystywany, zarówno przez projektantów, jak i studentów kierunków technicznych. Chcielibyśmy w tym miejscu jeszcze raz podziękować wszystkim osobom, które podzieliły się z nami swoimi uwagami nt. poradnika i przyczyniły się do podniesienia jego poziomu merytorycznego.

Po początkowym okresie stosowania nowej metodyki, przygotowane zostało drugie rozszerzone wydanie niniejszego poradnika, uwzględniające doświadczenia praktyczne, związane ze stosowaniem normy.

Michał Strzeszewski

Piotr Wereszczyński

Spis treści

| | |
|--|-----------|
| 1. Zasady ogólne | 1 |
| 1.1 Wprowadzenie..... | 1 |
| 1.2 Obowiązek stosowania normy | 2 |
| 1.3 Założenia metody | 3 |
| 1.4 Procedura obliczeniowa w odniesieniu do przestrzeni ogrzewanej | 3 |
| 1.5 Procedura obliczeniowa w odniesieniu do budynku lub jego części | 3 |
| 1.6 Całkowita projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej – przypadki podstawowe . | 4 |
| 1.7 Projektowe obciążenie cieplne przestrzeni ogrzewanej | 4 |
| 1.8 Projektowe obciążenie cieplne budynku lub jego części | 5 |
| 2. Wartości temperatury | 6 |
| 2.1 Wprowadzenie..... | 6 |
| 2.2 Strefy klimatyczne..... | 6 |
| 2.3 Projektowa temperatura zewnętrzna | 6 |
| 2.4 Średnia roczna temperatura wewnętrzna..... | 6 |
| 2.5 Projektowa temperatura wewnętrzna | 6 |
| 2.6 Współczynniki redukcji temperatury | 9 |
| 2.6.1 <i>Koncepcja współczynnika redukcji temperatury</i> | 9 |
| 2.6.2 <i>Przenikanie ciepła bezpośrednio na zewnątrz</i> | 11 |
| 2.6.3 <i>Przenikanie ciepła do przestrzeni nieogrzewanej</i> | 11 |
| 2.6.4 <i>Straty ciepła do gruntu</i> | 13 |
| 2.6.5 <i>Przenikanie do przestrzeni ogrzewanej do innej temperatury</i> | 13 |
| 2.6.6 <i>Wentylacyjna strata ciepła w przypadku wentylacji naturalnej</i> | 15 |
| 2.6.7 <i>Wentylacyjna strata ciepła w przypadku instalacji wentylacyjnej</i> | 15 |
| 2.6.8 <i>Podejście zgodne z fizyką</i> | 15 |
| 2.6.9 <i>Podsumowanie</i> | 16 |
| 3. Obliczanie projektowej straty ciepła przez przenikanie | 17 |
| 3.1 Wprowadzenie..... | 17 |
| 3.2 Stosowane wymiary | 17 |
| 3.3 Projektowa strata ciepła przez przenikanie | 18 |
| 3.4 Straty ciepła bezpośrednio na zewnątrz | 18 |
| 3.5 Uproszczona metoda w odniesieniu do strat ciepła przez przenikanie | 19 |
| 3.6 Straty ciepła przez przestrzeń nieogrzewaną | 21 |
| 3.7 Straty ciepła do gruntu | 23 |
| 3.8 Straty ciepła między przestrzeniami ogrzewanymi do różnych wartości temperatury | 23 |
| 3.9 Podsumowanie | 25 |
| 4. Przykłady obliczania projektowej straty ciepła przez przenikanie..... | 26 |
| 4.1 Przykład 1..... | 26 |
| 4.1.1 <i>Obliczenia wg PN-EN 12831:2006</i> | 26 |
| 4.1.2 <i>Obliczenia wg PN-B-03406:1994</i> | 27 |
| 4.1.3 <i>Porównanie wyników</i> | 27 |
| 4.2 Przykład 2..... | 27 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.2.1 | Obliczenia wg PN-EN 12831:2006 | 28 |
| 4.2.2 | Obliczenia wg PN-B-03406:1994 | 29 |
| 4.2.3 | Porównanie wyników | 29 |
| 4.3 | Przykład 3..... | 29 |
| 4.3.1 | Obliczenia wg PN-EN 12831:2006 | 30 |
| 4.3.2 | Obliczenia wg PN-EN 12831:2006 z uwzględnieniem wymagań Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych..... | 31 |
| 4.3.3 | Obliczenia wg PN-B-03406:1994 | 31 |
| 4.3.4 | Porównanie wyników | 31 |
| 4.4 | Podsumowanie | 32 |
| 5. | Obliczanie projektowej straty ciepła do gruntu | 33 |
| 5.1 | Wprowadzenie..... | 33 |
| 5.2 | Współczynnik straty ciepła przez przenikanie do gruntu..... | 33 |
| 5.3 | Wymiar charakterystyczny podłogi | 34 |
| 5.4 | Równoważny współczynnik przenikania ciepła | 34 |
| 6. | Obliczanie projektowej wentylacyjnej straty ciepła w przypadku wentylacji naturalnej..... | 39 |
| 6.1 | Wprowadzenie..... | 39 |
| 6.2 | Projektowa wentylacyjna strata ciepła | 39 |
| 6.3 | Współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła..... | 39 |
| 6.4 | Strumień objętości powietrza wentylacyjnego..... | 40 |
| 6.5 | Infiltracja przez obudowę budynku | 40 |
| 6.6 | Minimalny strumień objętości powietrza ze względów higienicznych | 42 |
| 6.7 | Projektowe obciążenie cieplne budynku lub jego części | 42 |
| 6.8 | Przykład..... | 42 |
| 6.8.1 | Obliczenia wg PN-EN 12831:2006 | 43 |
| 6.8.2 | Obliczenia wg PN-B-03406:1994 | 44 |
| 6.8.3 | Porównanie wyników | 44 |
| 7. | Obliczanie projektowej wentylacyjnej straty ciepła w przypadku instalacji wentylacyjnej | 45 |
| 7.1 | Wprowadzenie..... | 45 |
| 7.2 | Projektowa wentylacyjna strata ciepła | 45 |
| 7.3 | Współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła..... | 45 |
| 7.4 | Strumień objętości powietrza wentylacyjnego..... | 46 |
| 7.5 | Strumień powietrza doprowadzonego | 46 |
| 7.6 | Odzysk ciepła | 47 |
| 7.7 | Nadmiar strumienia powietrza usuwanego | 48 |
| 7.8 | Projektowe obciążenie cieplne budynku lub jego części | 49 |
| 7.9 | Przykład..... | 49 |
| 7.9.1 | Obliczenia wg PN-EN 12831:2006 | 50 |
| 7.9.2 | Obliczenia wg PN-B-03406:1994 | 51 |
| 7.10 | Podsumowanie | 52 |
| 8. | Nadwyżka mocy cieplnej wymagana do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania | 53 |
| 8.1 | Wprowadzenie..... | 53 |
| 8.2 | Założenia metody | 54 |
| 8.3 | Współczynnik nagrzewania..... | 54 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 8.4 | Przykład..... | 56 |
| 8.5 | Podsumowanie | 57 |
| 9. | Obliczanie obciążenia cieplnego wysokich pomieszczeń..... | 58 |
| 9.1 | Wprowadzenie..... | 58 |
| 9.2 | Współczynnik poprawkowy..... | 58 |
| 9.3 | Przykład..... | 58 |
| 10. | Wspomagane komputerowo obliczanie obciążenia cieplnego budynków..... | 60 |
| 10.1 | Wprowadzenie..... | 60 |
| 10.2 | Od graficznego trójwymiarowego modelu budynku do modelu obliczeniowego | 60 |
| 10.3 | Tworzenie graficznego trójwymiarowego modelu budynku | 61 |
| 10.4 | Łatwe znajdowanie błędów | 62 |
| 10.5 | Analiza graficznego trójwymiarowego modelu budynku | 63 |
| 10.6 | Skanowanie podkładów budowlanych | 65 |
| 10.7 | Sklejanie zeskanowanych rysunków | 65 |
| 11. | Literatura | 66 |
| 12. | Załączniki..... | 68 |
| 12.1 | Terminy występujące w normie PN-EN 12831:2006 | 68 |
| 12.2 | Porównanie wybranych pojęć i symboli występujących w normach PN-EN 12831:2006 i PN-B-03406:1994 | 69 |
| 12.3 | Wybrane indeksy występujące w normie PN-EN 12831:2006..... | 71 |
| 12.4 | Alfabet grecki | 72 |

1. Zasady ogólne

1.1 Wprowadzenie

Norma PN-EN 12831:2006 [26] jest tłumaczeniem angielskiej wersji normy europejskiej EN 12831:2003 [23].

Niewątpliwą zaletą wprowadzenia norm europejskich będzie ułatwienie inżynierom świadczenia usług projektowych w innych krajach Unii Europejskiej. Należy jednak pamiętać, że szczegółowe wymagania w poszczególnych krajach członkowskich, podane w załącznikach krajowych do normy, mogą się różnić.

Norma europejska EN 12831:2003 została przyjęta przez CEN (Europejski Komitet Normalizacyjny) 6 lipca 2002 r. Zgodnie z przepisami wewnętrznymi CEN/CENELEC członkowie CEN są zobowiązani do nadania normie europejskiej statusu normy krajowej bez wprowadzania jakichkolwiek zmian. Członkami CEN są krajowe jednostki normalizacyjne państw Unii Europejskiej oraz Szwajcaria, Norwegia i Islandia (członkowie EFTA¹).

Norma podaje nie tylko nową metodykę obliczeń, ale również wprowadza nowy system pojęć. Terminy występujące w normie podano w załączniku 11.1. Natomiast porównanie podstawowych pojęć i symboli występujących w normie PN-EN 12831:2006 oraz dotychczasowej PN-B-03406:1994 [19] zestawiono w załączniku 11.2. W celu sprawnego posługiwania się nową normą wskazane jest również zapoznanie się ze stosowanymi indeksami (załącznik 11.3). Poza tym w nowej normie do oznaczeń wykorzystano szereg liter greckich. W załączniku 11.4 zamieszczono alfabet grecki wraz z polskimi nazwami liter.

Jedną ze zmian w nazewnictwie, jest użycie określenia „projektowy” zamiast dotychczasowego słowa „obliczeniowy”. Zmiana ta jest najprawdopodobniej jedną z najłatwiejszych do przyswojenia, ponieważ dotyczy jedynie słownictwa i nie wpływa na tok obliczeń.

Bardziej istotną zmianą jest rozróżnienie w nowej normie pojęć „całkowita projektowa strata ciepła” i „projektowe obciążenie cieplne”, podczas gdy w dotychczasowej normie analogiczne pojęcia były tożsame.

Różnica polega na tym, że w pojęciu „projektowe obciążenie cieplne” – obok całkowitej projektowej straty ciepła – uwzględnia się dodatkowo nadwyżkę mocy cieplnej, wymaganą do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania. W normie PN-B-03406:1994 zrezygnowano natomiast ze względu na ekonomiczne z występującego wcześniej „dodatku na przerwy w działaniu ogrzewania” (czyli odpowiednika wspomnianej nadwyżki mocy cieplnej) [19].

Norma PN-EN 12831:2006 podaje sposób obliczania obciążenia cieplnego:

- dla poszczególnych pomieszczeń (przestrzeni ogrzewanych) w celu doboru grzejników,
- dla całego budynku lub jego części w celu doboru źródła ciepła.

Metoda zawarta w normie może być stosowana w tzw. „podstawowych przypadkach”, które obejmują budynki z wysokością pomieszczeń ograniczoną do 5 m, przy założeniu że są one ogrzewane w warunkach projektowych do osiągnięcia stanu ustalonego.

Natomiast w załączniku informacyjnym (nienormatywnym) zamieszczono instrukcje obliczania projektowych strat ciepła w przypadkach szczególnych:

- pomieszczenia o dużej wysokości (powyżej 5 m),

¹ EFTA – Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu (ang. *European Free Trade Association*)

- budynki o znacznej różnicy między temperaturą powietrza i średnią temperaturą promieniowania.

Ponadto norma podaje metodę uproszczoną, która może być stosowana dla budynków mieszkalnych, w których krotność wymiany powietrza, przy różnicy ciśnienia między wnętrzem a otoczeniem budynku równej 50 Pa, n_{50} jest niższa od 3 h^{-1} .

1.2 Obowiązek stosowania normy

Obecnie nie ma już ogólnego obowiązku stosowania Polskich Norm. Jednak w budownictwie istnieje szereg sytuacji, w których w praktyce konieczne jest spełnienie zasad określonych w pewnych normach.

Kwestie te są regulowane w artykule 5 pkt. 3 i 4 *Ustawy o normalizacji* [28]:

3. Stosowanie Polskich Norm jest dobrowolne.

4. Polskie Normy mogą być powoływane w przepisach prawnych po ich opublikowaniu w języku polskim.

Istotne jest, że punkt 4 nie ogranicza możliwości powoływania norm do **powołania obowiązującego** (konieczność zastosowania normy) albo **powołania wskazującego** (zastosowanie normy jest jednym ze sposobów realizacji celu przepisu). W związku z tym należy rozumieć, że istnieje również możliwość **powołania obowiązującego**. Jedynym ograniczeniem we wprowadzaniu obowiązku stosowania norm jest ich opublikowanie w języku polskim. W związku z tym Normy Europejskie przyjmowane jako Normy Polskie w języku oryginału nie mogą być powołane w przepisach prawnych.

A więc obecnie normy „same z siebie” nie stanowią prawa i sam fakt przyjęcia normy przez PKN nie powoduje obowiązku ich stosowania. Jest to sytuacja odmienna niż w okresie PRL, kiedy stosowanie wszystkich Norm Polskich i branżowych było obowiązkowe pod karą aresztu lub grzywny.

Czyli obecnie normy nie są już dokumentami do obowiązkowego stosowania – nie ma ogólnej zasady obowiązku stosowania norm. Jednak przepisy prawne mogą wprowadzać obowiązek wykonywania pewnych czynności lub spełnienia wymagań wg zasad zapisanych w określonych normach. Zasady te stają się wtedy integralną częścią danego przepisu. Bardzo klarownie wyjaśnił to Witold Ciołek: „...fragment normy lub cała norma staje się przepisem prawnym w tym zakresie, którego przepis dotyczy. Poza tym zakresem powołana norma pozostaje do dobrowolnego stosowania.” [1].

Norma PN-EN 12831:2006 została powołana w *Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [30] w § 134 oraz w załączniku 1 (*Wykaz polskich norm przywołanych w rozporządzeniu*):

§ 134. 1. Instalacje i urządzenia do ogrzewania budynku powinny mieć szczytową moc cieplną określoną zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi obliczania zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń, a także obliczania oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła przegród budowlanych.

W tym miejscu warto przypomnieć, że słowo „powinny” w przepisie prawnym oznacza obowiązek, a więc jest to **powołanie obowiązujące**.

W literaturze można znaleźć wiele głosów, krytycznych wobec tworzenia prawa przez powoływanie norm. Jednak niezależnie od tych głosów, takie jest prawo w obecnej chwili.

1.3 Założenia metody

Metoda obliczeniowa została opracowana przy następujących założeniach:

- równomierny rozkład temperatury powietrza i temperatury projektowej (wysokość pomieszczeń nie przekracza 5 m),
- wartości temperatury powietrza i temperatury operacyjnej są takie same (budynki dobrze zaizolowane),
- warunki ustalone (stałe wartości temperatury),
- stałe właściwości elementów budynków w funkcji temperatury.

1.4 Procedura obliczeniowa w odniesieniu do przestrzeni ogrzewanej

Procedura obliczeniowa dla przestrzeni ogrzewanej jest następująca:

- a) określenie wartości projektowej temperatury zewnętrznej i średniej rocznej temperatury zewnętrznej;
- b) określenie statusu każdej przestrzeni (czy jest ogrzewana, czy nie) oraz wartości projektowej temperatury wewnętrznej dla każdej przestrzeni ogrzewanej;
- c) określenie charakterystyk wymiarowych i cieplnych wszystkich elementów budynku dla wszystkich przestrzeni ogrzewanych i nieogrzewanych;
- d) obliczenie wartości współczynnika projektowej straty ciepła przez przenikanie i następnie projektowej straty ciepła przez przenikanie przestrzeni ogrzewanej;
- e) obliczenie wartości współczynnika projektowej wentylacyjnej straty ciepła i wentylacyjnej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej;
- f) obliczenie całkowitej projektowej straty ciepła;
- g) obliczenie nadwyżki mocy cieplnej przestrzeni ogrzewanej, czyli dodatkowej mocy cieplnej, potrzebnej do skompensowania skutków przerw w ogrzewaniu;
- h) obliczenie całkowitego projektowego obciążenia cieplnego przestrzeni ogrzewanej.

1.5 Procedura obliczeniowa w odniesieniu do budynku lub jego części

Po przeprowadzeniu obliczeń dla wszystkich przestrzeni ogrzewanych można obliczyć całkowite projektowe obciążenie cieplne budynku (części budynku) w celu dobrania źródła ciepła. W tym przypadku procedura obliczeniowa jest następująca:

- a) obliczenie sumy projektowych strat ciepła przez przenikanie we wszystkich przestrzeniach ogrzewanych bez uwzględnienia ciepła wymienianego wewnątrz określonych granic instalacji;
- b) obliczenie sumy projektowych wentylacyjnych strat ciepła wszystkich przestrzeni ogrzewanych bez uwzględniania ciepła wymienianego wewnątrz określonych granic instalacji;
- c) obliczenie całkowitej projektowej straty ciepła budynku;
- d) obliczenie całkowitej nadwyżki ciepła budynku, wymaganej do skompensowania skutków przerw w ogrzewaniu;
- e) obliczenie obciążenia cieplnego budynku.

1.6 Całkowita projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej – przypadki podstawowe

Norma PN-EN 12831 podaje wzór do obliczania całkowitej projektowej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej w podstawowych przypadkach:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}, \quad \text{W} \quad (1.1)$$

gdzie:

$\Phi_{T,i}$ – projektowa strata ciepła ogrzewanej przestrzeni (i) przez przenikanie, W;

$\Phi_{V,i}$ – projektowa wentylacyjna strata ciepła ogrzewanej przestrzeni (i), W.

Wzór powyższy jest zbliżony do wzoru wg normy PN-B-03406:1994:

$$Q = Q_p(1 + d_1 + d_2) + Q_w, \quad \text{W} \quad (1.2)$$

gdzie:

Q_p – straty ciepła przez przenikanie, W;

d_1 – dodatek do strat ciepła przez przenikanie dla wyrównania wpływu niskich temperatur powierzchni przegród chłodzących pomieszczenia;

d_2 – dodatek do strat ciepła przez przenikanie uwzględniający skutki nasłonecznienia przegród i pomieszczeń;

Q_w – zapotrzebowanie na ciepło do wentylacji, W.

Główna różnica polega na tym, że w nowym wzorze nie występują dodatki do strat ciepła przez przenikanie. W nowej normie nie uwzględnia się wpływu przegród chłodzących przy założeniu, że budynek jest dobrze zaizolowany. Natomiast jeśli tak nie jest, należy zastosować metodę dla budynków o znacznej różnicy między temperaturą powietrza i średnią temperaturą promieniowania (przypadek szczególny).

1.7 Projektowe obciążenie cieplne przestrzeni ogrzewanej

Natomiast w projektowym obciążeniu cieplnym przestrzeni ogrzewanej, jak już wspomniano, uwzględnia się dodatkowo nadwyżkę mocy cieplnej, wymaganą do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}, \quad \text{W} \quad (1.3)$$

gdzie:

$\Phi_{RH,i}$ – nadwyżka mocy cieplnej wymagana do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania strefy ogrzewanej (i), W;

pozostałe oznaczenia jw.

1.8 Projektowe obciążenie cieplne budynku lub jego części

Projektowe obciążenie cieplne dla całego budynku (lub jego części) oblicza się analogicznie, w następujący sposób:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i}, \text{ W} \quad (1.4)$$

gdzie:

- $\sum \Phi_{T,i}$ – suma strat ciepła przez przenikanie wszystkich przestrzeni ogrzewanych budynku z wyłączeniem ciepła wymienianego wewnątrz budynku, W;
- $\sum \Phi_{V,i}$ – wentylacyjne straty ciepła wszystkich przestrzeni ogrzewanych z wyłączeniem ciepła wymienianego wewnątrz budynku, W;
- $\sum \Phi_{RH,i}$ – suma nadwyżek mocy cieplnej wszystkich przestrzeni ogrzewanych wymaganych do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania, W.

2. Wartości temperatury

2.1 Wprowadzenie

Jak już wspomniano, jedną ze zmian jest używanie określenia „projektowy” zamiast dotychczasowego słowa „obliczeniowy”.

Poza tym, obecnie przyjmuje się, że temperatura wewnętrzna, stosowana do obliczania strat ciepła przez przenikanie, to temperatura operacyjna, a nie temperatura powietrza. Temperatura operacyjna oznacza średnią arytmetyczną z wartości temperatury powietrza wewnętrznego i średniej temperatury promieniowania.

2.2 Strefy klimatyczne

Podział Polski na strefy klimatyczne pokazano na rys. 2.1. Podział wg PN-EN 12831 odpowiada dokładnie dotychczasowemu podziałowi wg normy PN-82/B-02403 [18]. Zmiana dotyczy jedynie tego, że obecnie podział ten podany jest w załączniku krajowym do normy na obliczanie obciążenia cieplnego, a nie w oddzielnej normie.

2.3 Projektowa temperatura zewnętrzna

Wartości projektowej temperatury zewnętrznej zamieszczono w tabeli 2.1. Projektowa temperatura zewnętrzna wg PN-EN 12831 odpowiada obliczeniowej temperaturze powietrza na zewnątrz budynku wg PN-82/B-02403. Zmiany dotyczą jedynie używanego terminu oraz zamieszczenia wartości temperatury w załączniku krajowym do normy na obliczanie obciążenia cieplnego, a nie w osobnej normie.

2.4 Średnia roczna temperatura zewnętrzna

Załącznik krajowym do normy PN-EN 12831 podaje również wartości średniej rocznej temperatury zewnętrznej (tabela 2.1). Wartości te nie były podane w normie PN-82/B-02403, gdyż nie były potrzebne do obliczania zapotrzebowania na ciepło wg normy PN-B-03406:1994. Natomiast obecnie są one wykorzystywane do obliczania strat ciepła do gruntu oraz strat ciepła przez przenikanie do przyległych pomieszczeń.

2.5 Projektowa temperatura wewnętrzna

Norma PN-EN 12831 podaje również wartości projektowej temperatury wewnętrznej (tabela 2.2). Wcześniej wartości „temperatury obliczeniowej w pomieszczeniach” podane były w normie PN-82/B-02402 [17], a następnie w *Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* [29]. Norma PN-EN 12831 w zasadzie przytacza tabelę z Rozporządzenia jedynie z drobnymi zmianami. Natomiast w stosunku do normy PN-82/B-02402 zmiana polega na obniżeniu temperatury w pomieszczeniach przeznaczonych do rozbierania oraz na pobyt ludzi bez odzieży (np. łazienki, gabinety lekarskie) z 25°C do 24°C oraz rezygnacji z najwyższej temperatury 32°C.



Rys. 2.1. Podział terytorium Polski na strefy klimatyczne. Na podstawie [26]

Tabela 2.1. Projektowa temperatura zewnętrzna i średnia roczna temperatura zewnętrzna [26]

| Strefa klimatyczna | Projektowa temperatura zewnętrzna, °C | Średnia roczna temperatura zewnętrzna, °C |
|--------------------|---------------------------------------|---|
| I | -16 | 7,7 |
| II | -18 | 7,9 |
| III | -20 | 7,6 |
| IV | -22 | 6,9 |
| V | -24 | 5,5 |

Tabela 2.2. Projektowa temperatura wewnętrzna [26]

| Przeznaczenie lub sposób wykorzystania pomieszczeń | Przykłady pomieszczeń | θ_{int} , °C |
|--|--|---------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> – nieprzeznaczone na pobyt ludzi, – przemysłowe – podczas działania ogrzewania dyżurnego (jeśli pozwalają na to względy technologiczne) | magazyny bez stałej obsługi, garaże indywidualne, hale postojowe (bez remontów), akumulatornie, maszynownie i szyby dźwignów osobowych | 5 |
| <ul style="list-style-type: none"> – w których nie występują zyski ciepła, a jednorazowy pobyt ludzi znajdujących się w ruchu i okryciach zewnętrznych nie przekracza 1 h, – w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., przekraczające 25 W na 1 m³ kubatury pomieszczenia | klatki schodowe w budynkach mieszkalnych, hale sprężarek, pompownie, kuźnie, hartownie, wydziały obróbki cieplnej | 8 |
| <ul style="list-style-type: none"> – w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone do stałego pobytu ludzi, znajdujących się w okryciach zewnętrznych lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym powyżej 300 W, – w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., wynoszące od 10 do 25 W na 1 m³ kubatury pomieszczenia | magazyny i składy wymagające stałej obsługi, hale wejściowe, poczekalnie przy salach widowiskowych bez szatni, kościoły, hale pracy fizycznej o wydatku energetycznym powyżej 300 W, hale formiarni, maszynownie chłodni, ładownie akumulatorów, hale targowe, sklepy rybne i mięsne | 12 |
| <ul style="list-style-type: none"> – w których nie występują zyski ciepła, przeznaczone na pobyt ludzi: <ul style="list-style-type: none"> ○ w okryciach zewnętrznych w pozycji siedzącej i stojącej, ○ bez okryć zewnętrznych znajdujących się w ruchu lub wykonujących pracę fizyczną o wydatku energetycznym do 300 W, – w których występują zyski ciepła od urządzeń technologicznych, oświetlenia itp., nieprzekraczające 10 W na 1 m³ kubatury pomieszczenia | sale widowiskowe bez szatni, ustępy publiczne, szatnie okryć zewnętrznych, hale produkcyjne, sale gimnastyczne, kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska węglowe | 16 |
| <ul style="list-style-type: none"> – przeznaczone na stały pobyt ludzi bez okryć zewnętrznych, niewykonywujących w sposób ciągły pracy fizycznej – kotłownie i węzły cieplne | pokoje mieszkalne, przedpokoje, kuchnie indywidualne wyposażone w paleniska gazowe lub elektryczne, pokoje biurowe, sale posiedzeń, muzea i galerie sztuki z szatniami, audytoria | 20 |
| <ul style="list-style-type: none"> – przeznaczone do rozbierania, – przeznaczone na pobyt ludzi bez odzieży | łazienki, rozbieralnie-szatnie, umywalnie, natryskownie, hale pływalni, gabinety lekarskie z rozbieraniem pacjentów, sale niemowląt i sale dziecięce w żłobkach, sale operacyjne | 24 |

2.6 Współczynniki redukcji temperatury

2.6.1 Koncepcja współczynnika redukcji temperatury

Wprowadzeniu normy PN-EN 12831 [26] towarzyszyło szereg wątpliwości [1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 16]. Dotychczasowe doświadczenia dydaktyczno-szkoleniowe wskazują, że jednym z trudniejszych zagadnień jest koncepcja współczynników redukcji temperatury. Dlatego została ona szczegółowo omówiona w tym miejscu.

Prowadząc obliczenia dokładnie wg normy PN-EN 12831, konieczne jest stosowanie współczynników redukcji temperatury. Konieczność ta wynika z korzystania ze współczynników straty ciepła H oraz z odnoszenia tych współczynników zawsze do projektowej różnicy temperatury, czyli różnicy projektowej temperatury wewnętrznej i zewnętrznej, niezależnie od tego, jaka różnica temperatury powoduje przepływ ciepła w danym przypadku.

Wprowadzenie współczynników przenikania ciepła, odniesionych do projektowej różnicy temperatury na pierwszy rzut oka może wydawać się atrakcyjne. Ponieważ np. znając całkowity współczynnik straty ciepła H dla budynku lub pomieszczenia, można próbować mnożyć go przez inne różnice temperatury w celu obliczenia strat ciepła w przypadku innych lokalizacji lub tworzenia bilansów energii w ramach określania rocznego zapotrzebowania na ciepło. Należy jednak podkreślić, że w ogólnym przypadku wartość współczynnika straty ciepła H nie jest wartością stałą, niezależną od projektowej różnicy temperatury. W związku z tym takie podejście w przykładach wymienionych powyżej może być źródłem znaczącej niedokładności obliczeń.

Dotychczas strumienie ciepła były obliczane w oparciu o założoną różnicę temperatury, w zależności od rozpatrywanego przypadku wymiany ciepła (inną np. dla strat bezpośrednio na zewnątrz, a inną dla strat do pomieszczenia nieogrzewanego).

Natomiast zgodnie z metodyką wprowadzoną przez normę PN-EN 12831, najpierw należy obliczać współczynniki straty ciepła H w W/K, a następnie – niezależnie od przypadku – mnożyć je przez projektową różnicę temperatury. Dla strat ciepła na drodze przenikania podany jest następujący wzór:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad \text{W} \quad (2.1)$$

gdzie:

$H_{T,ie}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez obudowę budynku, W/K;

$H_{T,iue}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez przestrzeń nieogrzewaną (u), W/K;

$H_{T,ig}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do gruntu (g) w warunkach ustalonych, W/K;

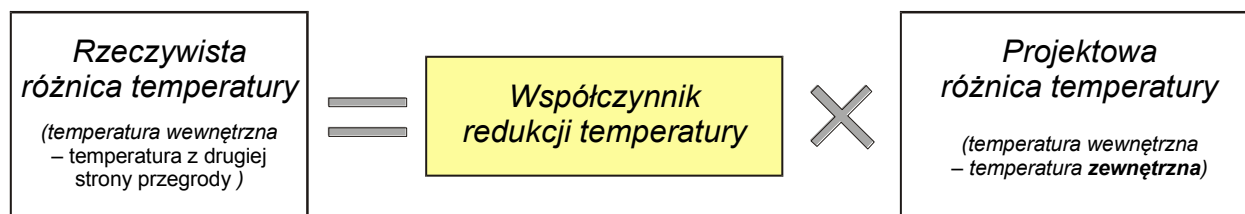
$H_{T,ij}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do sąsiedniej przestrzeni (j) ogrzewanej do znacząco różnej temperatury, tzn. przyległej przestrzeni ogrzewanej w tej samej części budynku lub w przyległej części budynku, W/K;

$\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Wzór powyższy uwzględnia cztery przypadki przenikania ciepła. Jednak jedynie w pierwszym z nich (straty ciepła bezpośrednio na zewnątrz) przepływ ciepła spowodowany jest pro-

jektową różnicą temperatury. We wszystkich trzech pozostałych przypadkach różnica temperatury jest najczęściej mniejsza. W związku z tym współczynniki H muszą być odpowiednio przeliczone (zredukowane), aby po pomnożeniu przez projektową różnicę temperatury dały odpowiednią wartość strumienia ciepła. Przeliczenia współczynnika H dokonuje się mnożąc go przez współczynnik redukcji temperatury.



Rys. 2.2. Sens matematycznych współczynnika redukcji temperatury.

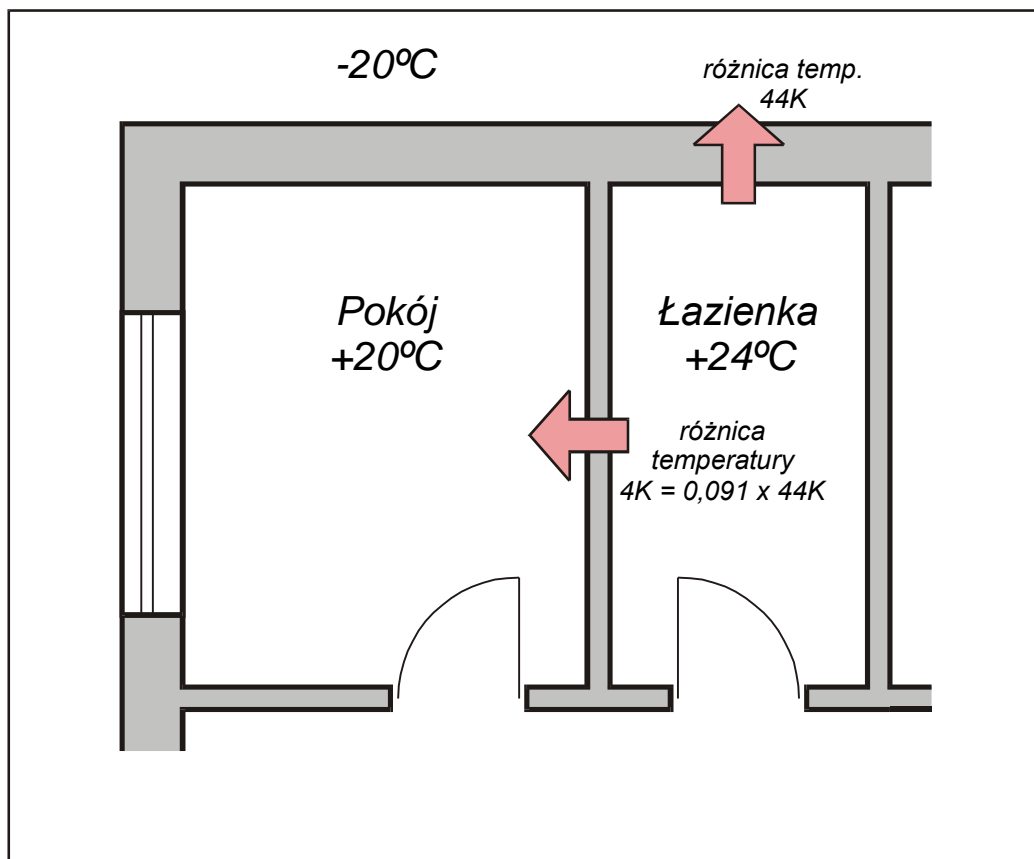
Sens matematycznych współczynnika redukcji temperatury pokazano na rys. 2.2. Współczynnik ten określa stosunek rzeczywistej różnicy temperatury w danym przypadku do projektowej różnicy temperatury. W związku z tym ogólnie można zapisać:

$$f = \frac{\theta_{int,i} - x}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad - \quad (2.2)$$

gdzie:

- f – współczynnik redukcji temperatury, –;
- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;
- x – projektowa temperatura z drugiej strony przegrody budowlanej lub temperatura nawiewanego powietrza, °C;
- θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Sens fizyczny współczynnika redukcji temperatury zilustrowano na rys. 2.3. W przypadku strat ciepła przez przenikanie z łazienki do pokoju różnica temperatury wynosi 4 K, co stanowi 9,1% projektowej różnicy temperatury (44 K). Ponieważ współczynnik straty ciepła H , zgodnie z nową metodyką, będzie mnożony nie przez 4 K, lecz przez 44 K, to wcześniej należy uwzględnić mnożnik 0,091. Efekt matematyczny będzie taki sam, jak w przypadku mnożenia przez 4 K (podobnie jak to się działo wg normy PN-B-03406:1994 [19]). W związku z tym otrzymamy poprawny wynik, chociaż sama procedura obliczeniowa jest „matematycznie bardziej skomplikowana” i „fizycznie mniej czytelna” w stosunku do metodyki dotychczasowej.



Rys. 2.3. Ilustracja sensu fizycznego współczynnika redukcji temperatury.

2.6.2 Przenikanie ciepła bezpośrednio na zewnątrz

W tym przypadku różnica temperatury powodująca przepływ ciepła jest równa projektowej różnicy temperatury. W związku z tym nie zachodzi potrzeba stosowania współczynnika redukcyjnego.

2.6.3 Przenikanie ciepła do przestrzeni nieogrzewanej

W warunkach projektowych temperatura przestrzeni nieogrzewanej jest zazwyczaj wyższa od temperatury zewnętrznej. Podstawowy wzór na współczynnik redukcji temperatury w tym przypadku ma następującą postać:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad - \quad (3)$$

gdzie:

$\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

θ_u – projektowa temperatura przestrzeni nieogrzewanej, °C;

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Wartość orientacyjną współczynnika b_u można odczytać z tabeli 2.3.

Tabela 2.3. Współczynnik redukcji temperatury b_u [26]

| Przestrzeń nieogrzewana | b_u |
|--|-------|
| Pomieszczenie | |
| tylko z 1 ścianą zewnętrzną | 0,4 |
| z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi bez drzwi zewnętrznych | 0,5 |
| z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi z drzwiami zewnętrznymi (np. hale, garaże) | 0,6 |
| z trzema ścianami zewnętrznymi (np. zewnętrzna klatka schodowa) | 0,8 |
| Podziemie¹ | |
| bez okien/drzwi zewnętrznych | 0,5 |
| z oknami/drzwiami zewnętrznymi | 0,8 |
| Poddasze | |
| przestrzeń poddasza silnie wentylowana (np. pokrycie dachu z dachówek lub innych materiałów tworzących pokrycie nieciągłe) bez deskowania pokrytego papą lub płyt łączonych brzegami | 1,0 |
| inne nieizolowane dachy | 0,9 |
| izolowany dach | 0,7 |
| Wewnętrzne przestrzenie komunikacyjne (bez zewnętrznych ścian, krotność wymiany powietrza mniejsza niż $0,5 \text{ h}^{-1}$) | 0 |
| Swobodnie wentylowane przestrzenie komunikacyjne (powierzchnia otworów/kubatura powierzchni $> 0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$) | 1,0 |
| Przestrzeń podpodłogowa (podłoga nad przestrzenią nieprzechodnią) | 0,8 |
| Przejścia lub bramy przelotowe nieogrzewane, obustronnie zamknięte | 0,9 |

¹ Pomieszczenie może być uważane za usytuowane w podziemiu, jeśli więcej niż 70% powierzchni ścian zewnętrznych styka się z gruntem.

Przykład 1

Określić współczynnik redukcji temperatury dla straty ciepła przez przenikanie z pokoju mieszkalnego do pomieszczenia nieogrzewanego o temperaturze wewnętrznej $+5^\circ\text{C}$. Budynek znajduje się w III strefie klimatycznej.

Rozwiązanie

$$b_u = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_u}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} = \frac{20 - 5}{20 - (-20)} = 0,375$$

Różnica temperatury w tym przypadku wynosi 15 K, co stanowi 37,5% projektowej różnicy temperatury 40 K.

2.6.4 Straty ciepła do gruntu

Norma podaje w tym przypadku następujący wzór na współczynnik redukcji temperatury:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad - \quad (4)$$

gdzie:

- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;
- $\theta_{m,e}$ – roczna średnia temperatura zewnętrzna, °C;
- θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Jednak bardziej właściwe byłoby stwierdzenie, że rolę współczynnika redukcji temperatury pełni w tym przypadku iloczyn f_{g1} i f_{g2} . Uwzględnienie w obliczeniach jedynie współczynnika f_{g2} oznaczałoby przyjęcie założenia, że średnia temperatura gruntu jest równa średniorocznej temperaturze zewnętrznej. Ponieważ jednak tak nie jest, współczynnik ten mnożony jest dodatkowo przez współczynnik f_{g1} . Wartość orientacyjna współczynnika f_{g1} wg polskiego załącznika krajowego do normy PN-EN 12831:2006 wynosi 1,45.

Przykład 2

Określić współczynnik f_{g2} dla pokoju mieszkalnego i II strefy klimatycznej.

Rozwiązanie

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{20 - 7,9}{20 - (-18)} = 0,318$$

2.6.5 Przenikanie do przestrzeni ogrzewanej do innej temperatury

Wzór na współczynnik redukcji temperatury przyjmuje w tym przypadku następującą postać:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{przyleglej\ przestrzeni}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad - \quad (5)$$

gdzie:

- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;
- $\theta_{przyleglej\ przestrzeni}$ – projektowa temperatura przestrzeni przyległej, °C;
- θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na sposób określania temperatury przyległej przestrzeni. Do tej pory temperaturę pomieszczenia ogrzewanego określało się zawsze w zależności od funkcji (przeznaczenia) pomieszczenia. Natomiast wg normy PN-EN 12831:2006 temperaturę przyległej przestrzeni ogrzewanej określa się na podstawie przeznaczenia jedynie w przypadku pomieszczeń należących do tej samej jednostki budynku (mieszkania, lokalu użytkowego). Natomiast jeśli pomieszczenie należy do innej jednostki i istnieje możliwość indywidualnej regulacji temperatury, to do obliczania straty ciepła przyjmuje się średnią arytmetyczną z projektowej temperatury wewnętrznej i średniorocznej temperatury zewnętrznej. Z kolei, jeżeli sąsiednie pomieszczenie należy do oddzielnego budynku (budynku przyległego), przyjmuje się średnioroczną temperaturę zewnętrzną (tab. 2.4). Takie podejście umożliwia zapewnienie odpowiedniej wielkości grzejnika na wypadek obniżenia temperatury wewnętrznej w sąsiednich lokalach.

Tabela 2.4. Temperatura przyległych przestrzeni ogrzewanych [26]

| | |
|---|--|
| Ciepło przekazywane z przestrzeni ogrzewanej (<i>i</i>) do: | $\theta_{\text{przyległej przestrzeni}}$ °C |
| przyległego pomieszczenia w tej samej jednostce budynku (np. w mieszkaniu) | powinna być określona na podstawie przeznaczenia pomieszczenia |
| sąsiedniego pomieszczenia, należącego do innej jednostki budynku (np. do innego mieszkania) | $\frac{\theta_{\text{int},i} + \theta_{\text{m},e}}{2}$ |
| sąsiedniego pomieszczenia, należącego do oddzielnego budynku (ogrzewanego lub nieogrzewanego) | $\theta_{\text{m},e}$ |

Przykład 3

Określić współczynnik redukcji temperatury dla straty ciepła przez przenikanie z łazienki do pokoju mieszkalnego. Budynek znajduje się w I strefie klimatycznej.

Rozwiązanie

$$f_{ij} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{przyległej przestrzeni}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} = \frac{24 - 20}{24 - (-16)} = 0,1$$

Przykład 4

Określić współczynnik redukcji temperatury dla zysków ciepła przez przenikanie z łazienki do pokoju mieszkalnego. Budynek znajduje się w I strefie klimatycznej.

Rozwiązanie

$$f_{ij} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{przyległej przestrzeni}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} = \frac{20 - 24}{20 - (-16)} = -0,111$$

Przykład 5

Określić współczynnik redukcji temperatury dla straty ciepła przez przenikanie z pokoju mieszkalnego do pokoju znajdującego się w sąsiednim mieszkaniu. Budynek znajduje się w I strefie klimatycznej.

Rozwiązanie

$$\theta_{\text{przyległej przestrzeni}} = \frac{\theta_{\text{int},i} + \theta_{\text{m},e}}{2} = \frac{20 + 7,7}{2} = 13,85^\circ\text{C}$$

$$f_{ij} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{przyległej przestrzeni}}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} = \frac{20 - 13,85}{20 - (-16)} = 0,171$$

2.6.6 Wentylacyjna strata ciepła w przypadku wentylacji naturalnej

W przypadku wentylacji naturalnej, przyjmuje się, że do pomieszczeń napływa powietrze o temperaturze zewnętrznej. W związku z tym, projektowa różnica temperatury jest właściwa do określenia mocy potrzebnej do ogrzania powietrza wentylacyjnego i nie zachodzi potrzeba stosowania współczynnika redukcyjnego.

2.6.7 Wentylacyjna strata ciepła w przypadku instalacji wentylacyjnej

Moc wymaganą do ogrzania powietrza wentylacyjnego oblicza się w następujący sposób:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad \text{W} \quad (6)$$

gdzie:

$H_{V,i}$ – współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła, W/K;

$\theta_{i,int}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Podobnie jak w przypadku przenikania, również i dla wentylacji, współczynnik straty ciepła H odniesiony jest to projektowej różnicy temperatury. Jednak powietrze nawiewane przez instalację wentylacyjną lub klimatyzacyjną ma zazwyczaj temperaturę wyższą od temperatury zewnętrznej. W związku z tym w obliczeniach należy uwzględnić współczynnik redukcji temperatury:

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (7)$$

gdzie:

$\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

$\theta_{su,i}$ – temperatura powietrza dostarczanego do przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Przykład 6

Określić współczynnik redukcji temperatury powietrza nawiewanego do pomieszczenia biurowego. Temperatura nawiewanego powietrza wynosi +20°C. Budynek znajduje się w IV strefie klimatycznej.

Rozwiązanie

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{20 - 20}{20 - (-22)} = 0$$

Zerowa wartość współczynnika redukcji temperatury oznacza, że powietrze nawiewane nie wymaga dodatkowego ogrzania.

2.6.8 Podejście zgodne z fizyką

Stosując wzór (2.1), całkowity (zsumowany) współczynnik straty ciepła H mnoży się przez projektową różnicę temperatury, niezależnie od tego, jaka różnica temperatury powoduje przepływ ciepła w danym przypadku. Jednocześnie wszędzie tam, gdzie różnica temperatury jest inna (czyli w większości przypadków), koryguje się współczynnik straty ciepła H , w taki sposób, aby po przemnożeniu przez nieodpowiednią wartość różnicy temperatury, otrzymać

prawidłowy wynik. Można powiedzieć, że stosuje się pewien „trick matematyczny”, który pozwala na otrzymanie prawidłowego strumienia ciepła przy uwzględnieniu w obliczeniach nieprawidłowych danych. Takie podejście jest matematycznie poprawne, ale niezbyt czytelne z punktu widzenia fizyki.

Alternatywnie można obliczać strumienie ciepła uwzględniając adekwatne różnice temperatury bez zastosowania współczynników redukcji temperatury. W tym przypadku sumuje się strumienie ciepła, a nie współczynniki straty ciepła H .

Metoda ta nie jest co prawda przewidziana w normie PN-EN 12831, ale daje dokładnie takie same wyniki i jest bardziej czytelna z punktu widzenia fizyki budowli. Decydując się na tę metodę należy tylko pamiętać, żeby stosować ją konsekwentnie, tzn. jeśli w obliczeniach uwzględnia się adekwatne wartości różnicy temperatury, to nie można już stosować współczynników redukcji temperatury, ponieważ wtedy wyniki nie byłyby poprawne.

2.6.9 Podsumowanie

Podejście w normie PN-EN 12831 do obliczania strat ciepła bazuje na odnoszeniu wszystkich strat ciepła do projektowej różnicy temperatury (różnicy projektowej temperatury wewnętrznej i projektowej temperatury zewnętrznej) oraz zastosowaniu odpowiednich współczynników redukcji temperatury.

Alternatywnie w obliczeniach można stosować różnice temperatury adekwatne do danego przypadku bez współczynników redukcji temperatur. Taki tok postępowania nie jest co prawda przewidziany w normie PN-EN 12831, ale prawidłowo zastosowany daje dokładnie te same wyniki i jest bardziej czytelny z punktu widzenia fizyki budowli.

3. Obliczanie projektowej straty ciepła przez przenikanie

3.1 Wprowadzenie

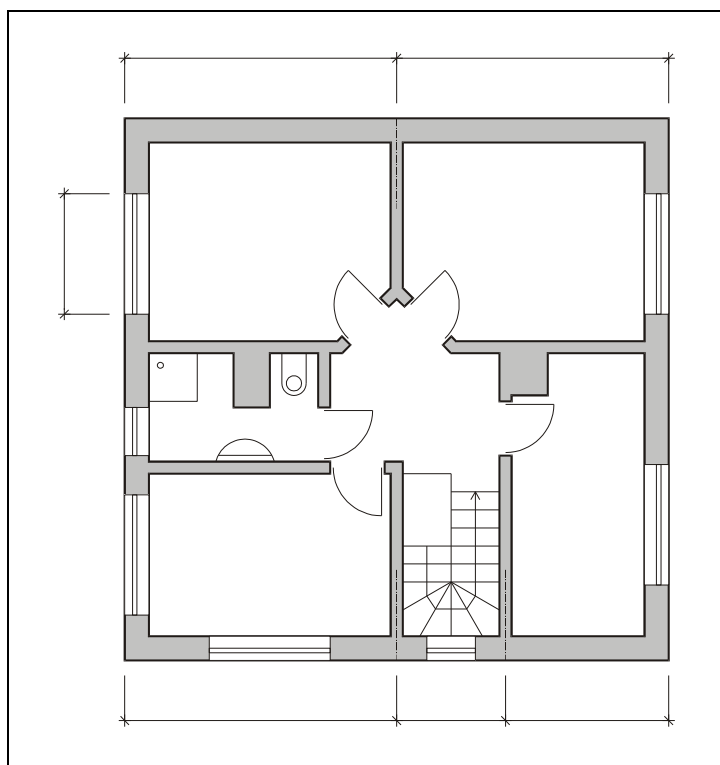
Norma PN-EN 12831:2006 [26] wprowadza szereg zasadniczych zmian w stosunku do dotychczasowej normy PN-B-03406:1994 [19]. Najważniejsze zmiany w zakresie określania strat ciepła przez przenikanie to:

- wprowadzenie współczynnika straty ciepła przez przenikanie,
- zmiana sposobu określania wymiarów elementów budynku,
- uwzględnianie mostków cieplnych,
- zmiana sposobu określania strat ciepła do gruntu,
- zmiana sposobu określania strat ciepła do pomieszczeń nieogrzewanych,
- uwzględnianie strat ciepła do pomieszczeń o takiej samej projektowej temperaturze, jeśli należą do osobnej jednostki budynku (np. innego mieszkania) lub do budynku przyległego.

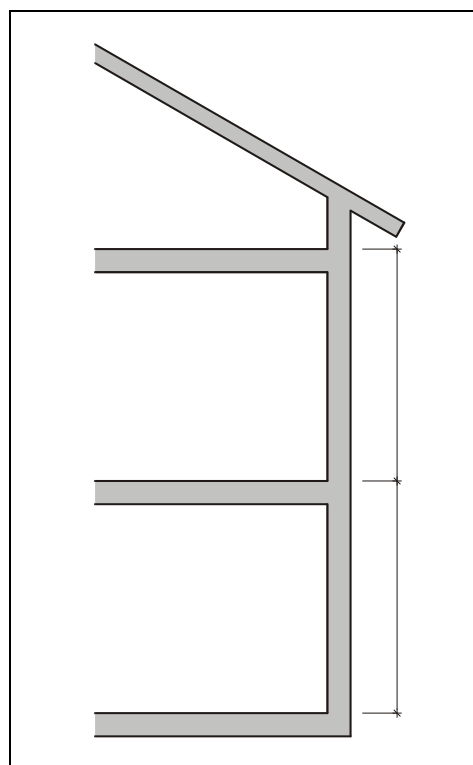
3.2 Stosowane wymiary

Zgodnie z załącznikiem krajowym do normy PN-EN 12831:2006, przy obliczaniu strat ciepła przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne należy stosować wymiary zewnętrzne, czyli wymiary mierzone po zewnętrznej stronie budynku. W szczególności wysokość ściany mierzy się pomiędzy powierzchniami podłóg. Przykłady wymiarów pokazano na rys. 3.1 i 3.2.

Norma PN-EN 12831:2006 nie precyzuje jednak sposobu określania wymiarów przegród wewnętrznych. Zdaniem autorów niniejszego poradnika, wymiary przegród wewnętrznych powinny być określone w oparciu o wymiary w osiach przegród ograniczających (tak, jak było to określone w normie PN-B-03406:1994).



Rys. 3.1. Przykład wymiarów poziomych



Rys. 3.2. Przykład wymiarów pionowych

3.3 Projektowa strata ciepła przez przenikanie

Norma PN-EN 12831:2006 podaje następujący wzór do obliczania projektowej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej (i) przez przenikanie:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad \text{W} \quad (3.1)$$

gdzie:

$H_{T,ie}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez obudowę budynku, W/K;

$H_{T,iue}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do otoczenia (e) przez przestrzeń nieogrzewaną (u), W/K;

$H_{T,ig}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do gruntu (g) w warunkach ustalonych, W/K;

$H_{T,ij}$ – współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do sąsiedniej przestrzeni (j) ogrzewanej do znacząco różnej temperatury, tzn. przyległej przestrzeni ogrzewanej w tej samej części budynku lub w przyległej części budynku, W/K;

$\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Wg nowej metodyki najpierw oblicza się współczynniki projektowych strat ciepła, a dopiero później mnoży się ich sumę przez różnicę temperatury wewnętrznej i zewnętrznej. Natomiast wg normy PN-B-03406:1994 od razu obliczało się straty ciepła.

3.4 Straty ciepła bezpośrednio na zewnątrz

Wartość współczynnika straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) na zewnątrz (e) $H_{T,ie}$ zależy od wymiarów i cech charakterystycznych elementów budynku oddzielających przestrzeń ogrzewaną od środowiska zewnętrznego, takich jak ściany, podłogi, stropy, drzwi i okna. Wg normy PN-EN 12831:2006 uwzględnia się również liniowe mostki cieplne:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l, \quad \text{W/K} \quad (3.2)$$

gdzie:

A_k – powierzchnia elementu budynku (k), m²;

U_k – współczynnik przenikania ciepła przegrody (k), W/m²K;

ψ_l – współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego (l), W/mK;

l_l – długość liniowego mostka cieplnego (l) między przestrzenią wewnętrzną a zewnętrzną, m;

e_k, e_l – współczynniki korekcyjne ze względu na orientację, z uwzględnieniem wpływów klimatu; takich jak: różne izolacje, absorpcja wilgoci przez elementy budynku, prędkość wiatru i temperatura powietrza, w przypadku gdy wpływy te nie zostały wcześniej uwzględnione przy określaniu wartości współczynnika U_k (EN ISO 6946 [25]).

Należy przypomnieć, że współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego nie uwzględnia całkowitej wartości strumienia ciepła w danym miejscu, a jedynie przyrost strumienia ciepła, wynikający z występowania mostka cieplnego. W związku z tym w pewnych sytuacjach współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego może mieć nawet wartość ujemną. Taka sytuacja ma miejsce np. przypadku dobrze zaizolowanych naroży, gdzie współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego może korygować zawyżoną stratę ciepła, wynikającą z prowadzenia obliczeń wg wymiarów zewnętrznych.

Współczynnik przenikania ciepła U_k należy obliczać według:

- normy EN ISO 6946 – dla elementów nieprzezroczystych;
- normy EN ISO 10077-1 [27] – dla drzwi i okien;
- lub na podstawie zaleceń podanych w europejskich aprobatkach technicznych.

Współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego ψ_l powinien być określony wg normy EN ISO 10211-2 [22] (obliczenia numeryczne) lub w sposób przybliżony z wykorzystaniem wartości tabelaryzowanych podanych w normie EN ISO 14683 [21].

Oryginalnym zastosowaniem wartości tabelaryzowanych, podanych w normie EN ISO 14683, były obliczenia w odniesieniu do całego budynku. W przypadku obliczeń metodą „pomieszczenie po pomieszczeniu”, konieczny jest podział wartości współczynnika przenikania ciepła mostka pomiędzy pomieszczenia, jeśli mostek cieplny znajduje się na granicy pomieszczeń (np. strop przecinający izolację ściany zewnętrznej). Podział ten norma PN-EN 12831:2006 pozostawia do uznania projektanta.

W obliczeniach nie uwzględnia się nieliniowych mostków cieplnych.

Orientacyjne wartości współczynników korekcyjnych podane są w załączniku krajowym do normy PN-EN 12831:2006:

$$e_k = 1,0; \quad e_l = 1,0 \quad (3.3)$$

W związku z tym równanie (3.2) w praktyce upraszcza się do następującej postaci:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l, \quad \text{W/K} \quad (3.4)$$

3.5 Uproszczona metoda w odniesieniu do strat ciepła przez przenikanie

W obliczeniach strat ciepła przez przenikanie, mostki cieplne można uwzględnić metodą uproszczoną. Polega ona na przyjęciu skorygowanej wartości współczynnika przenikania ciepła:

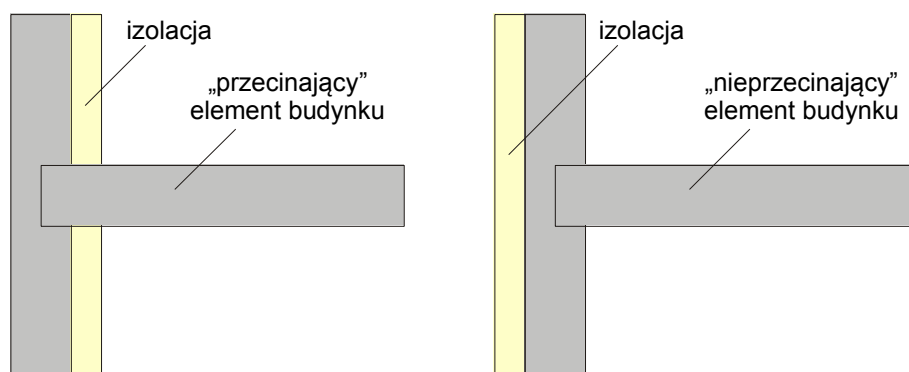
$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}, \quad \text{W/m}^2\text{K} \quad (3.5)$$

gdzie:

- U_{kc} – skorygowany współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k), z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych, $\text{W/m}^2\text{K}$;
- U_k – współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k), $\text{W/m}^2\text{K}$;
- ΔU_{tb} – współczynnik korekcyjny w zależności od typu elementu budynku, $\text{W/m}^2\text{K}$.

Orientacyjne wartości współczynnika ΔU_{tb} podane są w tabelach 3.1 do 3.3. Pojęcie elementu budynku „przecinającego” i „nieprzecinającego” izolację zostało zobrazowane na rys. 3.3.

Zaletą uproszczonej metody uwzględniania mostków cieplnych jest bezsprzecznie łatwość jej stosowania. Natomiast wadą wydaje się być tzw. „gruby ołówek”, ponieważ obliczone straty ciepła mogą w niektórych przypadkach być znacznie zawyżone.



Rys. 3.3. Element budynku „przecinający” i „nieprzecinający” izolację. Na podstawie [26].

Tabela 3.1. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla pionowych elementów budynku [26]

| Liczba stropów przecinających izolację | Liczba przecinanych ścian | ΔU_{tb} , W/m ² K | |
|--|---------------------------|--|---|
| | | kubatura przestrzeni ≤ 100 m ³ | kubatura przestrzeni > 100 m ³ |
| 0 | 0 | 0,05 | 0 |
| | 1 | 0,10 | 0 |
| | 2 | 0,15 | 0,05 |
| 1 | 0 | 0,20 | 0,10 |
| | 1 | 0,25 | 0,15 |
| | 2 | 0,30 | 0,20 |
| 2 | 0 | 0,25 | 0,15 |
| | 1 | 0,30 | 0,20 |
| | 2 | 0,35 | 0,25 |

Tabela 3.2. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla poziomych elementów budynku [26]

| Element budynku | | | ΔU_{tb} , W/m ² K |
|------------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| Lekka podłoga (drewno, metal itd.) | | | 0 |
| Ciężka podłoga (beton, itd.) | Liczba boków będących w kontakcie ze środowiskiem zewnętrznym | 1 | 0,05 |
| | | 2 | 0,10 |
| | | 3 | 0,15 |
| | | 4 | 0,20 |

Tabela 3.3. Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} dla otworów [26]

| Powierzchnia elementu budynku | ΔU_{tb} , W/m ² K |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| 0-2 m ² | 0,50 |
| >2 - 4 m ² | 0,40 |
| >4 - 9 m ² | 0,30 |
| >9 - 20 m ² | 0,20 |
| >20m ² | 0,10 |

3.6 Straty ciepła przez przestrzeń nieogrzewaną

Norma PN-EN 12831:2006 wprowadza zupełnie inny sposób określania strat ciepła w przypadku przestrzeni nieogrzewanej, przyległej do przestrzeni ogrzewanej. Do tej pory granica tych przestrzeni stanowiła granicę analizowanego systemu, a obliczenia wykonywało się analogicznie, jak w przypadku przenikania bezpośrednio na zewnątrz, przyjmując obliczeniową temperaturę w przestrzeni przyległej wg normy PN-82/B-02403 [18]. Natomiast model przyjęty w nowej normie rozpatruje wymianę ciepła między przestrzenią ogrzewaną (*i*) i otoczeniem (*e*) poprzez przestrzeń nieogrzewaną (*u*). Współczynnik projektowej straty ciepła oblicza się w tym przypadku w sposób następujący:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot b_u, \quad \text{W/K} \quad (3.6)$$

gdzie:

- A_k – powierzchnia elementu budynku (*k*) w metrach kwadratowych, m²;
- U_k – współczynnik przenikania ciepła przegrody (*k*), W/m²K;
- b_u – współczynnik redukcji temperatury, uwzględniający różnicę między temperaturą przestrzeni nieogrzewanej i projektową temperaturą zewnętrzną;
- ψ_l – współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego (*l*), W/mK;
- l_l – długość liniowego mostka cieplnego (*l*) między przestrzenią wewnętrzną a zewnętrzną, m.

Współczynnik b_u może być określony w jeden z następujących sposobów:

1. Jeśli temperatura przestrzeni nieogrzewanej jest znana:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad - \quad (3.7)$$

gdzie:

- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (*i*), °C;
- θ_u – projektowa temperatura przestrzeni nieogrzewanej, °C;
- θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

2. Jeśli temperatura przestrzeni nieogrzewanej nie jest znana:

$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}, \quad - \quad (3.8)$$

gdzie:

- H_{iu} – współczynnik strat ciepła z przestrzeni ogrzewanej (i) do przyległej przestrzeni nieogrzewanej (u), z uwzględnieniem:
- strat ciepła przez przenikanie (z przestrzeni ogrzewanej do przestrzeni nieogrzewanej);
 - wentylacyjnych strat ciepła (strumień powietrza między przestrzenią ogrzewaną i nieogrzewaną);
- H_{ue} – współczynnik strat ciepła z przestrzeni nieogrzewanej (u) do otoczenia (e), z uwzględnieniem:
- strat ciepła przez przenikanie (do otoczenia i do gruntu);
 - wentylacyjnych strat ciepła (między przestrzenią nieogrzewaną a otoczeniem).

3. W uproszczeniu można przyjmować wartości orientacyjne wg tabeli 3.4.

Współczynnik redukcji temperatury b_u uwzględnia fakt, że temperatura przestrzeni nieogrzewanej w warunkach projektowych może być wyższa od temperatury zewnętrznej, a właśnie przez różnicę temperatury wewnętrznej i zewnętrznej mnoży się później współczynnik projektowej straty ciepła – równanie (3.1).

W obliczeniach komputerowych najwłaściwsze wydaje się obliczanie temperatury przestrzeni nieogrzewanej na drodze bilansu cieplnego i podstawienie otrzymanej wartości do równania (3.7). Natomiast w przybliżonych obliczeniach ręcznych może być wygodne posługiwanie się stabilaryzowanymi wartościami współczynnika redukcji temperatury.

Tabela 3.4. Współczynnik redukcji temperatury [26]

| Przestrzeń nieogrzewana | b_u |
|--|-------|
| Pomieszczenie | |
| tylko z 1 ścianą zewnętrzną | 0,4 |
| z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi bez drzwi zewnętrznych | 0,5 |
| z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi z drzwiami zewnętrznymi (np. hale, garaże) | 0,6 |
| z trzema ścianami zewnętrznymi (np. zewnętrzna klatka schodowa) | 0,8 |
| Podziemie¹ | |
| bez okien/drzwi zewnętrznych | 0,5 |
| z oknami/drzwiami zewnętrznymi | 0,8 |
| Poddasze | |
| przestrzeń poddasza silnie wentylowana (np. pokrycie dachu z dachówek lub innych materiałów tworzących pokrycie nieciągłe) bez deskowania pokrytego papą lub płyt łączonych brzegami | 1,0 |
| inne nieizolowane dachy | 0,9 |
| izolowany dach | 0,7 |

| | |
|--|-----|
| Wewnętrzne przestrzenie komunikacyjne (bez zewnętrznych ścian, krotność wymiany powietrza mniejsza niż 0,5 h ⁻¹) | 0 |
| Swobodnie wentylowane przestrzenie komunikacyjne (powierzchnia otworów/kubatura powierzchni > 0,005 m ² /m ³) | 1,0 |
| Przestrzeń podpodłogowa (podłoga nad przestrzenią nieprzechodnią) | 0,8 |
| Przejścia lub bramy przelotowe nieogrzewane, obustronnie zamknięte | 0,9 |

¹ Pomieszczenie może być uważane za usytuowane w podziemiu, jeśli więcej niż 70% powierzchni ścian zewnętrznych styka się z gruntem.

3.7 Straty ciepła do gruntu

Strumień strat ciepła do gruntu może być obliczony wg normy EN ISO 13370 [20]:

- w sposób szczegółowy
- lub w sposób uproszczony, zamieszczony w normie PN-EN 12831:2006.

Określanie strat ciepła do gruntu omówiono w rozdziale 5.

3.8 Straty ciepła między przestrzeniami ogrzewanymi do różnych wartości temperatury

Współczynnik $H_{T,ij}$ obejmuje ciepło przekazywane przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do sąsiedniej przestrzeni (j) ogrzewanej do znacząco innej temperatury. Przestrzenia sąsiednią może być przyległe pomieszczenie w tym samym mieszkaniu (np. łazienka), pomieszczenie należące do innej części budynku (np. innego mieszkania) lub pomieszczenie należące do przyległego budynku, które może być nieogrzewane. Współczynnik $H_{T,ij}$ oblicza się w następujący sposób:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k, \text{ W/K} \quad (3.9)$$

gdzie:

- f_{ij} – współczynnik redukcyjny temperatury, uwzględniający różnicę temperatury przyległej przestrzeni i projektowej temperatury zewnętrznej;
- A_k – powierzchnia elementu budynku (k), m²;
- U_k – współczynnik przenikania ciepła przegrody (k), W/m²K.

W przypadku strat ciepła między przestrzeniami ogrzewanymi do różnych wartości temperatury, nie uwzględnia się mostków cieplnych.

Współczynnik redukcyjny temperatury określony jest następującym równaniem:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{przyległej\ przestrzeni}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad - \quad (3.10)$$

gdzie:

- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

$\theta_{\text{przyległej przestrzeni}}$ – temperatura przestrzeni przyległej, °C;

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Wartości orientacyjne temperatury przyległych przestrzeni ogrzewanych podano w tabeli 3.5, przy czym:

$\theta_{m,e}$ – roczna średnia temperatura zewnętrzna, °C.

Nowa norma wprowadza daleko idące zmiany w zakresie przyjmowanej temperatury w sąsiednich pomieszczeniach. Do tej pory, jeśli rozpatrywano ścianę pomiędzy dwoma pokojami mieszkalnymi, to w obu pokojach przyjmowano temperaturę +20°C. W związku z tym różnica temperatury wynosiła 0 K, a straty ciepła 0 W. Takie podejście było uzasadnione w czasie, kiedy w praktyce nie występowała możliwość indywidualnej regulacji temperatury wewnętrznej. Jednak ten sposób obliczeń nie jest już adekwatny, biorąc pod uwagę obecny stan prawny (obowiązek zapewnienia indywidualnej regulacji) i faktyczny sposób użytkowania lokali.

Tabela 3.5. Temperatura przyległych przestrzeni ogrzewanych [26]

| | |
|---|--|
| Ciepło przekazywane z przestrzeni ogrzewanej (<i>i</i>) do: | $\theta_{\text{przyległej przestrzeni}}$ °C |
| przyległego pomieszczenia w tej samej jednostce budynku (np. w mieszkaniu) | powinna być określona na podstawie przeznaczenia pomieszczenia |
| sąsiedniego pomieszczenia, należącego do innej jednostki budynku (np. do innego mieszkania) | $\frac{\theta_{\text{int},i} + \theta_{m,e}}{2}$ |
| sąsiedniego pomieszczenia, należącego do oddzielnego budynku (ogrzewanego lub nieogrzewanego) | $\theta_{m,e}$ |

Często zdarza się, że mieszkania przez krótsze lub dłuższe okresy są nie używane (zwłaszcza na terenach atrakcyjnych wypoczynkowo). Wtedy, szczególnie w przypadku indywidualnego rozliczania kosztów ogrzewania, temperatura w mieszkaniu jest obniżona w stosunku do temperatury projektowej. Dlatego w praktyce często pojawia się różnica temperatury po obu stronach przegrody budowlanej. W związku z tym, ponieważ ściany wewnętrzne najczęściej nie są izolowane cieplnie, nawet przy stosunkowo małej różnicy temperatury, mogą wystąpić znaczne straty ciepła.

Dlatego zdaniem autorów wskazane jest izolowanie cieplne również przegród wewnętrznych, oddzielających pomieszczenia ogrzewane, jeśli pomieszczenia te należą do oddzielnych jednostek budynku (np. mieszkań lub lokali użytkowych). Izolację taką warto wykonywać z materiału, który oprócz izolacyjności cieplnej posiada właściwości izolacji akustycznej.

Według nowej normy temperaturę w sąsiednim pomieszczeniu należy przyjmować na podstawie przeznaczenia tylko, jeśli pomieszczenie to należy do tej samej jednostki budynku (np. do mieszkania). Natomiast jeśli pomieszczenie należy do innej jednostki i istnieje możliwość indywidualnej regulacji temperatury, to do obliczania straty ciepła przyjmuje się średnią arytmetyczną z projektowej temperatury wewnętrznej i rocznej średniej temperatury zewnętrznej. Z kolei, jeżeli sąsiednie pomieszczenie należy do oddzielnego budynku (budynku przyległego), przyjmuje się roczną średnią temperaturę zewnętrzną.

Abstrahując w tym miejscu od oceny dokładności takiej metody obliczeń, nie można nie przyznać, że metoda ta pozwala przy doborze grzejników – przynajmniej w sposób przybliżo-

ny – uwzględniać ryzyko wystąpienia obniżonej temperatury wewnętrznej w sąsiednich jednostkach budynku.

Należy również zwrócić uwagę, że opisane powyżej straty ciepła uwzględnia się w obliczeniach obciążenia cieplnego poszczególnych pomieszczeń w celu doboru grzejników, natomiast nie uwzględnia się ich przy określaniu obciążenia cieplnego całego budynku w celu doboru źródła ciepła.

W skali całego budynku, jeśli część pomieszczeń będzie ogrzewana w sposób osłabiony, to uzyskana w ten sposób nadwyżka mocy pozwoli na pokrycie zwiększonego zapotrzebowania na ciepło w pomieszczeniach sąsiednich.

3.9 Podsumowanie

Zarówno nowa jak i dotychczasowa metoda obliczania obciążenia cieplnego ma swoje wady i zalety.

Podstawową wadą nowego podejścia jest mnożenie wszystkich współczynników projektowych strat ciepła (również odnoszących się do strat ciepła przez przestrzenie nieogrzewane i grunt) przez projektową różnicę temperatury (różnicę między projektową temperaturą wewnętrzną a projektową temperaturą zewnętrzną). W związku z tym zachodzi konieczność stosowania współczynników redukcji temperatury, przez co procedura obliczeniowa staje się matematycznie bardziej skomplikowana i mniej czytelna z punktu widzenia fizyki budowli.

Z kolei zaletą nowej metody, zdaniem autorów, jest uwzględnianie potencjalnych strat ciepła do sąsiednich jednostek budynku („straty ciepła do sąsiada”) w przypadku indywidualnej regulacji.

Natomiast procedura obliczeniowa wg normy PN-B-03406:1994 wydaje się prostsza (m.in. nie zachodzi potrzeba obliczania współczynników projektowych strat ciepła) i bardziej czytelna z punktu widzenia fizyki budowli (straty ciepła obliczane są na podstawie różnic temperatury, które je wywołują).

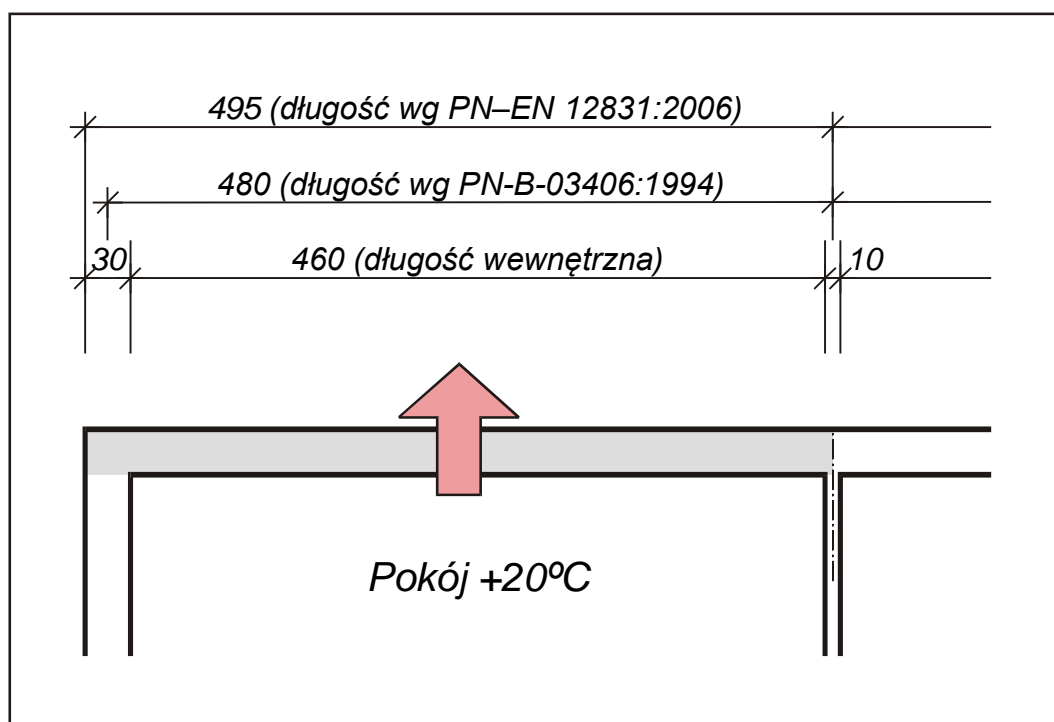
4. Przykłady obliczania projektowej straty ciepła przez przenikanie

Poniżej zamieszczono przykłady obliczeń straty ciepła przez przenikanie przez ściany wg nowej normy oraz normy dotychczasowej PN-B-03406:1994 [19].

4.1 Przykład 1

Obliczyć wartość straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (pokoju mieszkalnego) do otoczenia (e) przez ścianę zewnętrzną bez okna wg rysunku 4.1. Liniowe mostki cieplne uwzględnić metodą uproszczoną. Założenia:

- współczynnik przenikania ciepła: $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- wysokość zewnętrzna ściany: $3,20 \text{ m}$,
- grubość stropów: 35 cm ,
- kubatura pomieszczenia $\leq 100 \text{ m}^3$,
- liczba stropów przecinających izolację: 0 ,
- liczba przecinanych ścian: 0 ,
- lokalizacja: Kraków.



Rys. 4.1. Rysunek do przykładu 1

4.1.1 Obliczenia wg PN-EN 12831:2006

Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} ustalamy na podstawie tabeli 3.1:

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Skorygowany współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} = 0,29 + 0,05 = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Długość ściany na podstawie wymiarów zewnętrznych wynosi 4,95 m, a wysokość 3,20 m. W związku z tym powierzchnia ściany wynosi:

$$A_k = 4,95 \cdot 3,2 = 15,84 \text{ m}^2$$

Współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do otoczenia (*e*) przez analizowaną ścianę:

$$H_{T,ie} = A_k \cdot U_{kc} = 15,84 \cdot 0,34 = 5,386 \text{ W/K}$$

Projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej (*i*) przez przenikanie przez analizowaną ścianę:

$$\Phi_{T,i} = H_{T,ie} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 5,386 \cdot [20 - (-20)] = 215 \text{ W}$$

4.1.2 Obliczenia wg PN-B-03406:1994

Dla porównania poniżej przedstawiono obliczenie straty ciepła przez przenikanie wg PN-B-03406:1994.

Długość ściany na podstawie wymiarów pomiędzy osiami ścian ograniczających wynosi 4,80 m, a wysokość 3,20 m. W związku z tym powierzchnia ściany wynosi:

$$A = 4,80 \cdot 3,2 = 15,36 \text{ m}^2$$

Strata ciepła przez przenikanie wynosi:

$$Q_o = U \cdot (t_i - t_e) \cdot A = 0,29 \cdot [20 - (-20)] \cdot 15,36 = 178 \text{ W}$$

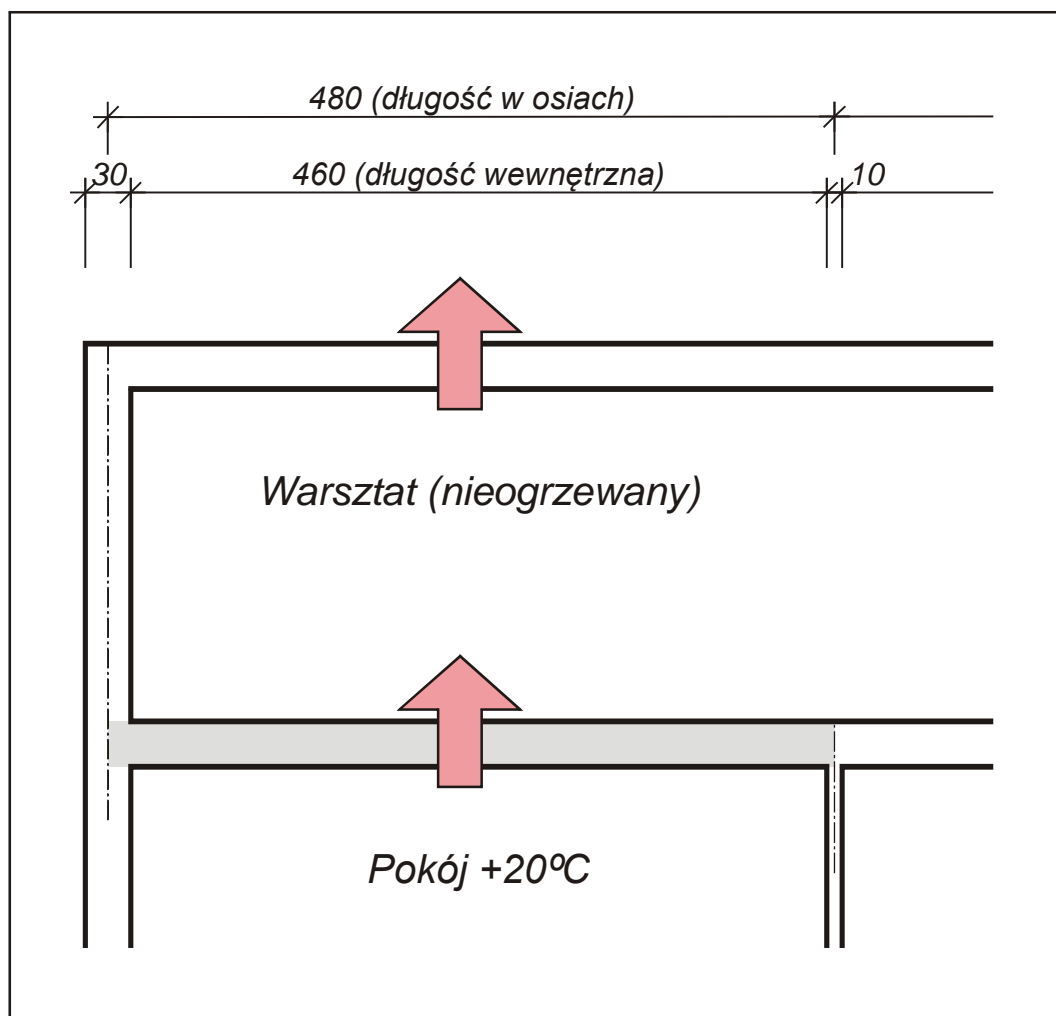
4.1.3 Porównanie wyników

Wartość obliczona wg normy PN-EN 12831:2006 jest o 21% wyższa w porównaniu z normą PN-B-03406:1994. Różnica ta wynika z dwóch powodów: po pierwsze ze zmiany sposobu ustalania powierzchni przegrody (wymiarzy zewnętrzne), a po drugie z dodatku na uwzględnienie liniowych mostków cieplnych (metoda uproszczona).

4.2 Przykład 2

Obliczyć wartość straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do otoczenia (*e*) przez przestrzeń nieogrzewaną (*u*), przez ścianę wg rysunku 4.2. Liniowe mostki cieplne uwzględnić metodą uproszczoną. Założenia:

- współczynnik przenikania ciepła: 0,44 W/m²K,
- wysokość zewnętrzna ściany: 3,20 m,
- grubość stropów: 35 cm,
- kubatura pomieszczenia ≤ 100 m³,
- liczba stropów przecinających izolację: 0,
- liczba przecinanych ścian: 0,
- otwory zewnętrzne: okno i drzwi,
- ilość przegród zewnętrznych: 2,
- lokalizacja: Gdańsk.



Rys. 4.2. Rysunek do przykładu 2

4.2.1 Obliczenia wg PN-EN 12831:2006

Współczynnik korekcyjny ΔU_{tb} ustalamy na podstawie tabeli 3.1:

$$\Delta U_{tb} = 0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Skorygowany współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych:

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} = 0,44 + 0,05 = 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Norma PN-EN 12831:2006 mówi, aby pole przegród zewnętrznych określać w oparciu o wymiary zewnętrzne. Natomiast nie precyzuje jednoznacznie, jakie wymiary przyjmować dla przegród wewnętrznych. W Polsce w tym przypadku przeważa stosowanie wymiarów w osiach przegród ograniczających, ponieważ są one bardziej miarodajne z punktu widzenia wymiany ciepła.

Długość ściany na podstawie wymiarów „w osiach” wynosi 4,80 m, a wysokość 3,20 m. W związku z tym powierzchnia ściany wynosi:

$$A_k = 4,8 \cdot 3,2 = 15,36 \text{ m}^2$$

Współczynnik redukcji temperatury, uwzględniający różnicę między temperaturą przestrzeni nieogrzewanej i projektową temperaturą zewnętrzną ustalamy w sposób orientacyjny na podstawie tabeli 3.4 („pomieszczenie z przynajmniej 2 ścianami zewnętrznymi, z drzwiami zewnętrznymi”):

$$b_u = 0,6$$

Współczynnik straty ciepła przez przenikanie ciepła z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do otoczenia (*e*) poprzez przestrzeń nieogrzewaną (*u*), przez analizowaną ścianę:

$$H_{T,iue} = A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u = 15,36 \cdot 0,49 \cdot 0,6 = 4,516 \text{ W/K}$$

Projektowa strata ciepła z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do otoczenia (*e*) poprzez przestrzeń nieogrzewaną (*u*), przez analizowaną ścianę:

$$\dot{\Phi}_{T,i} = H_{T,iue} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 4,516 \cdot [20 - (-16)] = 163 \text{ W}$$

4.2.2 Obliczenia wg PN-B-03406:1994

Dla porównania poniżej przedstawiono obliczenie straty ciepła przez przenikanie wg PN-B-03406:1994.

Temperatura powietrza w przestrzeni przylegającej została ustalona na podstawie normy PN-82/B-02403 [18] („pomieszczenia nieogrzewane z oknami lub drzwiami zewnętrznymi, z dwiema przegrodami zewnętrznymi”).

$$t_e = -6^\circ\text{C}$$

Strata ciepła przez przenikanie wynosi:

$$Q_o = U \cdot (t_i - t_e) \cdot A = 0,44 \cdot [20 - (-6)] \cdot 15,36 = 176 \text{ W}$$

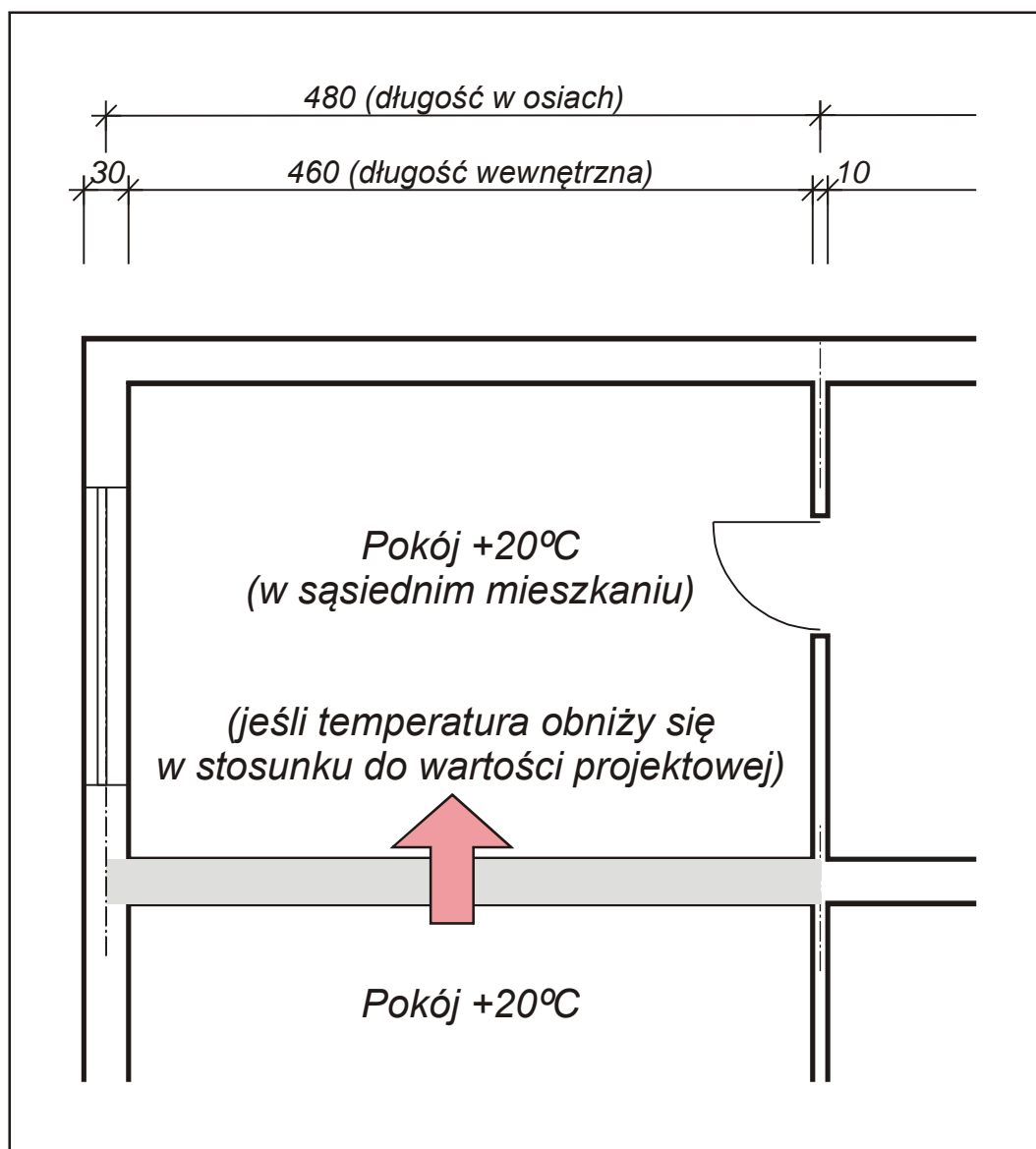
4.2.3 Porównanie wyników

Wartość obliczona wg normy PN-EN 12831:2006 jest o 5% niższa w porównaniu z normą PN-B-03406:1994, przy czym w obu przypadkach temperatura w pomieszczeniu nieogrzewanym, względnie współczynnik redukcji temperatury, zostały ustalone na podstawie wartości orientacyjnych.

4.3 Przykład 3

Obliczyć wartość straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do sąsiedniej przestrzeni (*j*) ogrzewanej, znajdującej się w innym mieszkaniu, przez ścianę wg rysunku 4.3. Liniowe mostki cieplne uwzględnić metodą uproszczoną. Założenia:

- współczynnik przenikania ciepła: 2,10 W/m²K,
- wysokość ściany: 3,20 m,
- lokalizacja: Białystok.



Rys. 4.3. Rysunek do przykładu 3

4.3.1 Obliczenia wg PN-EN 12831:2006

Długość ściany na podstawie wymiarów „w osiach” wynosi 4,80 m, a wysokość 3,20 m. W związku z tym powierzchnia ściany wynosi:

$$A_k = 4,8 \cdot 3,2 = 15,36 \text{ m}^2$$

Średnia roczna temperatura zewnętrzna dla IV strefy klimatycznej:

$$\theta_{m,e} = 6,9^\circ\text{C}$$

Projektowa temperatura przyległej przestrzeni ogrzewanej na podstawie tabeli 3.5:

$$\theta_{\text{przyległej przestrzeni}} = \frac{\theta_{\text{int},i} + \theta_{m,e}}{2} = \frac{20 + 6,9}{2} = 13,45^\circ\text{C}$$

Współczynnik redukcyjny temperatury określony jest następującym równaniem:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{przyległej\ przestrzeni}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{20 - 13,45}{20 - (-22)} = 0,156$$

Współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do sąsiedniej przestrzeni ogrzewanej (*j*) przez analizowaną ścianę:

$$H_{T,ij} = f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k = 0,156 \cdot 15,36 \cdot 2,1 = 5,030 \text{ W/K}$$

Projektowa strata ciepła z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do sąsiedniej przestrzeni ogrzewanej (*j*) przez analizowaną ścianę:

$$\Phi_{T,i} = H_{T,ij} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 5,030 \cdot [20 - (-22)] = 211 \text{ W}$$

4.3.2 Obliczenia wg PN-EN 12831:2006 z uwzględnieniem wymagań Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, (par. 134, ust. 6) [29] mówi, że regulatory dopływu ciepła do grzejników powinny umożliwiać użytkownikom uzyskanie w pomieszczeniach temperatury niższej od obliczeniowej, przy czym nie niższej niż 16°C w pomieszczeniach o temperaturze obliczeniowej 20°C i wyższej.

Wobec powyższego, jeżeli jako temperaturę przestrzeni przyległej przyjmiemy 16°C, to współczynnik redukcyjny temperatury będzie wynosił:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{przyległej\ przestrzeni}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{20 - 16}{20 - (-22)} = 0,095$$

Współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do sąsiedniej przestrzeni ogrzewanej (*j*) przez analizowaną ścianę:

$$H_{T,ij} = f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k = 0,095 \cdot 15,36 \cdot 2,1 = 3,072 \text{ W/K}$$

Projektowa strata ciepła z przestrzeni ogrzewanej (*i*) do sąsiedniej przestrzeni ogrzewanej (*j*) przez analizowaną ścianę:

$$\Phi_{T,i} = H_{T,ij} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) = 3,072 \cdot [20 - (-22)] = 129 \text{ W}$$

4.3.3 Obliczenia wg PN-B-03406:1994

Natomiast zgodnie z normą PN-B-03406:1994 nie uwzględnia się strat ciepła pomiędzy pomieszczeniami o tej samej temperaturze obliczeniowej lub jeśli różnica temperatury jest mniejsza niż 4 K. W związku z tym, w analizowanym przypadku strata ciepła przez przenikanie wynosi:

$$Q_o = 0 \text{ W}$$

4.3.4 Porównanie wyników

Wg normy PN-B-03406:1994, nie występują straty ciepła przez przenikanie przez analizowaną ścianę. Natomiast wg normy PN-EN 12831:2006 uzyskano niezerową wartość strat ciepła przez przenikanie do pokoju w sąsiednim mieszkaniu. Wartość tę uwzględnia się przy dobo-

rze grzejnika. Dzięki temu moc grzejnika będzie zwiększona na wypadek obniżenia temperatury (osłabienia ogrzewania) w sąsiednim mieszkaniu. Natomiast, jak już wspomniano, wartości tej straty ciepła nie należy uwzględniać przy doborze źródła ciepła.

4.4 Podsumowanie

W przeprowadzonych przykładowych obliczeniach – wg nowej normy uzyskano wyniki odbiegające od wyników uzyskanych na podstawie normy dotychczasowej. Różnice wynikają z:

- uwzględnienia mostków cieplnych,
- zmiany sposobu określania powierzchni przegrody (wymiary zewnętrzne),
- innego sposobu określania temperatury (względnie współczynnika redukcji temperatury) w pomieszczeniach nieogrzewanych,
- innym określeniu temperatury projektowej w pomieszczeniu ogrzewanym, należącym do osobnej jednostki budynku (innego mieszkania).

Mimo, że przedstawione przykłady obliczeniowe mają charakter „wrywkowy” i nie obejmują całego zakresu możliwych przypadków, już na ich podstawie można powiedzieć, że przyjęcie nowej normy ma duży wpływ nie tylko na sposób prowadzenia obliczeń, ale również na uzyskiwane wyniki. W związku z tym, wielkości powierzchni grzejnych i źródeł ciepła, określone na podstawie nowej normy, mogą się różnić nawet znacznie (powyżej skoku w typoszeregach urządzeń) od wielkości, dobranych na podstawie normy dotychczasowej.

5. Obliczanie projektowej straty ciepła do gruntu

5.1 Wprowadzenie

Na potrzeby normy PN-EN 12831:2006 straty ciepła mogą być obliczane wg normy EN ISO 13370:

- w sposób szczegółowy
- lub w sposób uproszczony, podany w normie PN-EN 12831:2006.

Sposób uproszczony polega na wykorzystywaniu tabel i wykresów, sporządzonych dla wybranych przypadków. W tym przypadku nie uwzględnia się mostków cieplnych. Norma PN-EN 12831:2006 podaje również uproszczony sposób obliczeń dla podziemia nieogrzewanego i podłogi podniesionej z wykorzystaniem współczynnika redukcji temperatury b_u .

5.2 Współczynnik straty ciepła przez przenikanie do gruntu

Wg normy PN-EN 12831:2006 współczynnik straty ciepła przez przenikanie z przestrzeni ogrzewanej (i) do gruntu (g) w warunkach ustalonych oblicza się w następujący sposób:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w, \text{ W/K} \quad (5.1)$$

gdzie:

- f_{g1} – współczynnik korekcyjny, uwzględniający wpływ rocznych wahań temperatury zewnętrznej (zgodnie z załącznikiem krajowym do normy PN-EN 12831:2006 wartość orientacyjna wynosi 1,45);
- f_{g2} – współczynnik redukcji temperatury, uwzględniający różnicę między średnią roczną temperaturą zewnętrzną i projektową temperaturą zewnętrzną;
- A_k – powierzchnia elementu budynku (k) stykająca się z gruntem, m^2 ;
- $U_{equiv,k}$ – równoważny współczynnik przenikania ciepła elementu budynku (k); W/m^2K ;
- G_w – współczynnik uwzględniający wpływ wody gruntowej.

Współczynnik redukcji temperatury wynosi:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad - \quad (5.2)$$

gdzie:

- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), $^{\circ}C$;
- $\theta_{m,e}$ – roczna średnia temperatura zewnętrzna, $^{\circ}C$;
- θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, $^{\circ}C$.

Woda gruntowa ma najczęściej pomijalny wpływ na wymianę ciepła w gruncie, chyba że występuje na małej głębokości i jej strumień jest duży. Współczynnik uwzględniający wpływ wody gruntowej G_w oblicza się w jeden z następujących sposobów:

- w sposób szczegółowy wg załącznika H do normy PN-EN ISO 13370:2001
- lub na podstawie wartości orientacyjnych, podanych w załączniku krajowym do normy PN-EN 12831:2006.

Załącznik krajowy do normy PN-EN 12831:2006 podaje dwie wartości orientacyjne współczynnika G_w :

- $G_w = 1,15$ jeśli odległość między założonym poziomem wody gruntowej i płytą podłogi jest mniejsza niż 1 m,
- $G_w = 1,00$ w pozostałych przypadkach.

5.3 Wymiar charakterystyczny podłogi

Kluczowym pojęciem dla określania strat ciepła przez podłogę do gruntu jest wymiar charakterystyczny podłogi B' , określony równaniem:

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P}, \text{ m} \quad (5.3)$$

gdzie:

- A – pole powierzchni podłogi, m^2 ;
- P – obwód podłogi (uwzględniający tylko ściany zewnętrzne), m.

Obwód podłogi P uwzględnia długość całkowitą ścian zewnętrznych, oddzielających ogrzewany budynek od otoczenia zewnętrznego lub nieogrzewanej przestrzeni, leżącej poza izolowaną obudową budynku (np. dobudowane garaże, pomieszczenia gospodarcze itp.)

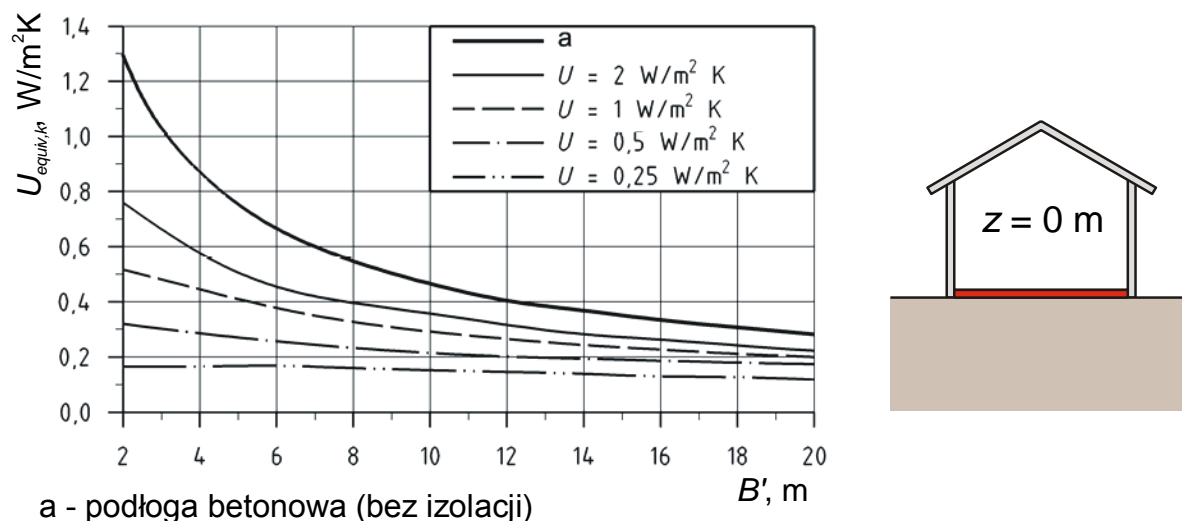
Wymiar charakterystyczny podłogi B' zdefiniowany jest w normie PN-EN ISO 13370:2001 w odniesieniu do całego budynku. Natomiast zgodnie z normą PN-EN 12831:2006 wymiar ten dla poszczególnych pomieszczeń powinien być określany w jeden z następujących sposobów:

- dla pomieszczeń bez ścian zewnętrznych stosuje się wartość B' obliczoną dla całego budynku;
- dla wszystkich pomieszczeń z dobrze izolowaną podłogą ($U_{\text{podłogi}} < 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) również stosuje się wartość B' obliczoną dla całego budynku;
- dla pozostałych pomieszczeń (pomieszczenia ze ścianami zewnętrznymi oraz jednocześnie ze słabo izolowaną podłogą) wartość B' należy obliczać oddzielnie dla każdego pomieszczenia.

Należy zwrócić uwagę, że wzoru (5.3) nie da się zastosować dla pomieszczeń bez ścian zewnętrznych, gdyż obwód P wynosi wówczas zero (zgodnie z powyższym stosuje się wtedy wartość obliczoną dla całego budynku).

5.4 Równoważny współczynnik przenikania ciepła

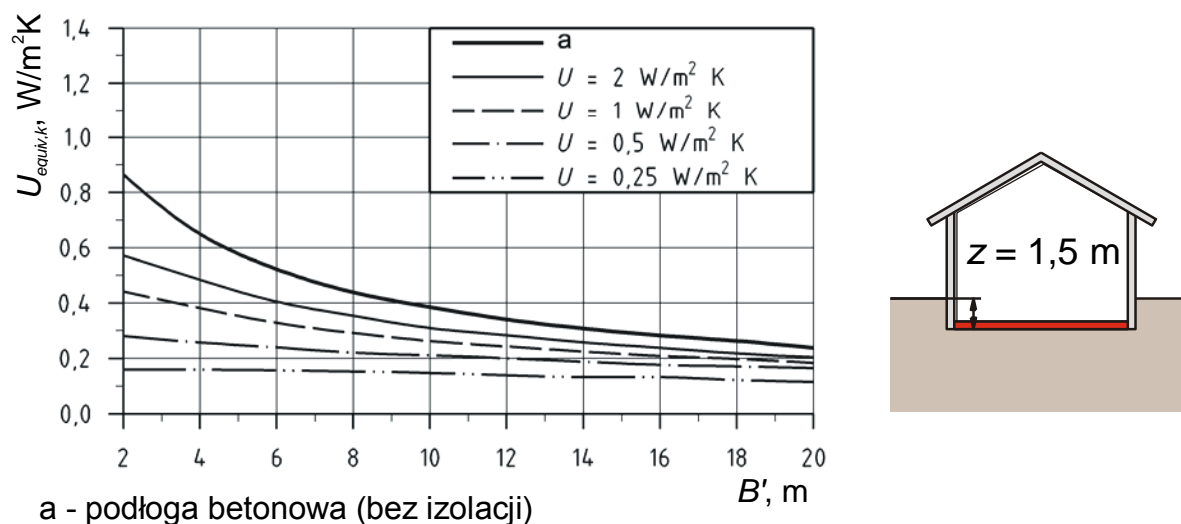
Wartości równoważnego współczynnika przenikania ciepła podłóg i ścian stykających się z gruntem można odczytać z wykresów (rys. 5.1–5.4) lub tabel 5.1–5.4. Należy zwrócić uwagę, że tabele i wykresy zostały opracowane tylko dla wybranych przypadków.



Rys. 5.1. Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi na poziomie terenu. Na podstawie [26]

Tabela 5.1. Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi na poziomie terenu [26]

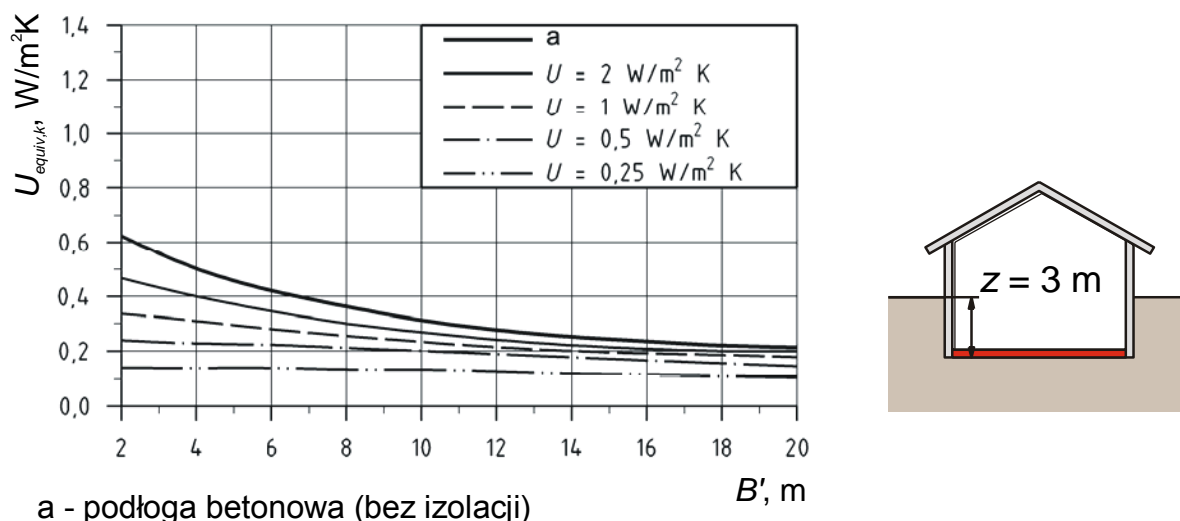
| Wartość B' m | Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi $U_{equiv,bf}$ (dla $z = 0$ m) W/m^2K | | | | |
|-------------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | bez izolacji | $U_{podłogi} = 2,0 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 1,0 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 0,5 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 0,25 W/m^2K$ |
| 2 | 1,30 | 0,77 | 0,55 | 0,33 | 0,17 |
| 4 | 0,88 | 0,59 | 0,45 | 0,30 | 0,17 |
| 6 | 0,68 | 0,48 | 0,38 | 0,27 | 0,17 |
| 8 | 0,55 | 0,41 | 0,33 | 0,25 | 0,16 |
| 10 | 0,47 | 0,36 | 0,30 | 0,23 | 0,15 |
| 12 | 0,41 | 0,32 | 0,27 | 0,21 | 0,14 |
| 14 | 0,37 | 0,29 | 0,24 | 0,19 | 0,14 |
| 16 | 0,33 | 0,26 | 0,22 | 0,18 | 0,13 |
| 18 | 0,31 | 0,24 | 0,21 | 0,17 | 0,12 |
| 20 | 0,28 | 0,22 | 0,19 | 0,16 | 0,12 |



Rys. 5.2. Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi ogrzewanego podziemia z płytą podłogi położoną 1,5 m poniżej poziomu terenu. Na podstawie [26]

Tabela 5.2. Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi ogrzewanego podziemia z płytą podłogi położoną 1,5 m poniżej poziomu terenu [26]

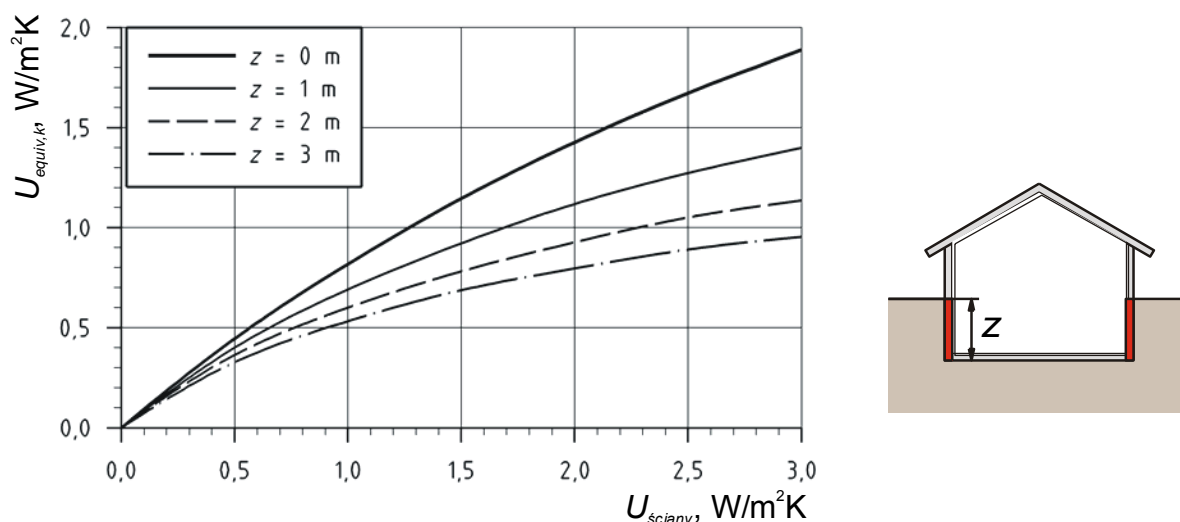
| Wartość B' m | Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi $U_{equiv,bf}$ (dla $z = 1,5$ m) W/m^2K | | | | |
|-------------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | bez izolacji | $U_{podłogi} = 2,0 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 1,0 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 0,5 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 0,25 W/m^2K$ |
| 2 | 0,86 | 0,58 | 0,44 | 0,28 | 0,16 |
| 4 | 0,64 | 0,48 | 0,38 | 0,26 | 0,16 |
| 6 | 0,52 | 0,40 | 0,33 | 0,25 | 0,15 |
| 8 | 0,44 | 0,35 | 0,29 | 0,23 | 0,15 |
| 10 | 0,38 | 0,31 | 0,26 | 0,21 | 0,14 |
| 12 | 0,34 | 0,28 | 0,24 | 0,19 | 0,14 |
| 14 | 0,30 | 0,25 | 0,22 | 0,18 | 0,13 |
| 16 | 0,28 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,12 |
| 18 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,16 | 0,12 |
| 20 | 0,24 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,11 |



Rys. 5.3. Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi ogrzewanego podziemia z płytą podłogi położoną 3,0 m poniżej poziomu terenu. Na podstawie [26]

Tabela 5.3. Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi ogrzewanego podziemia z płytą podłogi położoną 3,0 m poniżej poziomu terenu [26]

| Wartość B' m | Równoważny współczynnik przenikania ciepła podłogi $U_{equiv,bf}$ (dla $z = 3,0$ m) W/m^2K | | | | |
|-------------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | bez izolacji | $U_{podłogi} = 2,0 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 1,0 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 0,5 W/m^2K$ | $U_{podłogi} = 0,25 W/m^2K$ |
| 2 | 0,63 | 0,46 | 0,35 | 0,24 | 0,14 |
| 4 | 0,51 | 0,40 | 0,33 | 0,24 | 0,14 |
| 6 | 0,43 | 0,35 | 0,29 | 0,22 | 0,14 |
| 8 | 0,37 | 0,31 | 0,26 | 0,21 | 0,14 |
| 10 | 0,32 | 0,27 | 0,24 | 0,19 | 0,13 |
| 12 | 0,29 | 0,25 | 0,22 | 0,18 | 0,13 |
| 14 | 0,26 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,12 |
| 16 | 0,24 | 0,21 | 0,19 | 0,16 | 0,12 |
| 18 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,15 | 0,11 |
| 20 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,11 |



Rys. 5.4. Równoważny współczynnik przenikania ciepła ściany ogrzewanego podziemia. Na podstawie [26]

Tabela 5.4. Równoważny współczynnik przenikania ciepła ściany ogrzewanego podziemia [26]

| $U_{\text{ściany}}$ W/m ² K | Równoważny współczynnik przenikania ciepła ściany $U_{\text{equiv,bw}}$ W/m ² K | | | |
|---|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| | $z = 0 \text{ m}$ | $z = 1 \text{ m}$ | $z = 2 \text{ m}$ | $z = 3 \text{ m}$ |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,50 | 0,44 | 0,39 | 0,35 | 0,32 |
| 0,75 | 0,63 | 0,54 | 0,48 | 0,43 |
| 1,00 | 0,81 | 0,68 | 0,59 | 0,53 |
| 1,25 | 0,98 | 0,81 | 0,69 | 0,61 |
| 1,50 | 1,14 | 0,92 | 0,78 | 0,68 |
| 1,75 | 1,28 | 1,02 | 0,85 | 0,74 |
| 2,00 | 1,42 | 1,11 | 0,92 | 0,79 |
| 2,25 | 1,55 | 1,19 | 0,98 | 0,84 |
| 2,50 | 1,67 | 1,27 | 1,04 | 0,88 |
| 2,75 | 1,78 | 1,34 | 1,09 | 0,92 |
| 3,00 | 1,89 | 1,41 | 1,13 | 0,96 |

6. Obliczanie projektowej wentylacyjnej straty ciepła w przypadku wentylacji naturalnej

6.1 Wprowadzenie

W normie PN-EN 12831 [26] w miejsce dotychczasowego pojęcia „zapotrzebowanie na ciepło do wentylacji” występuje „projektowa wentylacyjna strata ciepła”.

Dotychczasowa norma PN-B-03406:1994 określała zapotrzebowanie na ciepło do wentylacji na podstawie strumienia powietrza wymaganego ze względów higienicznych. Natomiast wg normy PN-EN 12831 należy również określić strumień powietrza infiltrującego i przyjąć większą z tych dwóch wartości.

6.2 Projektowa wentylacyjna strata ciepła

Norma PN-EN 12831 podaje wzór do obliczania projektowej wentylacyjnej straty ciepła przestrzeni ogrzewanej:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad \text{W} \quad (6.1)$$

gdzie:

- $H_{V,i}$ – współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła, W/K;
- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;
- θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

6.3 Współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła

Jak wynika z równania (6.1) współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła $H_{V,i}$ odnosi stratę ciepła do różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej. Współczynnik ten oblicza się w następujący sposób:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p, \quad \text{W/K} \quad (6.2)$$

gdzie:

- \dot{V}_i – strumień objętości powietrza wentylacyjnego przestrzeni ogrzewanej (i), m³/s;
- ρ – gęstość powietrza w temperaturze $\theta_{i,int}$, kg/m³;
- c_p – ciepło właściwe powietrza w temperaturze $\theta_{i,int}$, J/kg·K.

Pomijając dla uproszczenia zmienność wartości gęstości i ciepła właściwego powietrza w funkcji temperatury i odnosząc strumień powietrza do jednej godziny, równanie (6.2) przyjmuje następującą postać:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i, \quad \text{W/K} \quad (6.3)$$

gdzie:

- \dot{V}_i – strumień objętości powietrza wentylacyjnego przestrzeni ogrzewanej (i), m³/h.

Sposób określania strumienia objętości powietrza wentylacyjnego zależy od tego, czy w pomieszczeniu znajduje się instalacja wentylacyjna czy nie.

6.4 Strumień objętości powietrza wentylacyjnego

W przypadku braku instalacji wentylacyjnej zakłada się, że powietrze dopływające do pomieszczenia charakteryzuje się parametrami powietrza zewnętrznego.

Jako wartość strumienia objętości powietrza wentylacyjnego należy przyjąć większą z dwóch wartości:

- wartość strumienia powietrza na drodze infiltracji $\dot{V}_{inf,i}$,
- minimalna wartość strumienia powietrza wentylacyjnego, wymagana ze względów higienicznych $\dot{V}_{min,i}$.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (6.4)$$

Dokładną metodę określania strumienia objętości powietrza w budynku podano w PN-EN 13465 [24]. Natomiast norma PN-EN 12831 zawiera zależności uproszczone, które przytoczono poniżej.

6.5 Infiltracja przez obudowę budynku

Norma PN-EN 12831 podaje wzór na obliczanie strumienia powietrza infiltrującego do przestrzeni ogrzewanej (i):

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i, \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (6.5)$$

gdzie:

- V_i – kubatura przestrzeni ogrzewanej (i) (obliczona na podstawie wymiarów wewnętrznych), m^3 ;
- n_{50} – krotność wymiany powietrza wewnętrznego, wynikająca z różnicy ciśnienia 50 Pa między wnętrzem a otoczeniem budynku, z uwzględnieniem wpływu nawiewników powietrza (tabela 6.1), h^{-1} ;
- e_i – współczynnik osłonięcia (tabela 6.2);
- ε_i – współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost prędkości wiatru w zależności od wysokości położenia przestrzeni ogrzewanej ponad poziomem terenu (tabela 6.3).

Współczynnik 2 w równaniu (6.5) uwzględnia najbardziej niekorzystny przypadek, w którym całe infiltrujące powietrze wpływa do budynku z jednej strony.

Tabela 6.1. Krotność wymiany powietrza dotycząca całego budynku [26]

| Konstrukcja | n_{50} h^{-1} | | |
|--------------------------------|---|--|---|
| | Stopień szczelności obudowy budynku (jakość uszczelek okiennych) | | |
| | wysoki (wysoka jakość uszczelek w oknach i drzwiach) | średni (okna z po- dwójnym oszkleniem, uszczelki standardo- we) | niski (pojedynczo oszkłone okna, bez uszczelki) |
| budynki jednorodzinne | < 4 | 4–10 | > 10 |
| inne mieszkania lub budynki | < 2 | 2–5 | > 5 |

Tabela 6.2. Współczynnik osłonięcia. Na podstawie [26]

| Klasy osłonięcia | e | | |
|---|---|------|------|
| | Ilość odsłoniętych otworów w przestrzeni ogrzewanej (okna i drzwi) | | |
| | 0 | 1 | > 1 |
| Brak osłonięcia (budynek w wietrznej prze- strzeni, wysokie budynki w centrach miast) | 0 | 0,03 | 0,05 |
| Średnie osłonięcie (budynki na prowincji z drze- wami lub innymi budynkami wokół nich, przedmieścia) | 0 | 0,02 | 0,03 |
| Dobrze osłonięte (budynki średnio wysokie w centrach miast, budynki w lasach) | 0 | 0,01 | 0,02 |

Tabela 6.3. Współczynnik poprawkowy ze względu na wysokość [26]

| Wysokość przestrzeni ogrzewanej ponad poziomem terenu (wysokość środka pomieszczenia ponad poziomem terenu) | ε |
|--|---------------|
| 0 – 10 m | 1,0 |
| >10 – 30 m | 1,2 |
| >30 m | 1,5 |

6.6 Minimalny strumień objętości powietrza ze względów higienicznych

Minimalny strumień objętości powietrza, wymagany ze względów higienicznych, dopływający do przestrzeni ogrzewanej (i) może być określony w sposób następujący:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i, \text{ m}^3/\text{h} \quad (6.6)$$

gdzie:

- n_{min} – minimalna krotność wymiany powietrza na godzinę (tabela 6.4), h^{-1} ;
- V_i – kubatura przestrzeni ogrzewanej (i) (obliczona na podstawie wymiarów wewnętrznych), m^3 .

Tabela 6.4. Minimalna krotność wymiany powietrza zewnętrznego [26]

| Typ pomieszczenia | n_{min} h^{-1} |
|--|------------------------------|
| Pomieszczenie mieszkalne (orientacyjnie) | 0,5 |
| Kuchnia lub łazienka z oknem | 0,5 |
| Pokój biurowy | 1,0 |
| Sala konferencyjna, sala lekcyjna | 2,0 |

Krotności wymiany powietrza podane w tabeli 6.4 odniesione są do wymiarów wewnętrznych. Jeśli w obliczeniach stosowane są wymiary zewnętrzne, wartości krotności wymiany powietrza podane w tabeli należy pomnożyć przez stosunek między kubaturą wewnętrzną i zewnętrzną (w przybliżeniu można przyjąć 0,8).

W przypadku otwartych kominków należy przyjmować wyższe wartości strumienia powietrza, wymagane ze względu na proces spalania.

6.7 Projektowe obciążenie cieplne budynku lub jego części

Przy obliczaniu strumienia powietrza infiltrującego do poszczególnych przestrzeni ogrzewanych w równaniu (6.5) występuje współczynnik 2, uwzględniający najbardziej niekorzystny przypadek, w którym całe infiltrujące powietrze wpływa do budynku z jednej strony (patrz punkt 6.5). Natomiast w przypadku obliczania obciążenia cieplnego całego budynku, taka konieczność nie zachodzi, ponieważ najgorszy przypadek nie wystąpi jednocześnie w pomieszczeniach z obu stron budynku. Dlatego sumę strumieni powietrza infiltrującego do poszczególnych przestrzeni ogrzewanych należy pomnożyć przez 0,5. W związku z tym strumień powietrza infiltrującego dla budynku określa się w następujący sposób:

$$\sum \dot{V}_i = \max\left(0,5 \cdot \sum \dot{V}_{inf,i}, \sum \dot{V}_{min,i}\right) \text{ m}^3/\text{h} \quad (6.7)$$

6.8 Przykład

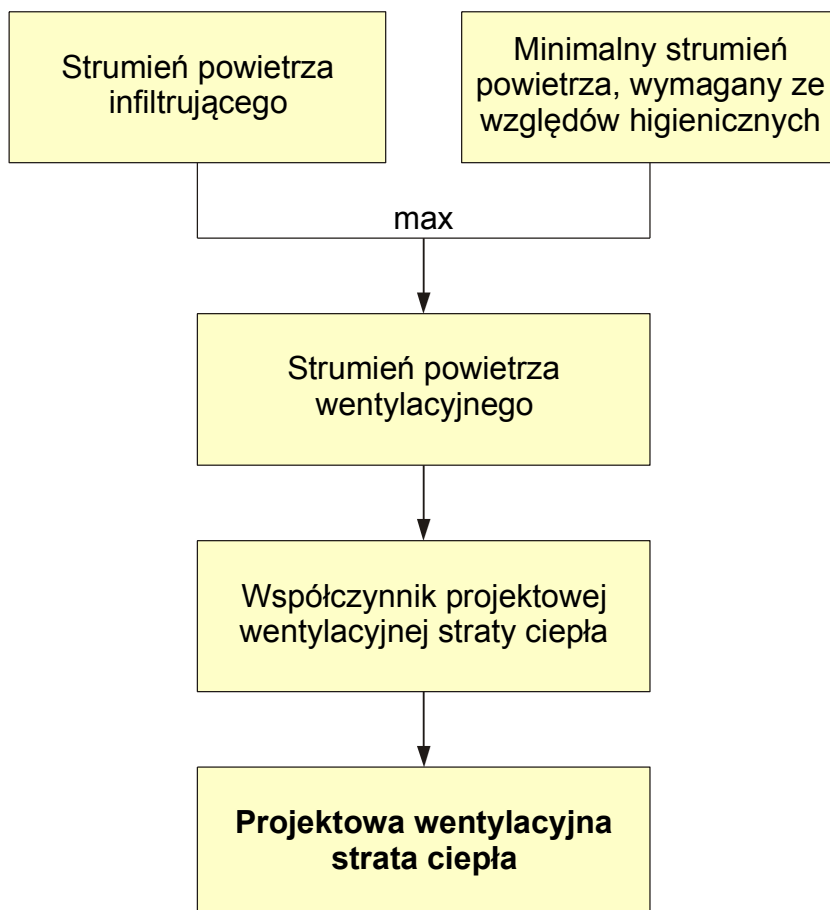
Obliczyć wartość projektowej wentylacyjnej straty ciepła dla pokoju mieszkalnego, dla następujących założeń:

- kubatura: 35 m^3 ,
- rodzaj budynku: wielorodzinny,
- stopień szczelności obudowy budynku: średni,

- klasa osłonięcia: średnie osłonięcie,
- ilość odsłoniętych otworów w przestrzeni ogrzewanej: 1,
- wysokość środka pomieszczenia ponad poziomem terenu: 14,5 m,
- lokalizacja: Poznań.

6.8.1 Obliczenia wg PN-EN 12831:2006

Kolejność obliczeń przedstawiono na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Kolejność obliczeń projektowej wentylacyjnej straty ciepła wg PN-EN 12831. Opracowanie własne.

Wartość n_{50} przyjęto $3,5 \text{ h}^{-1}$ (na podstawie tabeli 6.1).

Strumień powietrza infiltrującego do przestrzeni ogrzewanej (i):

$$\dot{V}_{inf} = 2 \cdot V \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon = 2 \cdot 35 \cdot 3,5 \cdot 0,02 \cdot 1,2 = 5,88 \text{ m}^3/\text{h}$$

Minimalny strumień objętości powietrza, wymagany ze względów higienicznych:

$$\dot{V}_{min} = 0,5 \cdot 35 = 17,50 \text{ m}^3/\text{h}$$

Strumień objętości powietrza wentylacyjnego:

$$\dot{V} = \max(\dot{V}_{inf}, \dot{V}_{min}) = \max(5,88; 17,50) = 17,50 \text{ m}^3/\text{h}$$

W omawianym przykładzie minimalny strumień objętości powietrza, wymagany ze względów higienicznych, przewyższa strumień powietrza infiltrującego. Dzieje się tak w przypadku większości typowych budynków do 10 m wysokości [6].

Współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła:

$$H_v = 0,34 \cdot \dot{V}_i = 0,34 \cdot 17,50 = 5,95 \text{ W/K}$$

Projektowa wentylacyjna strata ciepła:

$$\Phi_v = H_v \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 5,95 \cdot [20 - (-18)] = 226 \text{ W}$$

6.8.2 Obliczenia wg PN-B-03406:1994

Dla porównania poniżej przedstawiono obliczenie „zapotrzebowania na ciepło do wentylacji” wg PN-B-03406:1994:

$$Q_w = [0,34(t_i - t_e) - 9]V = [0,34(20 - (-18)) - 9]35 = 137 \text{ W}$$

6.8.3 Porównanie wyników

W tym przypadku wartość obliczona wg PN-EN 12831 jest znacznie wyższa (o 65%) niż otrzymana wg PN-B-03406:1994. Wynika to przede wszystkim z faktu, że zgodnie z normą PN-B-03406:1994 w zapotrzebowaniu na ciepło do wentylacji uwzględniało się (odejmowało się) wewnętrzne zyski ciepła (7 lub 9 W/m³).

7. Obliczanie projektowej wentylacyjnej straty ciepła w przypadku instalacji wentylacyjnej

7.1 Wprowadzenie

Jeżeli instalacja wentylacyjna nie jest zidentyfikowana, wentylacyjne straty ciepła określa się tak, jak w przypadku budynku bez instalacji wentylacyjnej (z wentylacją naturalną).

Powietrze nawiewane do przestrzeni ogrzewanej przez instalację wentylacyjną może mieć różną temperaturę. Norma PN-EN 12831 operuje wartością strumienia powietrza wentylacyjnego przy założeniu, że jego temperatura jest równa projektowej temperaturze zewnętrznej. Natomiast w przypadku wyższej temperatury powietrza wartość strumienia jest odpowiednio zredukowana obliczeniowo.

7.2 Projektowa wentylacyjna strata ciepła

Wzór na projektową wentylacyjną stratę ciepła jest taki sam, jak w przypadku wentylacji naturalnej:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \text{ W} \quad (7.1)$$

gdzie:

$H_{V,i}$ – współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła, W/K;

$\theta_{i,int}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;

θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

7.3 Współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła

Również współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła oblicza się w sposób analogiczny, jak w przypadku wentylacji naturalnej. Współczynnik ten odnosi stratę ciepła do różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej.

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p, \text{ W/K} \quad (7.2)$$

gdzie:

\dot{V}_i – strumień objętości powietrza wentylacyjnego przestrzeni ogrzewanej (i), m³/s;

ρ – gęstość powietrza w temperaturze $\theta_{i,int}$, kg/m³;

c_p – ciepło właściwe powietrza w temperaturze $\theta_{i,int}$, J/kg·K.

Pomijając dla uproszczenia zmienność wartości gęstości i ciepła właściwego powietrza w funkcji temperatury i odnosząc strumień powietrza do jednej godziny, równanie (7.2) przyjmuje następującą postać:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i, \text{ W/K} \quad (7.3)$$

gdzie:

\dot{V}_i – strumień objętości powietrza wentylacyjnego przestrzeni ogrzewanej (i), m³/h.

7.4 Strumień objętości powietrza wentylacyjnego

Norma PN-EN 12831 podaje następujący sposób obliczania strumienia powietrza wentylacyjnego strefy ogrzewanej (i) w przypadku występowania instalacji wentylacyjnej:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} \cdot f_{V,i} + \dot{V}_{mech,inf,i}, \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (7.4)$$

gdzie:

- $\dot{V}_{inf,i}$ – strumień powietrza infiltrującego do przestrzeni ogrzewanej (i), m^3/h ;
- $\dot{V}_{su,i}$ – strumień objętości powietrza doprowadzonego do przestrzeni ogrzewanej (i), m^3/h ;
- $f_{V,i}$ – współczynnik redukcji temperatury;
- $\dot{V}_{mech,inf,i}$ – nadmiar strumienia objętości powietrza usuwanego z przestrzeni ogrzewanej (i), m^3/h .

Obliczony w ten sposób strumień powietrza można określić jako „cieplnie równoważny” (w artykule [6] używane jest określenie „termicznie efektywny” – niem. „thermisch wirksam”), tzn. taki, którego podgrzanie od temperatury zewnętrznej do temperatury powietrza wewnętrznego wymagałoby takiej samej ilości ciepła, co podgrzanie rzeczywistych strumieni przy ich rzeczywistych wartościach temperatury. Z punktu widzenia zapotrzebowania na ciepło, strumień ten jest traktowany w dalszych obliczeniach, tak jak byłby to strumień powietrza o temperaturze zewnętrznej.

Określanie strumienia powietrza infiltrującego oraz minimalnego strumienia powietrza ze względów higienicznych, zostało omówione w rozdziale 6.

Wg normy PN-EN 12831 strumień powietrza wentylacyjnego \dot{V}_i nie powinien być mniejszy od minimalnego strumienia powietrza ze względów higienicznych. Rozumiejąc literalnie zapis w normie, można dojść do wniosku, że wymaganie to dotyczy strumienia, obliczonego wg równania (7.4). Jednak należy zwrócić uwagę, że wartość \dot{V}_i uwzględnia współczynnik redukcji temperatury. Dlatego wydaje się wystarczającym, aby niemniejszy niż strumień minimalny był rzeczywisty strumień powietrza zewnętrznego, a nie strumień termicznie równoważny (patrz przykład). Odnoszenie wymagań higienicznych do strumienia zredukowanego obliczeniowo (cieplnie równoważnego), który może być znacznie mniejszy od rzeczywistego, podważałoby natomiast m.in. celowość stosowania odzysku ciepła z powietrza wentylacyjnego.

7.5 Strumień powietrza doprowadzonego

Jeśli instalacja wentylacyjna jest zidentyfikowana, strumień powietrza infiltrującego do przestrzeni ogrzewanej (i) określa się na podstawie projektu instalacji.

Powietrze dostarczane do pomieszczenia ma zazwyczaj temperaturę wyższą od projektowej temperatury zewnętrznej. W tym przypadku należy pomnożyć strumień powietrza przez współczynnik redukcji temperatury:

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (7.5)$$

gdzie:

- $\theta_{int,i}$ – projektowa temperatura wewnętrzna przestrzeni ogrzewanej (i), °C;
 $\theta_{su,i}$ – temperatura powietrza dostarczanego do przestrzeni ogrzewanej (i), °C;
 θ_e – projektowa temperatura zewnętrzna, °C.

Współczynnik redukcji temperatury umożliwia przeliczenie strumienia objętości powietrza dostarczanego o danej temperaturze na odpowiedni strumień powietrza o temperaturze wewnętrznej, którego podgrzanie do temperatury powietrza wewnętrznego wymaga takiej samej ilości ciepła.

7.6 Odzysk ciepła

Jeśli stosowany jest system odzysku ciepła, temperatura $\theta_{su,i}$ może być obliczona na podstawie efektywności (sprawności) odzysku ciepła. Jeśli przy odzysku ciepła nie zachodzi jednocześnie wymiana wilgoci (np. w wymienniku płytowym – rys. 7.1) oraz strumień powietrza nawiewanego równy jest strumieniowi powietrza wywiewanego, zachodzi następująca równość [12]:

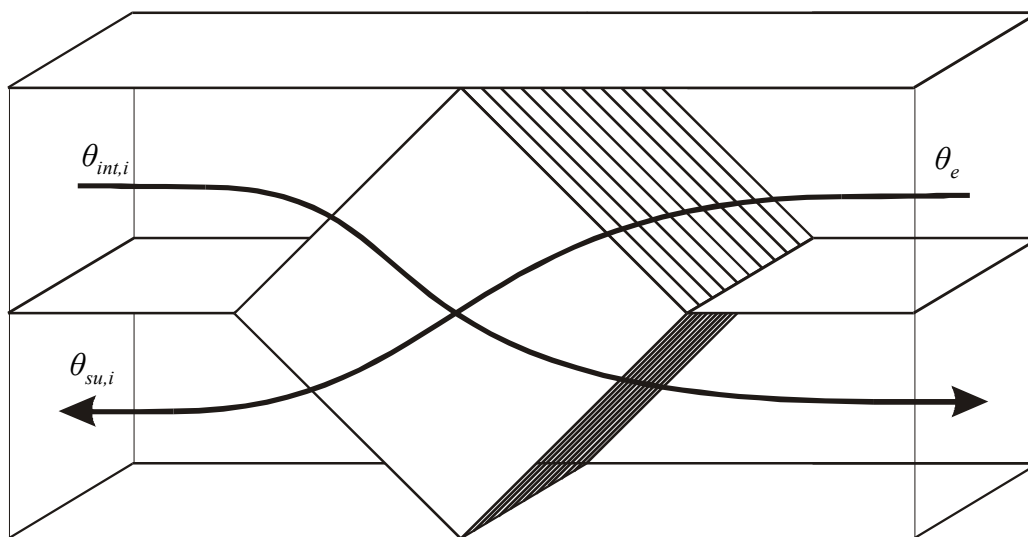
$$\theta_{su,i} = \theta_e + \eta_v (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (7.6)$$

gdzie:

η_v – efektywność (sprawność) odzysku ciepła;

pozostałe oznaczenia jw.

Układ temperatur pokazano na przykładzie wymiennika płytowego na rys. 7.1.



Rys. 7.1. Schemat wymiennika płytowego

Orientacyjne wartości efektywności odzysku ciepła dla różnych systemów podano w tabeli 7.1 [2].

Tabela 7.1. Porównanie systemów odzysku ciepła. Na podstawie [2]

| System odzysku ciepła | Efektywność odzysku ciepła (bez odzysku wilgoci) | Powietrze nawiewane i wywiewane w jednej centrali | Części ruchome | Możliwość wymiany wilgoci |
|--|--|---|----------------|---------------------------|
| Wymiennik płyto- wy | 50-60% | tak | nie | nie |
| Rekuperacja po- średnia | 40-50% | nie | tak | nie |
| Rurka cieplna | 50-60% | tak | nie | nie |
| Wymiennik obro- towy bez odzysku wilgoci | 65-80% | tak | tak | w małym stopniu |
| Wymiennik obro- towy z odzyskiem wilgoci | 65-80% | tak | tak | tak |

W tym miejscu warto zauważyć, że po podstawieniu temperatury powietrza dostarczanego z równania (7.6) do równania (7.5) otrzymamy:

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_e - \eta_V (\theta_{int,i} - \theta_e)}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (7.7)$$

$$f_{V,i} = \frac{(1 - \eta_V)(\theta_{int,i} - \theta_e)}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (7.8)$$

W związku z tym, współczynnik redukcji temperatury w przypadku odzysku ciepła z powietrza usuwanego, przy podanych wyżej założeniach, można obliczyć z następującego równania:

$$f_{V,i} = 1 - \eta_V \quad (7.9)$$

7.7 Nadmiar strumienia powietrza usuwanego

Norma zakłada, że jeżeli strumień powietrza usuwanego z pomieszczenia jest większy od strumienia dostarczanego, to powstała różnica jest kompensowana przez strumień powietrza zewnętrznego, dopływającego przez obudowę budynku.

Jeżeli nadmiar strumienia powietrza usuwanego nie jest inaczej określony, to jego wartość w odniesieniu do całego budynku można obliczyć w następujący sposób:

$$\dot{V}_{mech,inf} = \max(\dot{V}_{ex} - \dot{V}_{su}, 0), \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.10)$$

gdzie:

\dot{V}_{ex} – strumień objętości powietrza usuwanego w odniesieniu do całego budynku, m^3/h ;

\dot{V}_{su} – strumień objętości powietrza doprowadzonego w odniesieniu do całego budynku, m³/h.

W budynkach mieszkalnych, strumień objętości powietrza doprowadzanego w odniesieniu do całego budynku jest często przyjmowany jako równy zeru.

Wartość nadmiaru strumienia powietrza usuwanego dla całego budynku, otrzymaną wg równania (7.10), rozdziela się następnie na poszczególne przestrzenie budynku na podstawie ich przepuszczalności. Jeśli przepuszczalności nie zostały określone, rozdział strumienia powietrza zewnętrznego może być przeprowadzony w sposób uproszczony, proporcjonalnie do kubatury każdej przestrzeni:

$$\dot{V}_{mech,inf,i} = \dot{V}_{mech,inf} \frac{V_i}{\sum V_i}, \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (7.11)$$

gdzie:

V_i – kubatura przestrzeni (i), m³.

W analogiczny sposób można rozdzielać strumień powietrza dostarczonego do całego budynku.

7.8 Projektowe obciążenie cieplne budynku lub jego części

Strumień powietrza infiltrującego dla całego budynku norma określa w następujący sposób:

$$\sum \dot{V}_i = 0,5 \cdot \sum \dot{V}_{inf,i} + (1 - \eta_V) \sum \dot{V}_{su,i} + \dot{V}_{mech,inf,i}, \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (7.12)$$

Podobnie jak w równaniu dla wentylacji naturalnej, przed sumą strumieni powietrza infiltrującego występuje mnożnik 0,5. Wynika on z tego, że przy obliczaniu strumienia powietrza infiltrującego do poszczególnych przestrzeni ogrzewanych stosuje się współczynnik 2, uwzględniający najbardziej niekorzystny przypadek, w którym całe infiltrujące powietrze wpływa do budynku z jednej strony. Natomiast w przypadku obliczania obciążenia cieplnego całego budynku, nie zachodzi konieczność uwzględniania mnożnika 2, ponieważ wyżej opisana niekorzystna sytuacja nie wystąpi jednocześnie w pomieszczeniach z obu stron budynku (patrz punkt 6.7).

Dodatkowo norma mówi, że jeśli dostarczane powietrze jest ogrzewane przez sąsiednią instalację (instalację wentylacyjną), należy uwzględnić to w obliczeniach wymaganego obciążenia cieplnego do zwymiarowania źródła ciepła.

7.9 Przykład

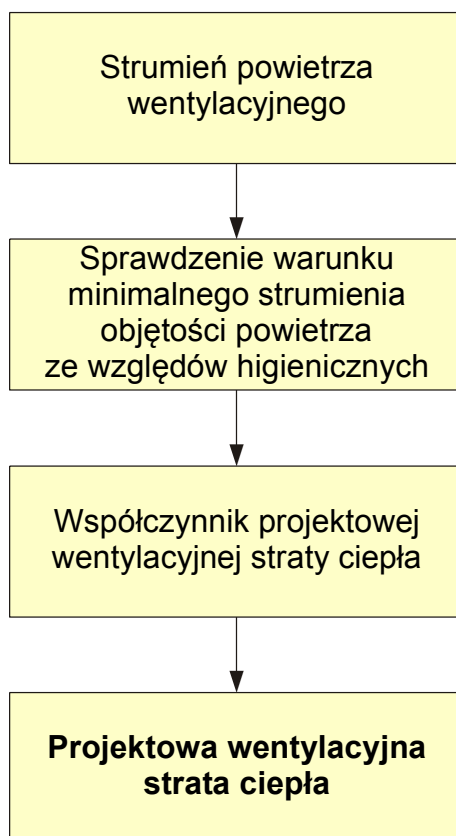
Obliczyć wartość projektowej wentylacyjnej straty ciepła dla pokoju mieszkalnego, dla następujących założeń:

- kubatura: 35 m³,
- rodzaj budynku: wielorodzinny,
- stopień szczelności obudowy budynku: średni,
- klasa osłonięcia: średnie osłonięcie,
- ilość odsłoniętych otworów w przestrzeni ogrzewanej: 1,
- wysokość środka pomieszczenia ponad poziomem terenu: 14,5 m,
- strumień objętości powietrza doprowadzonego do przestrzeni ogrzewanej: 25 m³/h,
- nadmiar strumienia objętości powietrza usuwanego z przestrzeni ogrzewanej: 0 m³/h,

- zastosowano wymiennik płytowy do odzysku ciepła z powietrza usuwanego o efektywności 60% (strumień powietrza usuwanego jest równy strumieniowi powietrza dostarczanego), brak recyrkulacji powietrza,
- lokalizacja: Poznań.

7.9.1 Obliczenia wg PN-EN 12831:2006

Kolejność obliczeń przedstawiono na rys. 7.2.



Rys. 7.2. Kolejność obliczeń projektowej wentylacyjnej straty ciepła wg PN-EN 12831. Opracowanie własne.

Wartość n_{50} przyjęto $3,5 \text{ h}^{-1}$ (na podstawie tabeli 6.1), $e = 0,02$ (tabela 6.2), $\varepsilon = 1,2$ (tabela 6.3).

Strumień powietrza infiltrującego do przestrzeni ogrzewanej (i):

$$\dot{V}_{inf} = 2 \cdot V \cdot n_{50} \cdot e \cdot \varepsilon = 2 \cdot 35 \cdot 3,5 \cdot 0,02 \cdot 1,2 = 5,88 \text{ m}^3/\text{h}$$

Temperatura powietrza dostarczanego do przestrzeni ogrzewanej z uwzględnieniem odzysku ciepła z powietrza usuwanego:

$$\theta_{su,i} = \theta_e + \eta_V (\theta_{int,i} - \theta_e) = -18 + 0,6[20 - (-18)] = 4,8^\circ\text{C}$$

Współczynnik redukcji temperatury wg równania (7.5):

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e} = \frac{20 - 4,8}{20 - (-18)} = 0,4$$

Współczynnik redukcji temperatury można również obliczyć wg równania (7.9):

$$f_{v,i} = 1 - \eta_v = 1 - 0,6 = 0,4$$

Strumień objętości powietrza wentylacyjnego:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} \cdot f_{v,i} + \dot{V}_{mech,inf,i} = 5,88 + 25 \cdot 0,4 + 0 = 15,88 \text{ m}^3/\text{h}$$

Minimalny strumień objętości powietrza, wymagany ze względów higienicznych:

$$\dot{V}_{min} = 0,5 \cdot 35 = 17,50 \text{ m}^3/\text{h}$$

Obliczona wartość termicznie równoważnego strumienia objętości powietrza wentylacyjnego (15,88 m³/h) jest mniejsza od wartości minimalnej, wymaganej ze względów higienicznych (17,50 m³/h). Jednak obliczona w sposób podany w normie moc ciepła pozwoli na podgrzanie strumienia powietrza 30,88 m³/h, który jest prawie dwa razy większy od strumienia minimalnego. Dlatego do dalszych obliczeń wydaje się celowe przyjąć wartość zredukowaną 15,88 m³/h. Wartość strumienia jest zredukowana, ponieważ dalej, przy obliczaniu straty ciepła, zakłada się, że powietrze jest podgrzewane od temperatury zewnętrznej.

Współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła:

$$H_v = 0,34 \cdot \dot{V}_i = 0,34 \cdot 15,88 = 5,40 \text{ W/K}$$

Projektowa wentylacyjna strata ciepła:

$$\Phi_v = H_v \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 5,40 \cdot [20 - (-18)] = 205 \text{ W}$$

Natomiast przyjmując zgodnie z zapisem w normie PN-EN 12831:2006 strumień objętości powietrza wentylacyjnego jako równy minimalnemu strumieniowi objętości powietrza wymaganemu ze względów higienicznych, współczynnik projektowej wentylacyjnej straty ciepła wynosi:

$$H_v = 0,34 \cdot \dot{V}_i = 0,34 \cdot 17,5 = 5,95 \text{ W/K}$$

Natomiast projektowa wentylacyjna strata ciepła wynosi w tym przypadku:

$$\Phi_v = H_v \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 5,95 \cdot [20 - (-18)] = 226 \text{ W}$$

Otrzymana w ten sposób wartość jest wyższa, ponieważ nie w pełni uwzględnia korzyści wynikające z zastosowania systemu odzysku ciepła z powietrza usuwanego.

7.9.2 Obliczenia wg PN-B-03406:1994

Dla porównania poniżej przedstawiono obliczenie „zapotrzebowania na ciepło do wentylacji” wg PN-B-03406:1994. Norma ta nie przewidywała jasno możliwości współpracy instalacji grzewczej i wentylacyjnej. Jednak po uwzględnieniu poprawki, zaproponowanej przez Piotra Wereszczyńskiego [14], można zapisać:

$$Q_w = 0,34(t_i - t_n)\dot{V}_w - q_{zc} \cdot V = 0,34(20 - 4,8)25 - 9 \cdot 35 = 129 - 315 = -186 \text{ W}$$

Ponieważ obliczona wartość jest ujemna, należy zgodnie z normą przyjąć zero. Oznacza to, że założone w normie zyski ciepła 9 W/m³ pokryją w całości zapotrzebowanie ciepła do podgrzania powietrza wentylacyjnego.

7.10 Podsumowanie

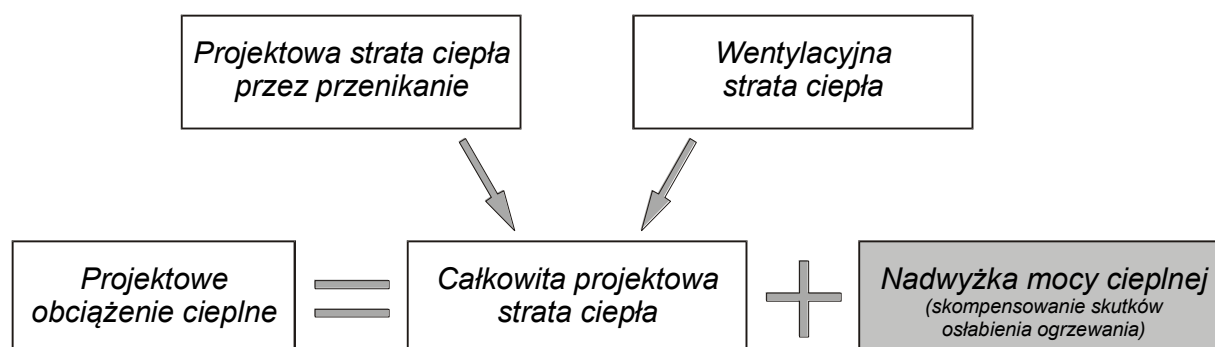
Norma PN-EN 12831 przewiduje explicite możliwość współpracy instalacji centralnego ogrzewania i instalacji wentylacyjnej, co jest jej zaletą w porównaniu z normą dotychczasową. Jednak wydaje się celowym doprecyzowanie warunku minimalnego strumienia powietrza ze względów higienicznych. Zdaniem autorów niniejszy warunek powinien odnosić się do rzeczywistego strumienia powietrza zewnętrznego, a nie do strumienia cieplnie równoważnego (zredukowanego obliczeniowo z uwagi na inną temperaturę powietrza wentylacyjnego niż temperatura zewnętrzna). Taką interpretację potwierdza drugie wydanie niemieckiego załącznika krajowego, chociaż nie wynika to jednoznacznie z tekstu samej normy europejskiej.

8. Nadwyżka mocy cieplnej wymagana do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania

8.1 Wprowadzenie

Istotną zmianą, wprowadzoną przez normę PN-EN 12831:2006, w stosunku do metodyki dotychczasowej jest rozróżnienie pojęć „całkowita projektowa strata ciepła” i „projektowe obciążenie cieplne”.

Różnica polega na tym, że „projektowe obciążenie cieplne” – obok całkowitej projektowej straty ciepła – uwzględnia dodatkowo nadwyżkę mocy cieplnej, wymaganą do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania (rys. 8.1).



Rys. 8.1. Porównanie pojęć „całkowita projektowa strata ciepła” i „projektowe obciążenie cieplne”

Projektowe obciążenie cieplne przestrzeni ogrzewanej określone jest równaniem:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i}, \quad W \quad (8.1)$$

gdzie:

- $\Phi_{T,i}$ – projektowa strata ciepła ogrzewanej przestrzeni (i) przez przenikanie, W;
- $\Phi_{V,i}$ – projektowa wentylacyjna strata ciepła ogrzewanej przestrzeni (i), W;
- $\Phi_{RH,i}$ – nadwyżka mocy cieplnej wymagana do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania strefy ogrzewanej (i), W.

Jak już wspomniano, w normie PN-B-03406:1994 [19] zrezygnowano z występującego wcześniej „dodatku na przerwy w działaniu ogrzewania” (czyli odpowiednika wprowadzonej obecnie „nadwyżki mocy cieplnej”). W momencie wprowadzenia normy PN-B-03406:1994 wycofanie tego dodatku uzasadniono względami ekonomicznymi [19]. Miało to zapobiegać znacznemu wzrostowi kosztów elementów instalacji (źródeł ciepła, grzejników, przewodów). Dlatego założono ciągłość działania instalacji przy temperaturze równej lub niższej niż -5°C .

Natomiast w obecnej sytuacji ekonomicznej stosunek kosztów eksploatacyjnych do kosztów inwestycyjnych instalacji grzewczych jest znacznie większy niż wcześniej i dlatego ponowne umożliwienie stosowania osłabienia ogrzewania także przy niskich temperaturach zewnętrznych wydaje się uzasadnione.

8.2 Założenia metody

Straty ciepła oblicza się, zakładając ustalony model wymiany ciepła. Natomiast ogrzewanie z przerwami lub osłabieniem wymaga zapewnienia nadwyżki mocy ponad moc, która pozwala pokrywać straty ciepła w warunkach ustalonej wymiany ciepła. Nadwyżka ta umożliwia osiągnięcie wymaganej temperatury wewnętrznej w określonym czasie po okresie osłabienia.

Ogólnie nadwyżka zależy od następujących czynników:

- pojemności cieplnej budynku,
- czasu, w którym ma być osiągnięta wymagana temperatura wewnętrzna,
- zakładanego obniżenia temperatury w okresie osłabienia ogrzewania,
- charakterystyk układu regulacji instalacji.

Nadwyżka mocy cieplnej czasami nie jest wymagana, np.:

- jeśli układ regulacji wyłącza program osłabienia w okresie niskich temperatur zewnętrznych (podobnie, jak było to przyjęte w normie PN-B-03406:1994),
- straty ciepła mogą być ograniczone w okresie osłabienia ogrzewania, np. poprzez zmniejszenie intensywności wentylacji.

Zgodnie z normą PN-EN 12831:2006 nadwyżka mocy powinna być uzgodniona z klientem (zleceniodawcą).

Nadwyżka mocy może być określona metodą dokładną na podstawie obliczeń dynamicznych. Natomiast norma PN-EN 12831:2006 podaje metodę uproszczoną. Metoda ta może być stosowana w odniesieniu do:

- budynków mieszkalnych (okres osłabienia do 8 godzin, konstrukcja nie jest lekka),
- budynków niemieszkalnych (okres osłabienia weekendowego do 48 godzin, okres użytkowania do 8 godzin dziennie, projektowa temperatura wewnętrzna od 20°C do 22°C).

Efektywna masa budynku jest klasyfikowana w trzech kategoriach:

- duża masa budynku (betonowe podłogi i sufity połączone ze ścianami z cegły lub betonu);
- średnia masa budynku (betonowe podłogi i sufity oraz lekkie ściany);
- lekka masa budynku (podwieszane sufity i podniesione podłogi oraz lekkie ściany).

8.3 Współczynnik nagrzewania

Nadwyżka mocy cieplnej do skompensowania skutków osłabienia dla przestrzeni ogrzewanej (*i*) może być określona w następujący sposób:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH}, \quad \text{W} \quad (8.2)$$

gdzie:

- A_i – wewnętrzna powierzchnia podłogi przestrzeni ogrzewanej (*i*), m²;
- f_{RH} – współczynnik nagrzewania.

Współczynnik nagrzewania f_{RH} zależy od założonego obniżenia temperatury w okresie osłabienia ogrzewania i czasu nagrzewania, w którym ma być osiągnięta wymagana temperatura wewnętrzna. Wartości współczynnika nagrzewania są podane w załączniku krajowym do normy PN-EN 12831:2006 (tabela 8.1 i 8.2). Wartości podane w tabelach odnoszą się do wewnętrznej powierzchni podłogi i mogą być stosowane dla pomieszczeń, których średnia wysokość nie przekracza 3,5 m. Wartości tych nie stosuje się w przypadku elektrycznego ogrzewania akumulacyjnego.

Tabela 8.1. Współczynnik nagrzewania w budynkach niemieszkalnych, osłabienie nocne maksimum przez 12 h [26]

| Czas nagrzewania, godz. | Współczynnik nagrzewania f_{RH} , W/m^2 | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---------|------|--------------|---------|------|--------------|---------|------|
| | Zakładane obniżenie temperatury podczas osłabienia ^a | | | | | | | | |
| | 2 K | | | 3 K | | | 4 K | | |
| | masa budynku | | | masa budynku | | | masa budynku | | |
| | niska | średnia | duża | niska | średnia | duża | niska | średnia | duża |
| 1 | 18 | 23 | 25 | 27 | 30 | 27 | 36 | 27 | 31 |
| 2 | 9 | 16 | 22 | 18 | 20 | 23 | 22 | 24 | 25 |
| 3 | 6 | 13 | 18 | 11 | 16 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 4 | 4 | 11 | 16 | 6 | 13 | 16 | 11 | 16 | 16 |

^a W dobrze izolowanych szczelnych budynkach wystąpienie spadku temperatury wewnętrznej podczas osłabienia o więcej niż 2 do 3 K nie jest bardzo prawdopodobne. Zależy to od warunków klimatycznych i masy cieplnej budynku.

Tabela 8.2. Współczynnik nagrzewania w budynkach mieszkalnych, osłabienie nocne maksimum przez 8 h [26]

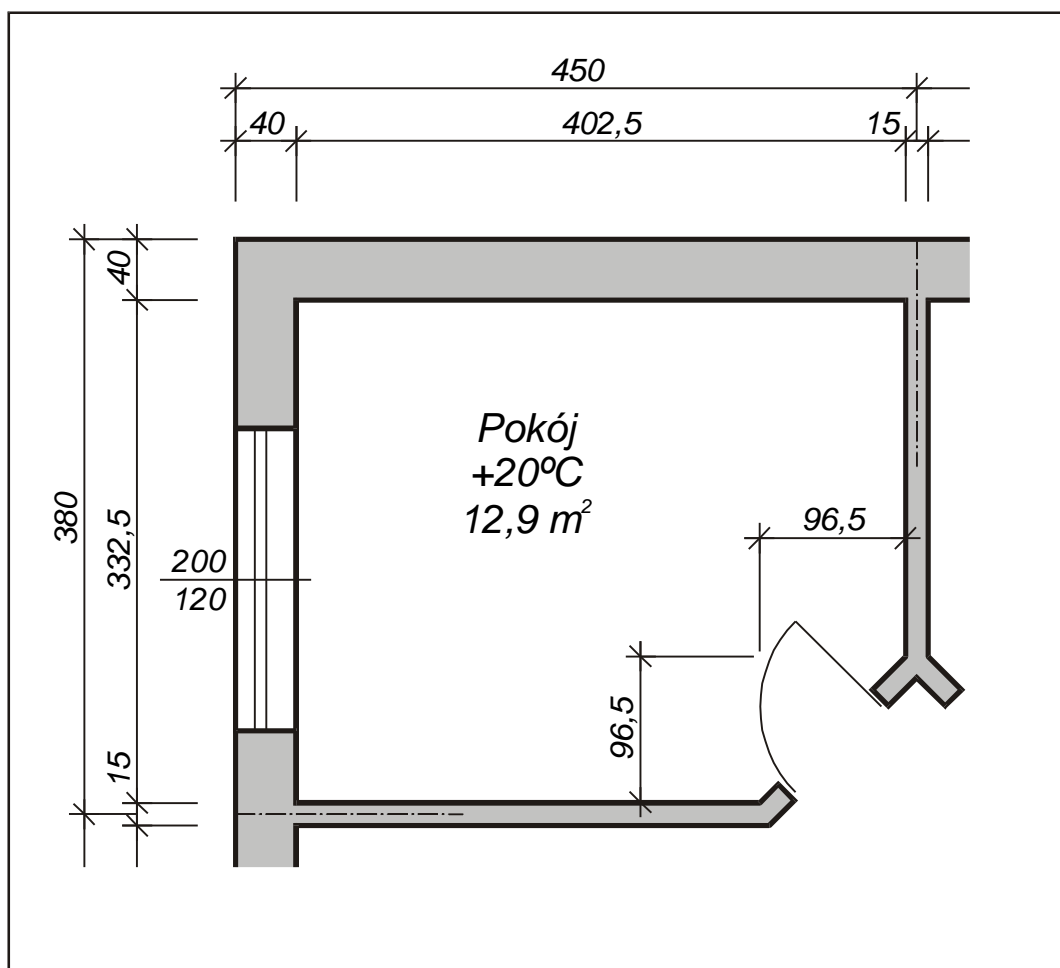
| Czas nagrzewania, godz. | Współczynnik nagrzewania f_{RH} , W/m^2 | | |
|-------------------------|---|-------------------|-------------------|
| | Zakładane obniżenie temperatury podczas osłabienia ^a | | |
| | 1 K | 2 K | 3 K |
| | masa budynku duża | masa budynku duża | masa budynku duża |
| 1 | 11 | 22 | 45 |
| 2 | 6 | 11 | 22 |
| 3 | 4 | 9 | 16 |
| 4 | 2 | 7 | 13 |

^a W dobrze izolowanych szczelnych budynkach wystąpienie spadku temperatury wewnętrznej podczas osłabienia o więcej niż 2 do 3 K nie jest bardzo prawdopodobne. Zależy to od warunków klimatycznych i masy cieplnej budynku.

8.4 Przykład

Obliczyć nadwyżkę mocy cieplnej do skompensowania skutków osłabienia dla pokoju mieszkalnego z rys. 8.2, przy następujących założeniach:

- wysokość pomieszczenia: 2,8 m,
- masa budynku: duża,
- zakładane obniżenie temperatury podczas osłabienia nocnego: 2 K,
- czas nagrzewania:
 - a) 1 godz.,
 - b) 2 godz.



Rys. 8.2. Rysunek do przykładu. Rzut pomieszczenia

Rozwiązanie:

ad a) Współczynnik nagrzewania f_{RH} odczytujemy z tabeli 8.2 (budynek mieszkalny):

$$f_{RH} = 22 \text{ W/m}^2.$$

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} = 12,9 \cdot 22 = 285 \text{ W}$$

ad b) Współczynnik nagrzewania $f_{RH} = 11 \text{ W/m}^2$.

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} = 12,9 \cdot 11 = 142 \text{ W}$$

Wydłużenie czasu nagrzewania pomieszczenia po osłabieniu nocnym z 1 do 2 godzin spowodowało dwukrotne zmniejszenie wymaganej nadwyżki mocy cieplnej. Natomiast dalsze zwiększanie czasu przyniesie już znacznie mniejsze redukcje nadwyżki mocy.

8.5 Podsumowanie

Zakładanie dużego obniżenia temperatury w okresie osłabienia i krótkiego czasu nagrzewania po osłabieniu powoduje uzyskanie dużych wartości wymaganej nadwyżki mocy cieplnej. Dlatego parametry te należy uzgodnić ze zleceniodawcą.

Metoda określania nadwyżki mocy cieplnej do skompensowania skutków osłabienia, zawarta w normie PN-EN 12831:2006, jest uproszczona. Dokładniejsze wyniki można uzyskać na drodze obliczeń dynamicznych, które mogą uwzględniać indywidualne cechy danego budynku.

9. Obliczanie obciążenia cieplnego wysokich pomieszczeń

9.1 Wprowadzenie

Podstawowa metoda obliczeniowa podana w normie PN-EN 12831:2006 [26] opiera się na założeniu jednakowej temperatury wewnętrznej w ogrzewanym pomieszczeniu. Założenie takie jest spełnione z wystarczającą dokładnością w pomieszczeniach o wysokości do 5 m. Natomiast w pomieszczeniach wyższych występuje znaczny pionowy gradient temperatury, który zwiększa straty ciepła.

Pionowy gradient temperatury zależy od następujących czynników:

- wysokości pomieszczenia,
- strat ciepła pomieszczenia (poziomu izolacji cieplnej i strefy klimatycznej),
- typu i lokalizacji grzejników.

Wpływ gradientu temperatury uwzględnia się w postaci dodatków do projektowych strat ciepła. Dodatki te najlepiej byłoby określać na podstawie wyników dynamicznych obliczeń symulacyjnych, gdyż można by wówczas uwzględniać indywidualne właściwości poszczególnych budynków.

9.2 Współczynnik poprawkowy

Norma PN-EN 12831:2006 w załączniku B podaje orientacyjne wartości współczynnika poprawkowego ze względu na wysokość pomieszczenia (tabela 9.1). Wartości te można stosować dla budynków, w których projektowe straty ciepła nie przekraczają 60 W/m^2 powierzchni podłogi. Skorygowaną całkowitą projektową stratę ciepła przestrzeni ogrzewanej (i) oblicza się wówczas w następujący sposób:

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{h,i}, \quad \text{W} \quad (9.1)$$

gdzie:

- $\Phi_{T,i}$ – projektowa strata ciepła przestrzeni ogrzewanej (i) przez przenikanie, W;
- $\Phi_{V,i}$ – projektowa wentylacyjna strata ciepła przestrzeni ogrzewanej (i), W;
- $f_{h,i}$ – współczynnik poprawkowy ze względu na wysokość pomieszczenia, określany wg tabeli 9.1.

9.3 Przykład

Obliczyć całkowitą projektową stratę ciepła przestrzeni ogrzewanej, dla następujących założeń:

- projektowa strata ciepła przez przenikanie: 2 540 W,
- projektowa wentylacyjna strata ciepła: 450 W,
- wysokość pomieszczenia 7 m,
- grzejniki konwekcyjne.

Rozwiązanie:

Współczynnik poprawkowy ze względu na wysokość pomieszczenia odczytujemy z tabeli 9.1 $f_{h,i} = 1,15$.

$$\Phi_i = (\Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}) \cdot f_{h,i} = (2540 + 450) \cdot 1,15 = 3439 \text{ W}$$

Tabela 9.1. Współczynnik poprawkowy ze względu na wysokość pomieszczenia [26]

| Sposób ogrzewania oraz typ i lokalizacja grzejników | Współczynnik $f_{h,i}$ | |
|---|---------------------------------|--|
| | Wysokość przestrzeni ogrzewanej | |
| | 5 do 10 m | 10 do 15 m |
| GŁÓWNIIE PRZEZ PROMIENIOWANIE | | |
| Ogrzewanie podłogowe | 1 | 1 |
| Ogrzewanie sufitowe (poziom temperatury < 40°C) | 1,15 | niewłaściwe do takiego zastosowania |
| Promienniki o średniej i wysokiej temperaturze umieszczone na dużej wysokości, skierowane ku dołowi | 1 | 1,15 |
| GŁÓWNIIE PRZEZ KONWEKCJĘ | | |
| Ciepłe powietrze przy konwekcji naturalnej | 1,15 | niewłaściwe do takiego zastosowania |
| OGRZEWANIE POWIETRZNE | | |
| Strumień poprzeczny na małej wysokości | 1,30 | 1,60 |
| Strumień opadający z dużej wysokości | 1,21 | 1,45 |
| Poprzeczny strumień powietrza o średniej lub wysokiej temperaturze ze średniej wysokości | 1,15 | 1,30 |

10. Wspomagane komputerowo obliczanie obciążenia cieplnego budynków

10.1 Wprowadzenie

W zasadzie możliwe jest przeprowadzanie obliczeń obciążenia cieplnego wg normy PN-EN 12831:2006 bez wykorzystania komputera. Jednak, zwłaszcza w przypadku dużych i skomplikowanych budynków, byłaby to czynność bardzo żmudna. Dlatego w praktyce obliczenia te wykonywane są z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego. Proces wykonywania obliczeń wspomaganych komputerowo zostanie omówiony na przykładzie programu Audytor OZC [15].

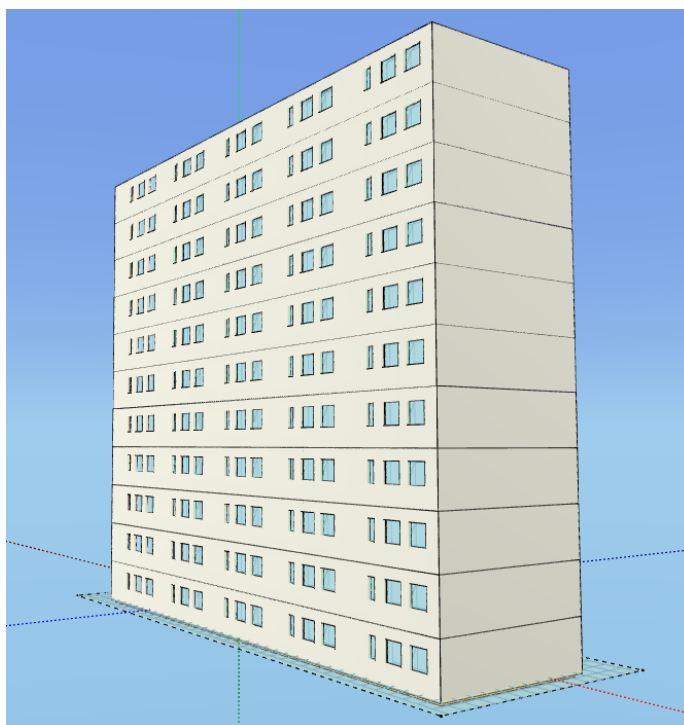
Szósta wersja programu Audytor OZC to przełom w obliczeniach cieplnych budynków. Graficzne wprowadzanie konstrukcji budynku zajmuje znacząco mniej czasu w porównaniu z metodą tabelaryczną. Twórcy programu przywiązują dużą wagę do ergonomii. Aplikację wyposażono m.in. w funkcje automatycznego wstawiania podłóg i stref pomieszczeń oraz funkcje wspomagające łączenie przegród budowlanych. Program umożliwia również automatyczne obliczanie kubatury pomieszczenia, nawet o skomplikowanym kształcie (np. na poddaszu).

Jednocześnie wizualizacja budynku pozwala bardzo łatwo ustrzec się błędów we wprowadzaniu danych, które mogą być trudne do zauważenia w tabelach (brak dachu, za krótka ściana, za niska ściana itp.).

Nie bez znaczenia jest również to, że projektant „przy okazji” uzyskuje elegancką wizualizację budynku, którą może np. zaprezentować klientowi lub dołączyć do projektu.

10.2 Od graficznego trójwymiarowego modelu budynku do modelu obliczeniowego

Począwszy od wersji 6.0 programu Audytor OZC użytkownik może utworzyć graficzny trójwymiarowy model budynku (rys. 10.1). Następnie na podstawie modelu graficznego program automatycznie tworzy model obliczeniowy, czyli dane do obliczeń. Dzięki temu przede wszystkim można znacząco skrócić czas potrzebny na wprowadzenie danych, np. wykorzystując automatyczne wstawianie stropów i obliczanie ich powierzchni, automatyczne wstawianie pomieszczeń i obliczanie ich kubatur, również w przypadku skomplikowanych kształtów np. pomieszczeń na poddaszu.



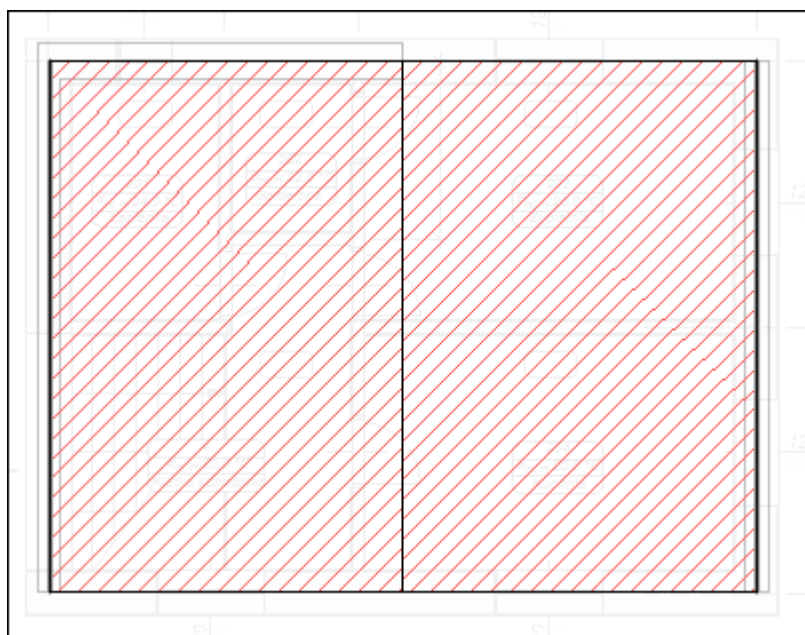
Rys. 10.1. Trójwymiarowy model budynku

10.3 Tworzenie graficznego trójwymiarowego modelu budynku

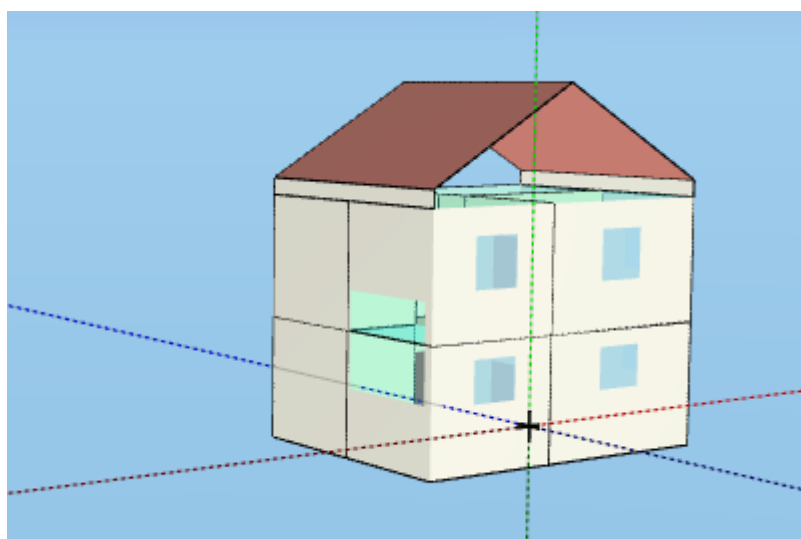
Graficzny model budynku tworzony jest z wykorzystaniem trzech okien:

- rzut kondygnacji,
- przekrój budynku,
- trójwymiarowa wizualizacja budynku.

Większość operacji najłatwiej jest wykonać na rzucie (rys. 10.2), jednocześnie obserwując ich efekt na trójwymiarowej wizualizacji (rys. 10.3). Rysowanie modelu jest bardzo proste dzięki szeregowi funkcji, takich jak np. możliwość importu podkładu budowlanego, domyślna wysokość ścian, możliwość wpisania długości ściany, automatyczne wstawianie stropów i stref pomieszczeń itd.



Rys. 10.2. Dach narysowany na rzucie

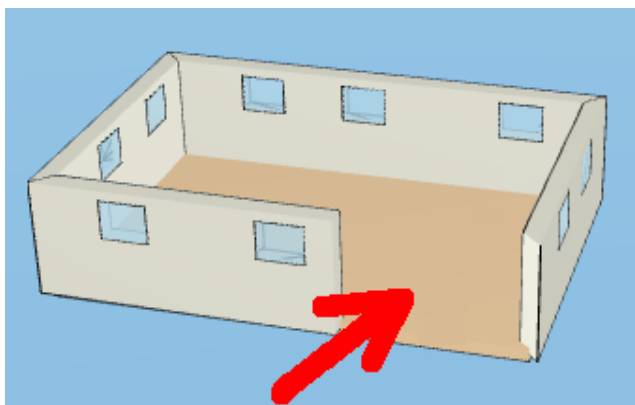


Rys. 10.3. Dach widoczny na trójwymiarowej wizualizacji budynku

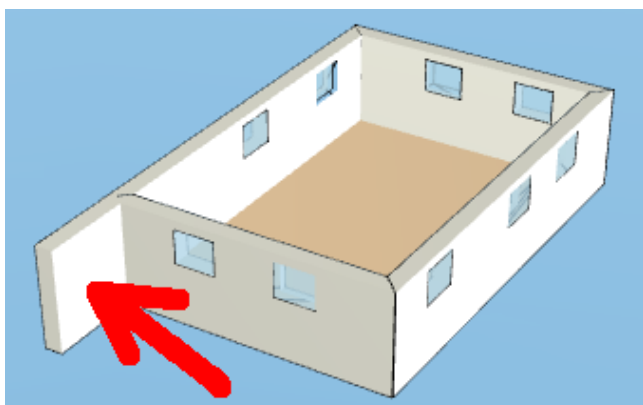
10.4 Łatwe znajdowanie błędów

Dzięki temu, że rysowany budynek jest cały czas widoczny – zarówno na rzucie, jak i w przekroju, a przede wszystkim w postaci trójwymiarowej wizualizacji – bardzo łatwo jest zauważyć wiele błędów, które mogą być trudne do wychwycenia w tabelach.

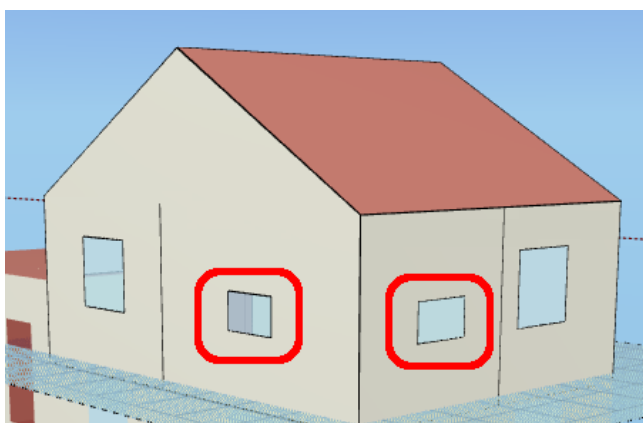
Na rysunkach 10.4 i 10.5 pokazano przykłady błędów, polegających na nieprawidłowej długości ściany. W przypadku graficznego wprowadzania budynku, popełnienie tego typu błędów jest dość mało prawdopodobne, ale jeśli by się one jednak zdarzyły, to trudno byłoby ich nie zauważyć. Rysunek 10.6 ilustruje błędną wysokość okna. Również tego typu błąd jest bardzo łatwy do wychwycenia.



Rys. 10.4. Przykład za krótkiej ściany



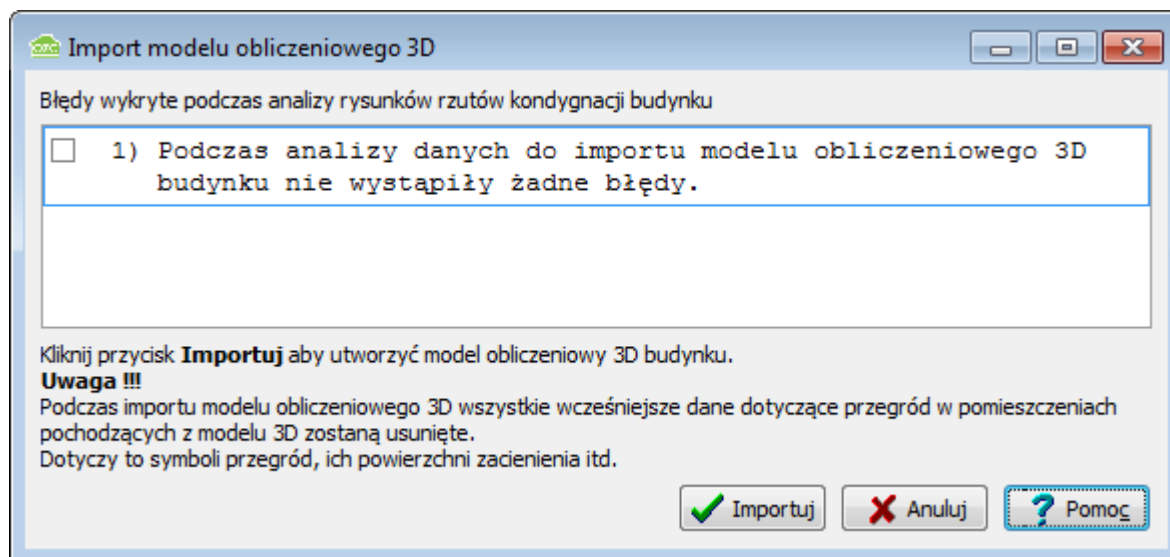
Rys. 10.5. Przykład za długiej ściany



Rys. 10.6. Przykład za małej wysokości okien

10.5 Analiza graficznego trójwymiarowego modelu budynku

Po narysowaniu modelu graficznego budynku można na jego podstawie utworzyć model obliczeniowy, czyli dane do obliczeń cieplnych. W tym celu należy przeprowadzić import modelu 3D. Program przeprowadza dogłębną analizę narysowanego budynku i generuje dane do obliczeń. Dane te można przeglądać zarówno w formie tabel (rys. 10.8), jak i wizualizacji 3D (rys. 10.9 i 10.10). W ten sposób projektant może sprawdzić, jakie dokładnie dane zostały przyjęte do obliczeń.

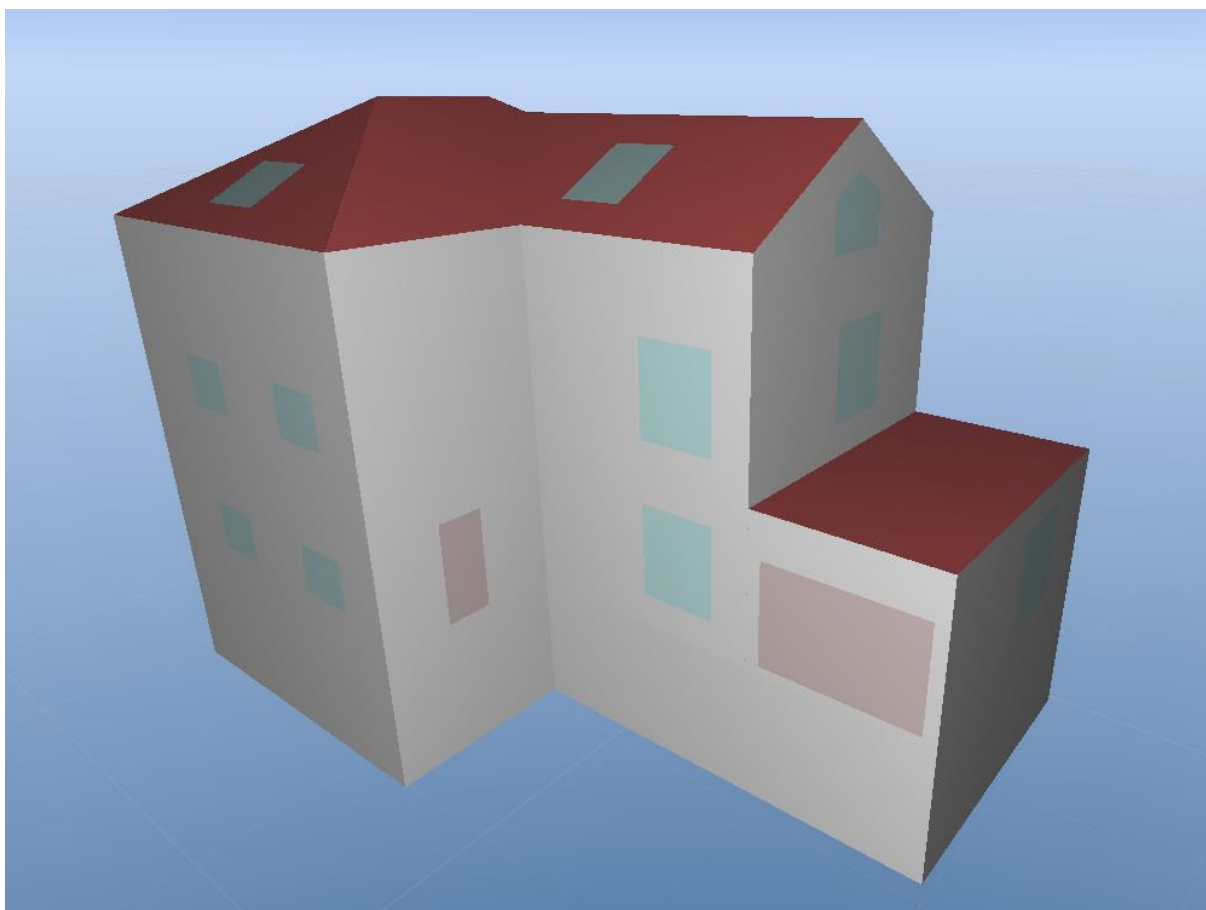


Rys. 10.7. Import modelu 3D

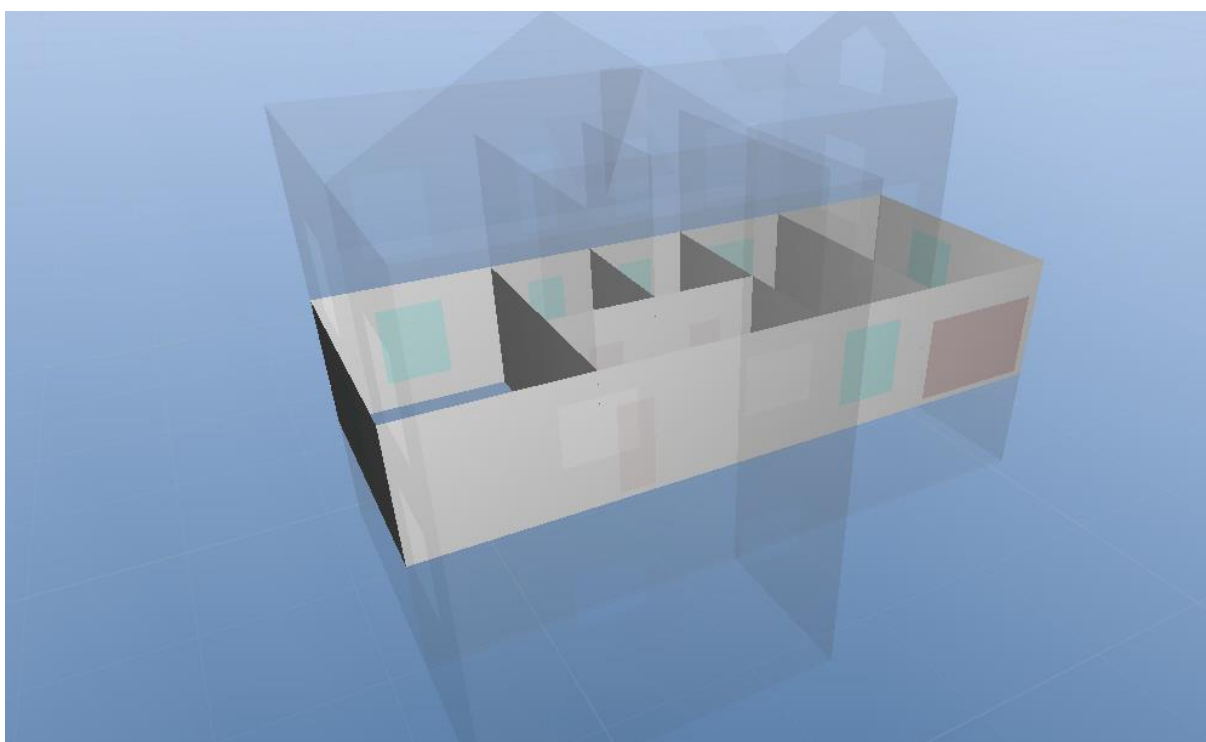
| Symbol | Typ pomieszczenia | $\theta_{int,H}$ °C | n_{min} 1/h | V_{min} m ³ /h | Opis |
|--------|-------------------|---------------------|---------------|-----------------------------|-----------|
| 203 | Sypialnia | 20,0 | 0,50 | 15,4 | Sypialnia |

| Obł. | > | Symbol | Or. | Pomieszczenie lub θ | PDS | L lub A | H |
|-------------------------------------|--------------------------|------------|-----|----------------------------|-----|-------------------|---|
| 3D | | | | °C | | m; m ² | m |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | STR-PODD | | 301 -10,0°C | T | 13,50 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | SZ-51 | N | Te= -20,0°C | | 12,06 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | OD-120X120 | N | Te= -20,0°C | | 1,44 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | SZ-51 | E | Te= -20,0°C | | 7,56 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | DW80 | | 202 20,0°C | T | 1,60 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | OD-120X120 | E | Te= -20,0°C | | 1,44 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | DW80 | | 4 20,0°C | T | 1,60 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | STR-KLEP | | 3 20,0°C | T | 13,50 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | SW-15 | | 204 20,0°C | T | 13,50 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | SW-15 | | 202 20,0°C | T | 4,40 | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | SW-15 | | 4 20,0°C | T | 1,40 | |

Rys. 10.8. Przykład danych do obliczeń utworzonych automatycznie na podstawie modelu 3D



Rys. 10.9. Wizualizacja modelu obliczeniowego całego budynku



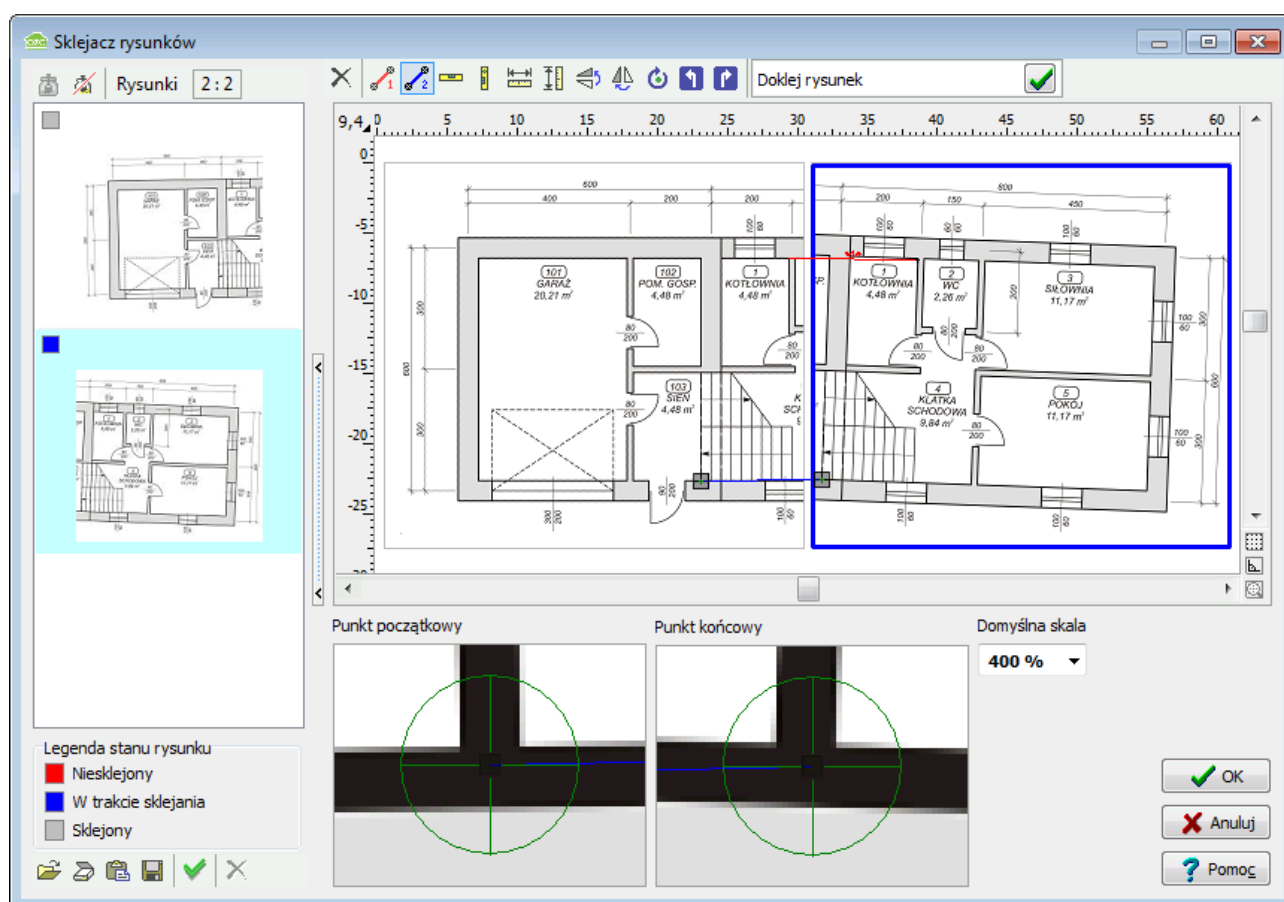
Rys. 10.10. Wizualizacja modelu obliczeniowego jednej kondygnacji

10.6 Skanowanie podkładów budowlanych

W programie Audytor OZC 6.0 Pro wprowadzono możliwość bezpośredniego skanowania rysunków bez konieczności wykorzystania innych programów. Moduł skanowania został zoptymalizowany pod kątem rysunków technicznych. Program dobiera odpowiednią rozdzielczość skanowania oraz umożliwia sprawne przeprowadzenie obróbki zeskanowanego rysunku (wzmacnianie linii, usuwanie „śmieci”, obcinanie, poziomowanie, skalowanie itp.).

10.7 Sklejanie zeskanowanych rysunków

W przypadku skanowania rysunków technicznych, często okazuje się, że rysunki są większe od maksymalnego formatu skanera, którym dysponujemy. W tej sytuacji rysunki skanowane są „po kawałku”. Aby umożliwić następnie łatwe „sklejanie” zeskanowanych części rysunku, program Audytor OZC 6.0 Pro został wyposażony w moduł **Sklejacza rysunków** (rys. 10.11).



Rys. 10.11. „Sklejanie” zeskanowanych części rysunku

11. Literatura

1. Ciołek W.: *O stosowaniu Polskich Norm – jest obowiązek czy go nie ma?* Inżynier Budownictwa 4/2006.
2. Girdwoyń A.: *Techniczne uwarunkowania zużycia energii cieplnej i chłodniczej w instalacjach wentylacji i klimatyzacji* w: Materiały konferencyjne XII Zjazdu Ogrzewników Polskich „Oszczędność energii a zysk”, Warszawa 17 października 2002.
3. Kosieradzki J.: *Poradnik projektanta. Nowe normy i co dalej?*, COW 1/2007 i 2/2007.
4. Kosieradzki J.: *Poradnik projektanta. Powietrze wentylacyjne w PN-EN 12831*, COW 3/2007 i 4/2007.
5. Kosieradzki J.: *Współczynniki redukcji temperatury (Norma PN-EN 12831)*, COW 6/2007.
6. Markert H.: *Europäische Norm DIN EN 12831. Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. Die neue Norm ist gültig – Übergangsfrist für DIN 4701 bis Oktober 2004*, BHKS-Almanach 2004.
7. Płuciennik M.: *PN-EN 12831 zastąpi PN-B-03406:1994*, Polski Instalator Nr Specjalny 7-8/2006.
8. Rubik M.: *Nowe normy z dziedziny ogrzewnictwa w przededniu wdrożenia w Polsce Dyrektywy Europejskiej 2002/IWE*, COW 10/2005.
9. Ruszel F.: *Obciążenie cieplne pomieszczeń wg norm PN-EN i PN-B-03406*, COW 3/2008.
10. Ruszel F.: *Wątpliwości występujące przy obliczaniu projektowego obciążenia cieplnego pomieszczeń według normy PN-EN 12831*, COW 9/2011.
11. Strzeszewski M.: *Określanie zapotrzebowania na ciepło do wentylacji w przypadku stosowania odzysku ciepła z powietrza wywiewanego, bez nagrzewnic powietrza* w: „Problemy jakości powietrza wewnętrznego w Polsce 2003”. Pod redakcją Teresy Jędrzejewskiej-Ścibak i Jerzego Sowy. Wydawnictwa Instytutu Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004. Str. 355-342.
(http://www.is.pw.edu.pl/~michal_strzeszewski/articles/pjpwwp2003_ciep_went.pdf)
12. Strzeszewski M.: *Norma PN-EN 12831. Nowe podejście do obliczania zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków*, COW 10/2006.
13. Strzeszewski M.: *Kluczowe zmiany w metodyce obliczania zapotrzebowania na ciepło zawarte w PN-EN 12831. Nowe obliczenia kontra stare*, Polski Instalator 10/2006.
14. Wereszczyński P.: *Niejednoznaczne ciepło. Jak obliczać zapotrzebowanie na moc cieplną potrzebną do ogrzania powietrza wentylacyjnego w budynkach mieszkalnych*, Polski Instalator nr 2/2003.
15. Wereszczyński P., Strzeszewski M. et al.: *Audytor OZC 6.7. Program wspomagający obliczanie projektowego obciążenia cieplnego budynku, sezonowego zapotrzebowania na energię cieplną i chłodniczą oraz wyznaczanie świadectw energetycznych. Podręcznik użytkownika*. SANKOM Sp. z o.o., Warszawa, 2015. (www.sankom.pl)
16. Wichowski R.: *Zapotrzebowanie na moc cieplną. Nowa norma PN-EN 12831*, Rynek Instalacyjny 1-2/2006 i 3/2006.
17. PN-82/B-02402. *Ogrzewnictwo – Temperatury ogrzewanych pomieszczeń w budynkach*.
18. PN-82/B-02403. *Ogrzewnictwo – Temperatury obliczeniowe zewnętrzne*.
19. PN-B-03406:1994. *Obliczanie zapotrzebowania ciepła pomieszczeń o kubaturze do 600 m³*.
20. PN-EN ISO 13370:2008. *Właściwości cieplne budynków – Wymiana ciepła przez grunt – Metody obliczania*.
21. PN-EN ISO 14683:2008. *Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne*.
22. PN-EN ISO 10211-2:2008. *Mostki cieplne w budynkach – Obliczanie strumieni cieplnych i temperatury powierzchni – Część 2: Liniowe mostki cieplne*.
23. EN 12831:2003. *Heating Systems in Buildings - Method for Calculation of the Design Heat Load*.
24. PN-EN 13465:2006. *Wentylacja budynków – Metody obliczeniowe do wyznaczania wartości strumienia objętości powietrza w mieszkaniach*.

25. PN-EN ISO 6946:2008. *Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania.*
26. PN-EN 12831:2006. *Instalacje ogrzewcze w budynkach – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.*
27. PN-EN ISO 10077-1:2007. *Cieplne właściwości użytkowe okien, drzwi i żaluzji – Obliczanie współczynnika przenikania ciepła – Część 1: Metoda uproszczona*
28. *Ustawa z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji.* (Dz.U. 2002 Nr 169, poz. 1386 z późn. zm.; test jednolity Dz.U. 2015 poz. 1483)
29. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.* (Dz. U. 2002 nr 75 poz. 690 z późniejszymi zmianami).
30. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz. U. 2008 nr 201 poz. 1238).

12. Załączniki

12.1 Terminy występujące w normie PN-EN 12831:2006

| Termin | Definicja |
|---|---|
| podziemie | pomieszczenie jest klasyfikowane jako podziemie, jeżeli więcej niż 70% powierzchni jego ścian zewnętrznych styka się z gruntem |
| element budynku | część składowa budynku, taka jak ściana lub podłoga |
| część budynku | całkowita kubatura przestrzeni ogrzewana jedną wspólną instalacją ogrzewczą (np. pojedyncze mieszkania), gdzie dostawa ciepła do każdego mieszkania może być centralnie regulowana przez mieszkańca |
| projektowa różnica temperatury | różnica między projektową temperaturą wewnętrzną a projektową temperaturą zewnętrzną |
| projektowa strata ciepła | ilość ciepła przenikająca z budynku do środowiska zewnętrznego w jednostce czasu, w określonych warunkach projektowych |
| współczynnik projektowej straty ciepła | projektowa strata ciepła podzielona przez różnicę temperatury |
| projektowe przenikanie ciepła | ciepło przenikające z wnętrza budynku lub jego części |
| projektowe obciążenie cieplne | wymagany strumień ciepła umożliwiający osiągnięcie określonych warunków projektowych |
| projektowa strata ciepła rozpatrywanej przestrzeni przez przenikanie | strata ciepła do otoczenia budynku, będąca wynikiem przewodzenia ciepła przez obudowę budynku, a także wymiany ciepła między ogrzewanymi przestrzeniami wewnątrz budynku |
| projektowa wentylacyjna strata ciepła rozpatrywanej przestrzeni | zapotrzebowanie na ciepło do podgrzania powietrza wentylacyjnego i infiltrującego oraz przepływającego z jednej ogrzewanej przestrzeni do drugiej |
| temperatura powietrza zewnętrznego | temperatura powietrza na zewnątrz budynku |
| projektowa temperatura wewnętrzna | temperatura powietrza zewnętrznego, która jest stosowana w obliczeniach projektowych strat ciepła |
| przestrzeń ogrzewana | przestrzeń, która powinna być ogrzewana do określonej projektowej temperatury wewnętrznej |
| temperatura powietrza wewnętrznego | temperatura powietrza wewnątrz budynku |
| projektowa temperatura wewnętrzna | temperatura operacyjna w centralnym miejscu przestrzeni ogrzewanej (na wysokości między 0,6 m a 1,6 m) stosowana do obliczeń projektowych strat ciepła |
| średnia roczna temperatura zewnętrzna | średnia roczna wartość temperatury zewnętrznej |
| temperatura operacyjna | średnia arytmetyczna z wartości temperatury powietrza wewnętrznego i średniej temperatury promieniowania |
| strefa cieplna | część przestrzeni ogrzewanej z określoną zadaną wartością temperatury przy nieznacznych zmianach temperatury wewnętrznej w tej przestrzeni |
| przestrzeń nieogrzewana | przestrzeń nie będąca częścią przestrzeni ogrzewanej |
| instalacja wentylacyjna | instalacja służąca do doprowadzenia określonych strumieni powietrza |
| strefa | grupa przestrzeni mających podobne charakterystyki cieplne |

12.2 Porównanie wybranych pojęć i symboli występujących w normach PN-EN 12831:2006 i PN-B-03406:1994

| PN-EN 12831:2006 | | | PN-B-03406:1994 | | |
|---|----------------|----------------|--|--------|----------------|
| Pojęcie | Symbol | Jednostka | Pojęcie | Symbol | Jednostka |
| projektowe obciążenie cieplne | Φ_{HL} | W | zapotrzebowanie na ciepło | Q | W |
| całkowita projektowa strata ciepła | Φ | W | | | |
| projektowa strata ciepła przez przenikanie | Φ_T | W | straty ciepła przez przenikanie | Q_p | W |
| projektowa wentylacyjna strata ciepła | Φ_V | W | zapotrzebowanie na ciepło do wentylacji | Q_w | W |
| nadwyżka mocy cieplnej wymagana do skompensowania skutków osłabienia ogrzewania | Φ_{RH} | W | – | – | – |
| współczynnik projektowej straty ciepła | H | W/K | – | – | – |
| projektowa temperatura wewnętrzna ² | θ_{int} | °C | obliczeniowa temperatura powietrza w pomieszczeniu | t_i | °C |
| projektowa temperatura zewnętrzna | θ_e | °C | obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego | t_e | °C |
| średnia roczna temperatura zewnętrzna | $\theta_{m,e}$ | °C | – | – | – |
| powierzchnia elementu budynku (k) | A_k | m ² | powierzchnia przegrody | A | m ² |
| współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka cieplnego (l) | ψ_l | W/mK | – | – | – |
| długość liniowego mostka cieplnego (l) | l_l | m | – | – | – |

² temperatura operacyjna w centralnym miejscu przestrzeni ogrzewanej (na wysokości między 0,6 m a 1,6 m) stosowana do obliczeń projektowych strat ciepła

| PN-EN 12831:2006 | | | PN-B-03406:1994 | | |
|---|-----------------|--|---|-----------|--|
| Pojęcie | Symbol | Jednostka | Pojęcie | Symbol | Jednostka |
| współczynnik redukcji temperatury, uwzględniający różnicę między temperaturą przestrzeni nieogrzewanej i projektową temperaturą zewnętrzną | b_u | – | – | – | – |
| współczynnik redukcji temperatury, uwzględniający różnicę temperatury przyległej przestrzeni i projektowej temperatury zewnętrznej | f_{ij} | – | – | – | – |
| strumień objętości powietrza wentylacyjnego | \dot{V} | m^3/s m^3/h | strumień objętości powietrza wentylacyjnego | \dot{V} | m^3/s m^3/h |
| strumień powietrza infiltrującego | \dot{V}_{inf} | m^3/s m^3/h | – | – | – |
| minimalny strumień objętości powietrza, wymagany ze względów higienicznych | \dot{V}_{min} | m^3/s m^3/h | (zakładano równy 1 kubaturze pomieszczenia w ciągu 1 godziny) | – | – |
| kubatura | V | m^3 | kubatura | V | m^3 |
| krotność wymiany powietrza wewnętrznego, wynikająca z różnicy ciśnienia 50 Pa między wnętrzem a otoczeniem budynku, z uwzględnieniem wpływu nawiewników powietrza | n_{50} | h^{-1} | – | – | – |
| minimalna krotność wymiany powietrza zewnętrznego | n_{min} | h^{-1} | (zakładano 1 h^{-1}) | – | – |
| współczynnik osłonięcia | e | – | – | – | – |
| współczynnik poprawkowy uwzględniający wzrost prędkości wiatru w zależności od wysokości położenia przestrzeni ogrzewanej ponad poziomem terenu | ε | – | – | – | – |

12.3 Wybrane indeksy występujące w normie PN-EN 12831:2006

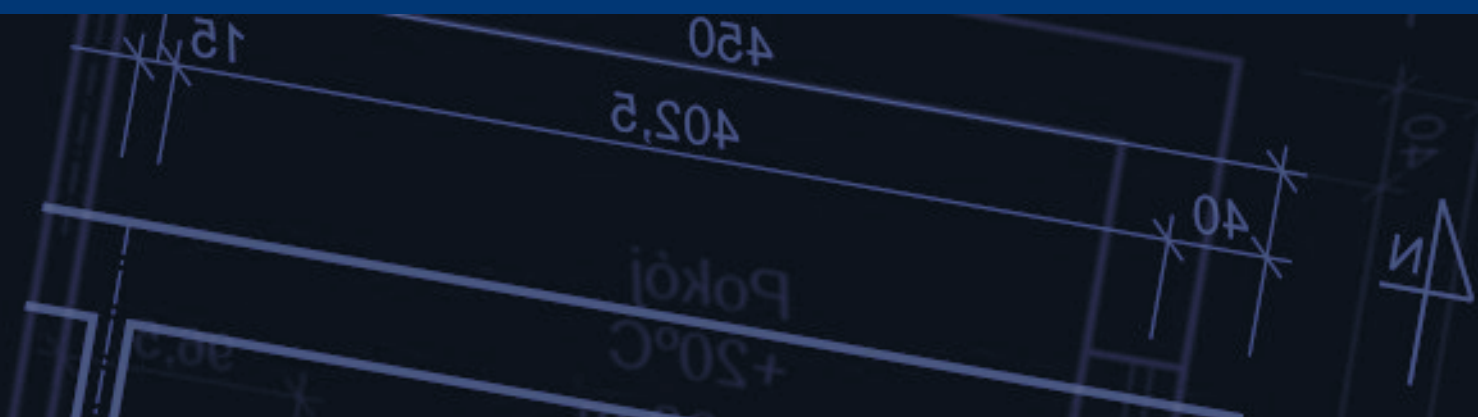
| Indeks | Znaczenie |
|--------|--|
| T | przenikanie ciepła |
| V | wentylacja |
| i | przestrzeń ogrzewana |
| j | przyległa przestrzeń, ogrzewana do znacząco różnej temperatury |
| u | przestrzeń nieogrzewana |
| e | otoczenie |
| g | grunt |
| k | element budynku |
| l | liniowy mostek cieplny |
| int | wewnętrzny |
| m | średnia roczna |

12.4 Alfabet grecki

| Litera | Nazwa polska | Przykłady zastosowania |
|---------------------------|--------------|--|
| $A \alpha$ | alfa | |
| $B \beta$ | beta | |
| $\Gamma \gamma$ | gamma | |
| $\Delta \delta$ | delta | |
| $E \varepsilon \epsilon$ | epsilon | współczynnik poprawkowy ze względu na wysokość |
| $Z \zeta$ | dzeta | |
| $H \eta$ | eta | sprawność odzysku ciepła z powietrza usuwanego |
| $\Theta \theta \vartheta$ | teta | temperatura |
| $I \iota$ | jota | |
| $K \kappa$ | kappa | |
| $\Lambda \lambda$ | lambda | współczynnik przewodzenia ciepła |
| $M \mu$ | mi | |
| $N \nu$ | ni | |
| $\Xi \xi$ | ksi | |
| $O \omicron$ | omikron | |
| $\Pi \pi$ | pi | |
| $P \rho$ | ro | gęstość |
| $\Sigma \sigma \varsigma$ | sigma | |
| $T \tau$ | tau | |
| $Y \upsilon$ | ipsylon | |
| $\Phi \phi \phi$ | fi | strata ciepła, moc cieplna |
| $X \chi$ | chi | |
| $\Psi \psi$ | psi | liniowy współczynnik przenikania ciepła |
| $\Omega \omega$ | omega | |



ELEKTRA[®]



ELEKTRA

ul. K. Kamińskiego 4, 05-850 Ożarów Mazowiecki
telefon 22 843 32 82, fax 22 843 47 52
e-mail: info@elektra.pl www.elektra.pl

Wydanie 1/2016