

BUDOWNICTWO

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING

WYDAWNICTWO

POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

2-B/2010

ZESZYT 4

ROK 107

ISSUE 4

YEAR 107

KRZYSZTOF PAWŁOWSKI, KAROL KOŃCZAL *

PROJEKTOWANIE TERMICZNE JEDNOWARSTWOWYCH ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH

THERMAL DESIGNING OF SINGLE-LAYER EXTERNAL WALLS

Streszczenie

W artykule przedstawiono zasady projektowania termicznego ścian zewnętrznych jednowarstwowych z ceramiki poryzowanej. Wykonano obliczenia podstawowych parametrów cieplnych przegrody w świetle obowiązujących przepisów.

Słowa kluczowe: mostek cieplny., współczynnik przenikania ciepła, projektowanie termiczne

Abstract

The principles of thermal designing of single-layer external walls built from ceramics blocks have been presented in this paper. The basics thermal parameters of this type external walls have been calculated – according to obligatory polish regulation.

Keywords: thermal bridge, thermal transmittance, thermal projecting

* Dr inż. Krzysztof Pawłowski; mgr inż. Karol Kończal, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy.

Oznaczenia

- H_D – współczynnik sprzężenia cieplnego między przestrzenią ogrzewaną i otoczeniem zewnętrznym przez obudowę budynku
 U_c – współczynnik przenikania ciepła przegrody bez uwzględniania wpływu mostków cieplnych liniowych
 Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego o numerze i
 H_{tr} – współczynnik strat ciepła przez przenikanie

1. Wstęp

Obowiązujące w Polsce do końca 2008 r. warunki ochrony cieplnej były dalekie od optimum ekonomicznego, przez jakie rozumieć należy maksymalne korzyści z przeprowadzonych inwestycji i oszczędności kosztów zużycia energii. Długotrwałe i burzliwe prace nad przepisami dotyczącymi standardu energetycznego budynków i metodologii obliczania charakterystyki energetycznej były prowadzone równoległe z pracami nad zmianą rozporządzenia w sprawie warunków technicznych. W rezultacie działania te zakończyły się podpisaniem nowelizacji rozporządzenia przez Ministra Infrastruktury w dniu 6 listopada 2008 r., zmieniającej rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [8].

Aby ilość energii cieplnej potrzebnej do użytkowania budynku zgodnie z jego przeznaczeniem można było utrzymać na racjonalnie niskim poziomie, przewidziano dwie metody pozwalające spełnić wymaganie zarówno w nowo projektowanych, jak i przebudowywanych budynkach:

1. Pierwsza polega na takim zaprojektowaniu przegród w budynku, aby wartości współczynników przenikania ciepła U $W/(m^2 \cdot K)$ przegród zewnętrznych, okien, drzwi oraz technika instalacyjna odpowiadały wymaganiom izolacyjności cieplnej.
2. Druga to zaprojektowanie budynku pod kątem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną na jednostkę powierzchni pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza w budynku, lokalu mieszkalnym lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową – EP $kWh/(m^2 \cdot rok)$.

Zasadniczą zmianą rozporządzenia w zakresie ochrony cieplnej budynków jest zmiana wartości maksymalnych współczynników przenikania ciepła $U(max)$. Zaostreniu uległy wymagania cząstkowe w zakresie izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych, dachów i podłóg. Przywrócono także wymagania dla współczynników przenikania ciepła U dla przegród w budynkach zamieszkania zbiorowego i są one identyczne jak dla domów jednorodzinnych. Ponadto nie ma już znaczenia typ przegrody (wielo- czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenie obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.). W tym wypadku maksymalne wartości współczynnika U (przy temperaturze w pomieszczeniu powyżej $16^\circ C$) zostały ujednocnione do wartości $U \leq 0,3$ $W/(m^2 K)$ [2].

Mimo przeprowadzonych zmian w Rozporządzeniu [8] wiele problemów w zakresie projektowania termicznego ścian nie zostało do końca uporządkowanych. Na przykład pojawia się pytanie: w jaki sposób uwzględniać wpływ mostków cieplnych do obliczania współczynnika przenikania ciepła U dla pojedynczej przegrody?

W pracy przedstawiono zasady i wytyczne projektowania termicznego ścian zewnętrznych jednowarstwowych z ceramiki poryzowanej z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych.

2. Rozwiązania ścian jednowarstwowych

W zagadnieniach fizyki budowli przez zewnętrzną przegrodę budowlaną rozumie się przegrodę oddzielającą dwa środowiska: wewnętrzne kształtowane sztucznie przez człowieka i zewnętrzne – naturalne, niezależne od człowieka, zdeterminowane przez określoną strefę geograficzną (klimat).

Budowa, struktura i właściwości zewnętrznych przegród budowlanych zależą od spełnienia jej podstawowych funkcji oraz optymalizacji parametrów mikroklimatu pomieszczeń [3].

Jako przedmiot analizy pracy została wybrana ściana zewnętrzna jednowarstwowa z ceramiki poryzowanej z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych.

Ściany jednowarstwowe to jedna z najstarszych technik budowlanych – jedna warstwa materiału pełni funkcję nośną i termoizolacyjną. Dawniej ściany jednowarstwowe były dużo grubsze, ich budowa uchodziła za kosztowną i czasochłonną, a eksploatacja wymagała wielkich nakładów energii.

Pustaki szczerbinowe z ceramiki poryzowanej, nazywanej w literaturze „cieplą ceramiką”, mają podobne właściwości mechaniczne jak tradycyjne cegły, a jednocześnie lepszą izolacyjność cieplną i akustyczną. Są jednak bardziej kruche i nasiąkliwe. Najważniejsze zalety murowania ścian z tych pustaków to skrócenie czasu realizacji inwestycji oraz zmniejszenie kosztów robocizny. Wznoszenie ścian z tych pustaków wymaga jednak stosowania elementów wykonywanych bardzo dokładnie. Duże znaczenie ma również rodzaj użytej zaprawy oraz grubość spoin. Szczególną uwagę powinno się zwracać na poprawne zaprojektowanie złączy budowlanych, np. połączenie ściany zewnętrznej ze stropem czy też połączenie ściany zewnętrznej z oknem. Należy dążyć do minimalnego wpływu mostków cieplnych na parametry cieplno-wilgotnościowe zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy (optymalizacja straty ciepła oraz ryzyka występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody).

W wielu przypadkach trudne jest zaprojektowanie ściany jednowarstwowej spełniającej warunek cieplny, ponieważ w dostępnych opracowaniach i katalogach brak jest kart mostków termicznych i parametrów cieplno-wilgotnościowych poszczególnych złączy przegród. Do obliczeń często wykorzystuje się normę PN-EN ISO 14683:2008 [7], w której podane są wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła, ale są to wartości orientacyjne i przybliżone. Dokładne określenie współczynnika przenikania ciepła U_k i współczynnika H_{tr} wymaga opracowania kart katalogowych przy zastosowaniu narzędzi numerycznych.

3. Badania i obliczenia własne

W ramach badań własnych przeprowadzono obliczenia współczynnika przenikania ciepła U_k ściany budynku z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych oraz współczyn-

nika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} w sposób dokładny wg Rozporządzenia [9] w dwóch wariantach:

- wariant I – zastosowanie wartości liniowych współczynników przenikania ciepła Ψ na podstawie PN-EN ISO 14683:2008 [7],
 - wariant II – zastosowanie wartości liniowych współczynników przenikania ciepła Ψ na podstawie obliczeń własnych (obliczenia numeryczne – program TRISCO).
- Wartości liniowych współczynników przenikania ciepła zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Parametry mostków cieplnych

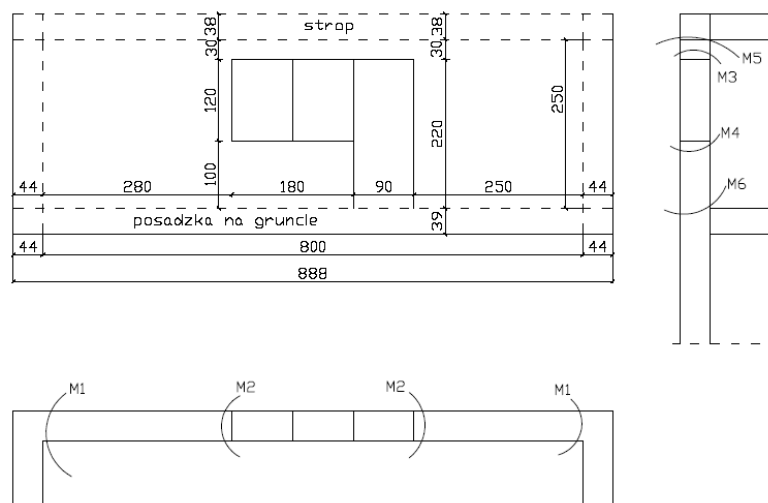
Lp.	Liniowy mostek cieplny	Wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła Ψ [W/(m·K)]			
		wymiarowanie wewnętrzne Ψ_i		wymiarowanie zewnętrzne Ψ_e	
		wariant		wariant	
		I	II	I	II
M1	Połączenie ścian zewnętrznych w narożniku	0,10	0,064	-0,15	-0,174
M2	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez ościeżnicę	0,10	0,103	0,10	0,103
M3	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez nadproże	0,10	0,267	0,10	0,267
M4	Połączenie ściany zewnętrznej z oknem w przekroju przez podokiennik	0,10	0,064	0,10	0,064
M5	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec	0,80	0,173*	0,70	0,106
M6	Połączenie ściany zewnętrznej z posadzką na gruncie	0,65	0,053**	0,50	-0,064
M7	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropodachem	–	–	0,15	0,037
M8	Połączenie ściany zewnętrznej ze stropem w przekroju przez wieniec i płytę balkonową	–	–	0,70	0,173

* Dla mostka M5 przyjęto wartość gałęziowego współczynnika przenikania ciepła Ψ dla dolnej części złącza (stropu).

** Dla mostka M6 przyjęto wartość gałęziowego współczynnika przenikania ciepła Ψ dla ściany stykającej się z gruntem.

3.1. Obliczenie współczynnika przenikania ciepła U_k z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych ściany jednowarstwowej z ceramiki poryzowanej

Obliczenia przeprowadzono dla wybranej ściany budynku jednorodzinnego, wyodrębnionej przez przegrody do niej prostopadłe (strop, ściany zewnętrzne, podłoga na gruncie) zgodnie z własnym algorytmem obliczeniowym [3] (rys. 1). Współczynniki Ψ_i (tab. 1), długości liniowych mostków termicznych l_i oraz pole powierzchni ścian zewnętrznych uczestniczących w przenikaniu A_i przyjęto przy zastosowaniu wymiarów wewnętrznych. Natomiast pole powierzchni A_0 określono po obrysie ścian zewnętrznych, a na wysokość – do osi stropu dowiązującego. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 1 Identyfikacja mostków cieplnych w ścianie parteru budynku z drzwiami i oknem

Fig. 1. The identification of thermal bridges in wall of ground floor with doors and window

Tabela 2

Wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_k [W/(m²·K)]

Parametry obliczeniowe	Wariant I	Wariant II
Współczynnik przenikania ciepła U_c zgodnie z PN-EN ISO 6946:2008 [5]	0,253	
Pole powierzchni ściany uczestniczącej w przenikaniu w świetle przegród do niej prostopadłych pomniejszone o pole powierzchni okien i drzwi obliczone w świetle ościeżnicy A_i , m ² $A_i = 8,0 \cdot 2,5 - (1,2 \cdot 1,8 + 2,2 \cdot 0,8) = 15,86$ m ²	15,86	
Identyfikacja mostków cieplnych – tabela 1		
Straty ciepła przez pełną ścianę: $U_{ci} \cdot A_i$ W/K	4,01	
Straty ciepła wynikające z występowania mostków cieplnych $\Sigma \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]	13,08	3,72
Obliczenie współczynnika sprzężenia cieplnego między przestrzenią ogrzewaną i otoczeniem zewnętrznym przez obudowę budynku H_D [W/K] $H_D = U_{ci} \cdot A_i + \Sigma \Psi_i \cdot l_i$	17,09	7,73
Pole powierzchni ściany zewnętrznej parteru w osiach przegród do niej prostopadłych A_0 m ² $A_0 = 8,88 \cdot 3,08 - (1,2 \cdot 1,8 + 2,2 \cdot 0,8) = 23,21$ m ²	23,21	
Współczynnik przenikania ciepła U_k W/(m ² ·K) z uwzględnieniem liniowych mostków cieplnych $U_k = L_D/A_0$	0,74	0,33

W celu uniknięcia błędów wynikających z przeszacowania wielkości strat ciepła zaproponowano stosowanie wartości gałęziowych współczynników przenikania ciepła. W Polsce katalogi, opracowania i normy podają wartości współczynników Ψ_i dotyczące całej dodatkowej straty ciepła przez mostek. Poprawne wykonanie obliczeń cieplnych odniesionych do pewnych fragmentów budynku, np. poszczególnych ścian zewnętrznych, należy dokonać podziału wartości współczynnika Ψ na odpowiednie gałęzie złącza uczest-

niczące w stratach ciepła. Procedurę określania gałęziowych współczynników przenikania ciepła opisano w [1, 3]. W wariantcie II obliczeń zastosowano wartości gałęziowych współczynników przenikania ciepła dla mostka M5 i M6 (tab. 1).

3.2. Obliczenie współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} w sposób dokładny wg Rozporządzenia[9]

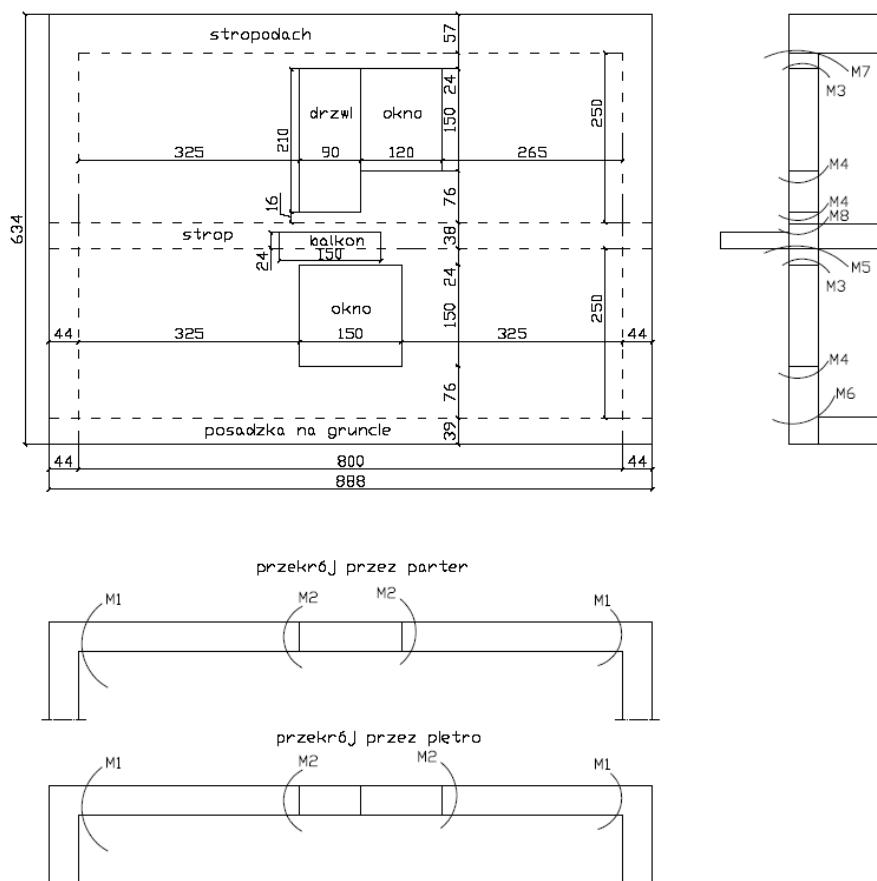
Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku [9], w celu wyznaczenia miesięcznych wartości zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania i wentylacji $Q_{H,ht}$, niezbędne jest określenie współczynnika strat ciepła H (suma współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} i współczynnika strat ciepła na wentylację H_{ve} – zał. 5, punkt 3.2.5 rozporządzenia [9]). W obliczeniach współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} wpływ mostków cieplnych uwzględniono zgodnie z punktem 3.2.3 – zał. 5 rozporządzenia [9] w sposób dokładny wg wzoru

$$H_{tr} = \sum_i \left[b_{tr,i} \cdot \left(A_i \cdot U_i + \sum_i l_i \cdot \Psi_i \right) \right] [\text{W/K}] \quad (1)$$

gdzie:

- $b_{tr,i}$ – współczynnik redukcyjny obliczeniowej różnicy temperatur – tabela 6 rozporządzenia [9],
- A_i – pole powierzchni i -tej przegrody otaczającej przestrzeń ogrzewaną, obliczane wg wymiarów zewnętrznych; wymiary okien i drzwi przyjmuje się jako wymiary otworów w ścianie, $[\text{m}^2]$,
- U_i – współczynnik przenikania ciepła i -tej przegrody pomiędzy przestrzenią ogrzewaną, a otoczeniem zewnętrznym, $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$,
- l_i – długość i -tego liniowego mostka cieplnego, $[\text{m}]$,
- Ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego przyjęty wg PN-EN ISO 14683:2008 [7] lub obliczany zgodnie z PN-EN ISO 10211:2008 [6], $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$.

Do obliczeń wybrano jedną z elewacji analizowanego budynku jednorodzinnego. Parametry ściany zewnętrznej przyjęto tak jak w przykładzie 1 (rys. 2). Zgodnie z procedurą przedstawioną w załączniku 5 rozporządzenia [9] wartości liniowego współczynnika Ψ (tabela 1), długości liniowych mostków termicznych l oraz pole powierzchni ścian zewnętrznych uczestniczących w przenikaniu A przyjęto przy zastosowaniu wymiarów zewnętrznych. Wartość współczynnika redukcyjnego obliczeniowej różnicy temperatur i -tej przegrody przyjęto $b_{tr,i} = 1,0$ – dla przegród pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i środowiskiem zewnętrznym. Wyniki obliczeń strat ciepła przez przenikanie budynku H_{tr} analizowanej ściany zewnętrznej budynku przedstawiono w tabeli 3.



Rys. 2. Elewacja analizowanego budynku – identyfikacja liniowych mostków cieplnych

Fig. 2. The facade of analysed building – the identification of linear thermal bridges

Tabela 3

Obliczenia współczynnika strat ciepła przez przenikanie H_{tr} [W/K]

Parametry obliczeniowe		Wariant I	Wariant II
U_c [W/m ² K]	ściana		0,253
	okno		1,70
A_i [m ²]	ściana	56,30	
	okno	5,94	
b_{tri} [-]		1,00	
$A_i \cdot U_i$ [W/K]	ściana	14,24	
	okno	10,01	
$\Sigma \Psi_i \cdot l_i$ [W/K]		12,48	1,63
H_{tr} [W/K]		36,73	25,88

4. Podsumowanie

Zastosowanie ścian o konstrukcji jednowarstwowej z materiału o stosunkowo niskim współczynniku przewodności cieplnej λ (z ceramiki poryzowanej), $\lambda = 0,118\text{--}0,150 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, jest ryzykowne, ponieważ charakteryzują się one wysokim udziałem liniowych mostków cieplnych w stratach ciepła (tab. 2 – wariant I – 77%, wariant II – 48%). Ponadto ściany zewnętrzne jednowarstwowe od 1.01.2009 r. po zmianie Rozporządzenia [8] nie spełniają często podstawowego kryterium cieplnego $U \leq U_{\max} = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ – tablica 2. Poprawne określenie współczynnika przenikania ciepła pojedynczej ściany budynku jest możliwe przy zastosowaniu w obliczeniach gałęziowych współczynników przenikania ciepła dla części złącza (wariant II obliczeń współczynnika przenikania ciepła U_k pojedynczej ściany budynku – tab. 1).

Projektowanie termiczne ścian zewnętrznych jednowarstwowych powinno dotyczyć nie tylko przegrody, ale także złączy budowlanych (mostków cieplnych). Dlatego w obliczeniach parametrów cieplnych powinno się korzystać z profesjonalnie przygotowanych katalogów mostków cieplnych. Taki sposób postępowania w projektowaniu termicznym daje możliwość uzyskania miarodajnych wyników.

Metodyka uwzględniania mostków cieplnych w obliczeniach strat ciepła według rozporządzenia [9] jest dyskusyjna. Jej stosowanie może spowodować otrzymywanie wyników obliczeń dla danego budynku o znacznej rozbieżności – w zależności od podejścia projektanta, certyfikatora – tab. 3. Wykonywanie świadectwa charakterystycznej budynku na podstawie normy z „wartościami orientacyjnymi” jest niezasadne.

Istnieje potrzeba opracowywania katalogów mostków cieplnych wielu często stosowanych rozwiązań ścian jednowarstwowych zewnętrznych i ich złączy. Szczegółowe obliczenia mostków cieplnych są niezbędne do poprawnego projektowania przegród zewnętrznych i ich złączy w zakresie fizyki budowli oraz wykonywania charakterystyki energetycznej budynków i lokali. Przykładem tego typu opracowania jest przygotowywany do druku katalog [4].

Literatura

- [1] Dylla A., *Praktyczna fizyka cieplna budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych*, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009.
- [2] Kończal K., *Współczesne metody numeryczne w budowaniu katalogu mostków cieplnych ścian zewnętrznych jednowarstwowych*, praca dyplomowa magisterska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2008.
- [3] Pawłowski K., *Efektywność zewnętrznych przegród budowlanych i ich złączy w aspekcie cieplno-wilgotnościowym*, praca doktorska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2008.
- [4] Praca zbiorowa. Katalog mostków cieplnych. Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli (w przygotowaniu do druku).
- [5] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.

- [6] PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
- [7] PN-EN ISO 14683:2008 Mostki cieplne w budynkach. Liniowy współczynnik przenikania ciepła. Metody uproszczone i wartości orientacyjne.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 r., Nr 75, poz. 690, Dz. U. z 2003 r., Nr 33, poz. 270, Dz. U. z 2004 r., Nr 109, poz. 1156, z późniejszymi zmianami).
- [9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.