

Robert Geryło*

OKREŚLANIE WSPÓŁCZYNNIKA STRAT CIEPŁA PRZEZ PRZENIKANIE ODNOŚNIE DO PRZEGRÓD BUDOWLANYCH I ICH POŁĄCZEŃ

W artykule przedstawiono przykład obliczeń współczynnika strat ciepła przez przenikanie odnośnie do nieprzezroczystej części obudowy budynku oddzielającej przestrzeń ogrzewaną i środowisko zewnętrzne. W obliczeniach uwzględniono wpływ liniowych mostków cieplnych tworzących się na połączeniach przegród budowlanych. W tym celu wykorzystano arkusz kalkulacyjny przygotowany w ramach tematu NF-37 w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB. Przykład może również służyć jako wskazówka praktycznego wykorzystania w takich obliczeniach katalogów mostków cieplnych.

1. Wprowadzenie

Współczynnik strat ciepła przez przenikanie, określony zgodnie z PN-EN ISO 13789:1999 [1] jest jedną z danych [2] do obliczeń rocznego zapotrzebowania na energię do ogrzewania budynku według PN-EN 832:2001 [3]. Jego składową, dotyczącą przenikania ciepła przez obudowę oddzielającą przestrzeń ogrzewaną i środowisko zewnętrzne, oblicza się zgodnie z normą [1] ze wzoru

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_j l_j \psi_j + \sum_k \chi_k \quad (1)$$

w którym: U_i – współczynnik przenikania ciepła przez element i obudowy (nieprzezroczysty lub przezroczysty), $W/(m^2 \cdot K)$,

A_i – powierzchnia elementu i , do której ma zastosowanie wartość U_i , m^2 ,

ψ_j – liniowy współczynnik przenikania ciepła przez mostek cieplny j , $W/(m \cdot K)$,

l_j – długość, do której ma zastosowanie wartość ψ_j , m ,

χ_k – punktowy współczynnik przenikania ciepła przez mostek cieplny k , W/K .

* mgr inż. – asystent w Zakładzie Fizyki Ciepłej ITB

Jeżeli w obudowie występują punktowe mostki cieplne, które są częścią elementów nieprzezroczystych (np. kotwie w ścianie szczelinowej), człon korekcyjny $\sum_k \chi_k$ może

być pominięty, ponieważ wpływ tych mostków uwzględnia się przez zastosowanie poprawki do współczynnika przenikania ciepła. Wartość skorygowanego w ten sposób współczynnika przenikania ciepła $U_{c,i}$ przez nieprzezroczysty element i obudowy, określa się zgodnie z PN-EN ISO 6946 [4] ze wzoru

$$U_{c,i} = U_i + \Delta U \quad (2)$$

w którym: U_i – współczynnik przenikania ciepła przez nieprzezroczysty element i obudowy, $W/(m^2 \cdot K)$,

ΔU – człon korekcyjny określony zgodnie z normą [4], $W/(m^2 \cdot K)$.

Określenie członu korekcyjnego uwzględniającego liniowe mostki cieplne wygodnie jest łączyć z obliczaniem skorygowanego współczynnika przenikania ciepła przez nieprzezroczyste elementy obudowy.

W ramach tematu NF-37, dotyczącego zasad projektowania i oceny zewnętrznych przegród budynku w zakresie mostków cieplnych, przygotowano program komputerowy w postaci arkusza kalkulacyjnego, służący do określania współczynnika strat ciepła przez przenikanie odnośnie do nieprzezroczystej części obudowy oddzielającej przestrzeń ogrzewaną i środowisko zewnętrzne, według wzoru

$$L_{D \text{ nieprz}} = \sum_i A_i U_{c,i} + \sum_j l_j \psi_j \quad (3)$$

w którym: $U_{c,i}$ – skorygowany współczynnik przenikania ciepła przez element nieprzezroczysty i , $W/(m^2 \cdot K)$,

A_i – powierzchnia elementu nieprzezroczystego i , do której ma zastosowanie wartość $U_{c,i}$, m^2 ,

ψ_j, l_j – jak we wzorze (1).

Obliczenia dotyczą części nadziemnej budynku (rys. 1). Zgodnie z normą [1] przyjmuje się, że jest to część obudowy położona powyżej płaszczyzny poziomej, usytuowanej:

- na wysokości poziomu podłogi od strony pomieszczeń ogrzewanymi w przypadku budynku z podłogą na gruncie, podłogą podniesioną, lub budynku z nieogrzewanymi podziemiami,

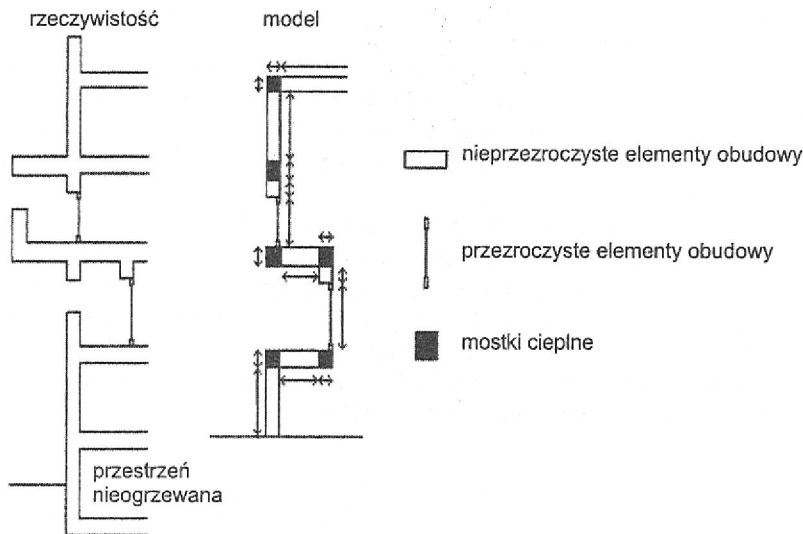
- na wysokości zewnętrznego poziomu gruntu w budynku z ogrzewanymi podziemiami.

Do określenia wartości występującego we wzorze (3) członu korekcyjnego uwzględniającego liniowe mostki cieplne konieczne jest określenie wartości liniowych współczynników przenikania ciepła, charakteryzujących te mostki. W przygotowanym programie komputerowym istnieje możliwość:

- wprowadzania dowolnych liniowych mostków cieplnych, których charakterystykę określa użytkownik na podstawie własnych wiarygodnych źródeł, na przykład katalogów mostków cieplnych [5],

– wykorzystania zawartej w programie biblioteki detali połączeń przegród, która może być stosowana w projektowaniu (na wstępnych etapach) jako biblioteka wartości wyjściowych (domyślnych). Zawarto w niej podstawowe detale występujące w ścianie:

- jednowarstwowej,
- z izolacją cieplną jako warstwą zewnętrzną,
- szczelinowej.



Rys. 1. Model obudowy budynku
Fig. 1. Model of building envelope

Przy określaniu współczynnika strat ciepła przez przenikanie według normy [1] przewiduje się trzy sposoby określania powierzchni, do których stosuje się wartości współczynnika przenikania ciepła (rys. 2). Różnią się one sposobem włączania powierzchni węzłów konstrukcyjnych (połączeń elementów) do powierzchni elementów nieprzezroczystych (według wymiarów wewnętrznych, zewnętrznych lub całkowitych wewnętrznych).

W zależności od przyjętego sposobu wymiarowania powierzchni konsekwentnie stosuje się odpowiednie wartości liniowych współczynników przenikania ciepła oraz długości, do których mają one zastosowanie. Nie dotyczy to wartości liniowych współczynników przenikania ciepła przez mostki tworzące się na połączeniach elementów nieprzezroczystych z przezroczystymi (np. w otworach okiennych), ponieważ wymiary elementów przezroczystych przyjmowane są w świetle ościeży [2]. Zawarte w bibliotece programu wartości liniowych współczynników przenikania ciepła zostały określone przy przyjęciu sposobu wymiarowania według wymiarów zewnętrznych.

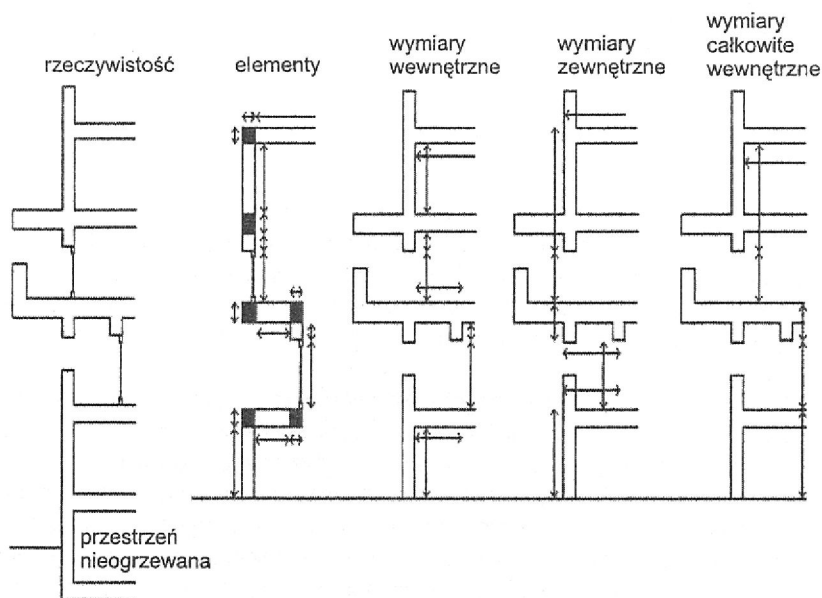
Dokładność określenia wartości liniowych współczynników przenikania ciepła powinna odpowiadać dokładności wymaganej w obliczeniach całkowitych strat ciepła [2], [6].

W zależności od stopnia zaawansowania projektu stosuje się następujące metody określania wartości tych współczynników:

- jeśli zaprojektowany jest jedynie kształt i wymiary budynku, w tym wymiary poszczególnych elementów obudowy (znana jest powierzchnia np. ścian, stropodachów), to wartości tych współczynników określa się, korzystając z wartości orientacyjnych (domyślnych) według PN-EN ISO 14683 [7] (niepewność oczekiwana do + 50%),
- jeśli projekt obejmuje ogólne rozwiązania detali połączeń elementów obudowy, to wartości tych współczynników określa się, korzystając z katalogów mostków cieplnych (niepewność oczekiwana $\pm 20\%$),
- jeśli projekt obejmuje wszystkie ostateczne rozwiązania detali połączeń elementów obudowy, to wartości tych współczynników można obliczyć, korzystając z programów komputerowych służących do określania pola temperatury (niepewność oczekiwana $\pm 5\%$).

Odnosnie do dwóch ostatnich przypadków, w celu określenia właściwości cieplnych można posługiwać się na przykład:

- komputerowym katalogiem mostków cieplnych EUROKOBRA, który zawiera bibliotekę około 3500 detali; w programie tym możliwa jest modyfikacja geometrii i właściwości materiałowych, a następnie wykonanie obliczeń cieplnych (określenie pola temperatury), w wyniku których otrzymuje się wartości liniowych współczynników przenikania ciepła ψ (według wymiarów wewnętrznych lub zewnętrznych) [8];
- katalogami opublikowanymi, na przykład poświęconym budownictwu tradycyjnemu katalogiem [5] lub innymi opisanymi w pracy [9].



Rys. 2. Sposoby przyjmowania wymiarów
Fig. 2. Systems of dimensions

2. Przykład obliczeń

Przykładowe obliczenia wykonano w odniesieniu do trójkondygnacyjnego budynku przedstawionego na schematycznym szkicu elewacji (rys. 3). Przyjęto, że w budynku zastosowano stropodach płaski, a strop pod najniższą kondygnacją znajduje się nad przestrzenią nieogrzewaną. Obliczenia przeprowadzono, kolejno przyjmując ściany zewnętrzne: jednowarstwowe, dwuwarstwowe z izolacją cieplną jako warstwą zewnętrzną oraz szczelinowe. Wartości współczynnika przenikania ciepła przez wymienione przegrody są równe:

- 0,45 W/(m²·K) – ściany zewnętrzne jednowarstwowe,
- 0,30 W/(m²·K) – ściany zewnętrzne dwuwarstwowe i szczelinowe,
- 0,20 W/(m²·K) – stropodach i strop nad przestrzenią nieogrzewaną.

Przyjęto, że połączenia przegród odpowiadają pod względem konstrukcyjnym i materiałowym detalom z biblioteki programu, w których zastosowano prawidłowe rozwiązania izolacji cieplnej, to jest zachowano jej ciągłość w węzłach oraz zastosowano izolację cieplną powierzchni elementów żelbetowych przechodzących przez obudowę do środowiska zewnętrznego, na przykład wspornikową płytę balkonową. Dodatkowo uwzględniono liniowe mostki cieplne, których właściwości określono przy wykorzystaniu komputerowego katalogu mostków EUROKOBRA. Są to następujące detale:

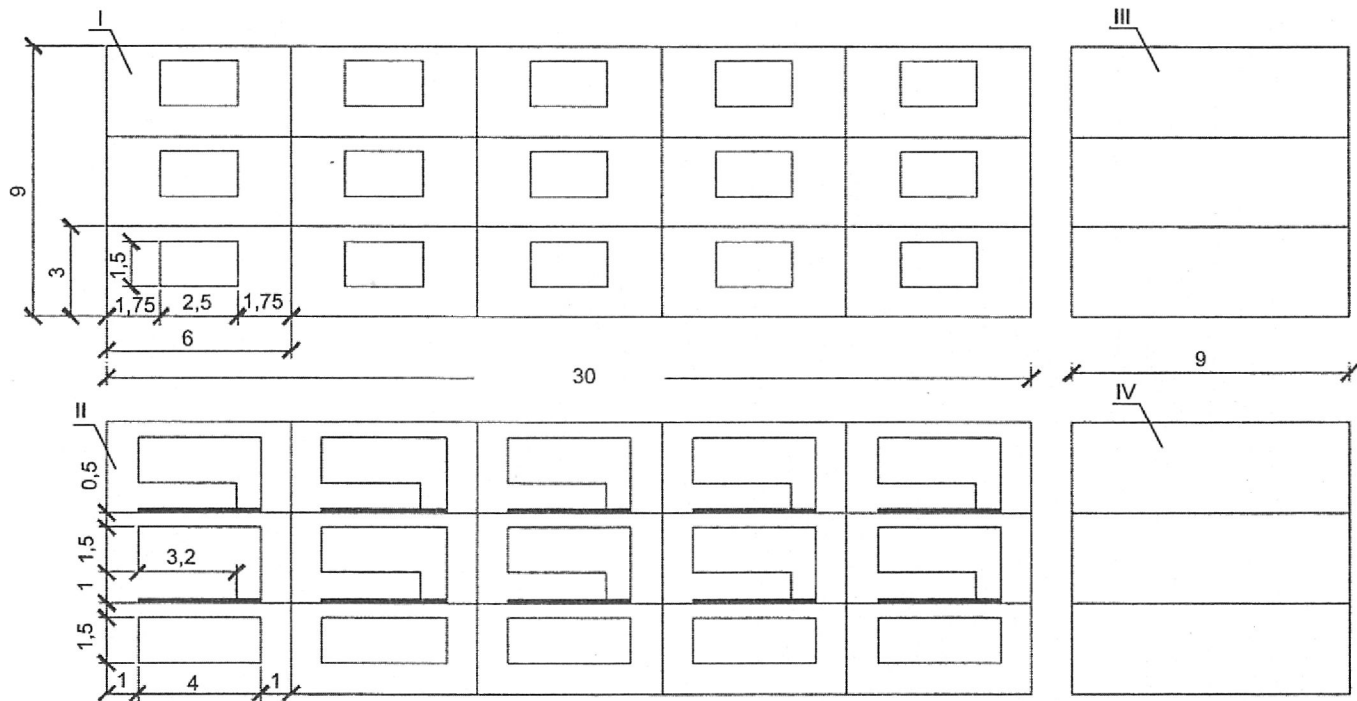
- wspornikowa płyta balkonowa z izolacją cieplną powierzchni płyty – przekrój przez nadproże i podokiennik,
- połączenie ściany ze stropem nad przestrzenią nieogrzewaną – wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła określono w tym przypadku wyjątkowo według wymiarów wewnętrznych, ponieważ poziom podłogi od strony pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z opracowaniem [2] jest granicą nadziemnej części budynku.

Przyjęto następujące oznaczenia części obudowy:

- I – elewacja z otworami okiennymi,
- II – elewacja z otworami okiennymi i drzwiami balkonowymi, ze wspornikowymi płytami balkonowymi,
- III, IV – ściany szczytowe (bez otworów),
- V – stropodach,
- VI – strop nad przestrzenią nieogrzewaną.

Zestawienie przyjętych wartości liniowych współczynników przenikania ciepła oraz długości rozpatrywanych części obudowy, do których mają one zastosowanie, zamieszczono w tablicy 1.

Na wykresach (rys. 4) przedstawiono obliczone wartości współczynnika strat ciepła przez przenikanie odnośnie do nieprzezroczystej części obudowy, przy przyjęciu ścian zewnętrznych jednowarstwowych – rys. 4 a, dwuwarstwowych – rys. 4 b, szczelinowych – rys. 4 c. Wartości podano odnośnie do całej nieprzezroczystej części obudowy (I-VI) oraz poszczególnych jej części (od I do VI).

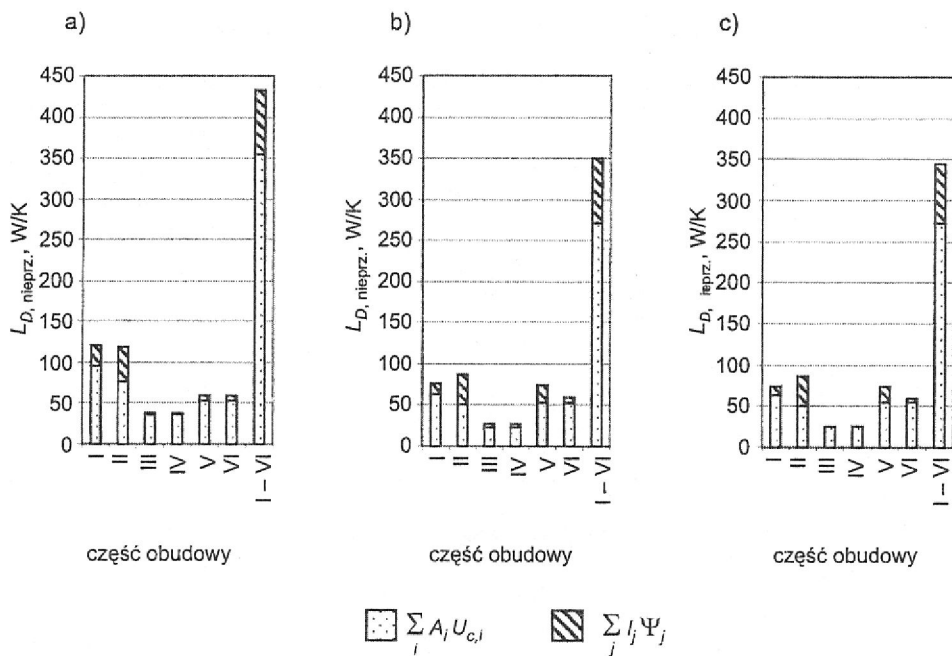


Rys. 3. Elewacje budynku
Fig. 3. Elevations of building

Tablica 1. Wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła i długości, do których mają zastosowanie

Table 1. Values of linear thermal transmittance and the lengths for which values apply

Opis detali	Liniowy współczynnik przenikania ciepła, W/(m·K)			Długość, do której ma zastosowanie wartość liniowego współczynnika przenikania ciepła w częściach obudowy, m					
	jedno-warstwowa	dwuwarstwowa	szczelinowa	I	II	III	IV	V	VI
Połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem, z izolacją cieplną powierzchni ścianki atykowej – z biblioteki programu	0,12	0,13	0,11	15	15	4,5	4,5	39	0
Połączenie ściany ze stropem nad przestrzenią nieogrzewaną – z katalogu EUROKOBRA	0,12	0,52	0,52	15	15	4,5	4,5	0	39
Słup żelbetowy z izolacją cieplną w narożu wypukłym – z biblioteki programu	-0,21	-0,07	-0,14	9	9	9	9	0	0
Słup żelbetowy z izolacją cieplną w ścianie – z biblioteki programu	0,16	0,00	0,00	36	36	0	0	0	0
Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem międzykondygnacyjnym – z biblioteki programu	0,16	0,00	0,00	35	20	18	18	0	0
Nadproże okna – z biblioteki programu	0,20	0,02	0,02	25	0	0	0	0	0
Płyta balkonowa wspornikowa z izolacją cieplną powierzchni płyty, przekrój przez nadproże i podokiennik – z katalogu EUROKOBRA	0,52	0,56	0,61	0	32	0	0	0	0
Płyta balkonowa wspornikowa z izolacją cieplną powierzchni płyty, przekrój przez nadproże i próg drzwi balkonowych – z biblioteki programu	0,63	0,65	0,65	0	8	0	0	0	0
Połączenie ściany z ramą okna lub drzwi balkonowych – z biblioteki programu	0,09	0,02	0,01	45	65	0	0	0	0



Rys. 4. Wartości współczynnika strat ciepła przez przenikanie odnośnie do nieprzezroczystej części obudowy

Fig. 4. Values of transmission heat loss coefficient through opaque part of building envelope

3. Podsumowanie

Podsumowując wyniki przykładowych obliczeń wartości współczynnika strat ciepła przez przenikanie przez nieprzezroczystą część obudowy można stwierdzić, że:

- w przegrodach, w których nie ma otworów okiennych oraz główna warstwa izolacji cieplnej jest ciągła i ma stałą grubość, przy przyjęciu wymiarów zewnętrznych udział mostków cieplnych jest niewielki, na przykład w ścianach szczytowych (III i IV);
- największe wartości uzyskuje się w przypadku elewacji z otworami okiennymi i drzwiami balkonowymi oraz ze wspornikowymi płytami balkonowymi;
- łącznie w odniesieniu do całej nieprzezroczystej części obudowy budynku człon korekcyjny $\sum_j l_j \psi_j$, uwzględniający liniowe mostki cieplne, we wszystkich przyjmowanych typach ścian zewnętrznych ma zbliżoną wartość, która stanowi około 20% wartości $L_{D, \text{nieprz.}}$;

- wynik ten uzyskano przyjmując prawidłowe rozwiązania izolacji cieplnej w połączeniach przegród, czyli przy zachowaniu jej ciągłości w węzłach oraz z zastosowaniem izolacji cieplnej powierzchni elementów żelbetowych przechodzących przez obudowę do środowiska zewnętrznego, na przykład wspornikowej płyty balkonowej.

Bibliografia

- [1] PN-EN ISO 13789:2001 Właściwości cieplne budynków – Współczynnik strat ciepła przez przenikanie – Metoda obliczania
- [2] Pogorzelski J. A.: Przewodnik po PN-EN ochrony cieplnej budynków. ITB, Warszawa 2003
- [3] PN-EN 832:2001 Ciepłe właściwości użytkowe budynków – Obliczanie zapotrzebowania na energię do ogrzewania – Budynki mieszkalne
- [4] PN-EN ISO 6946:1999 Komponenty budowlane i elementy budynku – Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła – Metoda obliczania
- [5] Pogorzelski J. A., Awksientjuk J.: Katalog mostków cieplnych. Budownictwo tradycyjne. ITB, Warszawa 2003
- [6] Wouters P., Schietecat J., Standaert P.: Practical guide for the hygrothermal evaluation of thermal bridges SAVE – KOPRACTICE project document, www.eurokobra.org, 2003
- [7] PN-EN ISO 14683:2000 Mostki cieplne w budynkach – Liniowy współczynnik przenikania ciepła – Metody uproszczone i wartości orientacyjne
- [8] Geryło R.: Doświadczenia z wykorzystania komputerowego katalogu EUROKOBRA w obliczeniach cieplnych przegród budowlanych, III Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo ogólne. Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i cieplno-wilgotnościowe w budownictwie”, Bydgoszcz – Ciechocinek, 2003
- [9] Pogorzelski J. A., Awksientjuk J.: Przydatność katalogów mostków cieplnych w wersji „drukowanej”, III Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo ogólne. Zagadnienia konstrukcyjne, materiałowe i cieplno-wilgotnościowe w budownictwie”, Bydgoszcz – Ciechocinek, 2003

DETERMINATION OF TRANSMISSION HEAT LOSS COEFFICIENT THROUGH BUILDING ELEMENTS AND THEIR JOINTS

Summary

The paper shows example of calculations of transmission heat loss coefficient through opaque part of building envelope, separating heated space and external environment, which have been carried out using computer program (worksheet) prepared in the framework of NF-37 project. In calculations the influence of thermal bridges occurring on building element joints was taken into account. The example of using of thermal bridges catalogues in practice is also illustrated.

Praca wpłynęła do Redakcji 5 VII 2004