

# Izolacyjność termiczna ścian a jakość energetyczna budynków

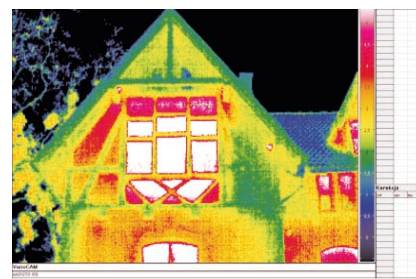
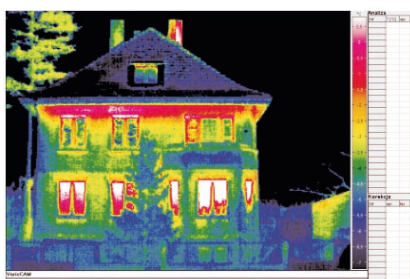
## Jakość energetyczna budynków – cz. II

O tym, czy budynek można zaliczyć do energooszczędnych, decydują m.in. czynniki architektoniczne. Właściwe, ze względu na zyski ciepła od promieniowania słonecznego, usytuowanie budynku względem stron świata pozwala ograniczyć zużycie energii o 5–7%. Nadmiernych strat ciepła pozwala też uniknąć energooszczędna geometria budynku (o niskiej wartości współczynnika kształtu A/V) – ograniczenie może sięgać nawet 35%. Na zużycie energii ma również wpływ rozmieszczenie pomieszczeń oraz wielkość przegród przezroczystych.

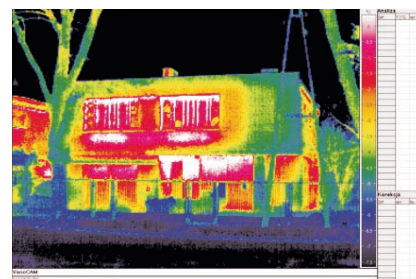
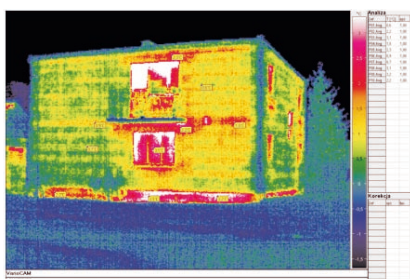
Mniejszą energochłonność budynku można też zapewnić, uzupełniając wymienione rozwiązania architektoniczne działaniami mającymi na celu poprawę izolacyjności termicznej przegród budowlanych – zwiększeniem grubości izolacji oraz poprawnym ich zaprojektowaniem.

### Jak zmieniały się wymagania dotyczące izolacyjności termicznej ścian

Wykonanie certyfikatu wymaga od audytora inżyniera dokonania wizji lokalnej i stwierdzenia faktycznego stanu technicznego budynku. Diagnostykę należy rozpocząć od zapoznania się z dokumentacją budynku. Niestety, wiele budynków posiada tylko książkę obiektu, w której znaleźć można jedynie ogólne informacje o konstrukcji budynku. Uzyskane w ten sposób dane są niewystarczające do określenia stanu technicznego przegród, a co za tym idzie izolacyjności termicznej wymaganej do określenia jakości energetycznej budynku.



Fot. 1–2. Zdjęcia termowizyjne: 1 – dom jednorodzinny z początku XX w., 2 – dom z końca XIX w. z murem pruskim. W obu przykładach widoczne są nadmierne straty przez ściany, wnęki podokienne, nadproża okienne, podokienniki oraz stolarkę okienną



Fot. 3–4. Zdjęcia termowizyjne domu jednorodzinne z lat 70. Widoczne są nadmierne straty przez ściany, wnęki podokienne, nadproża okienne, podokienniki oraz stolarkę okienną

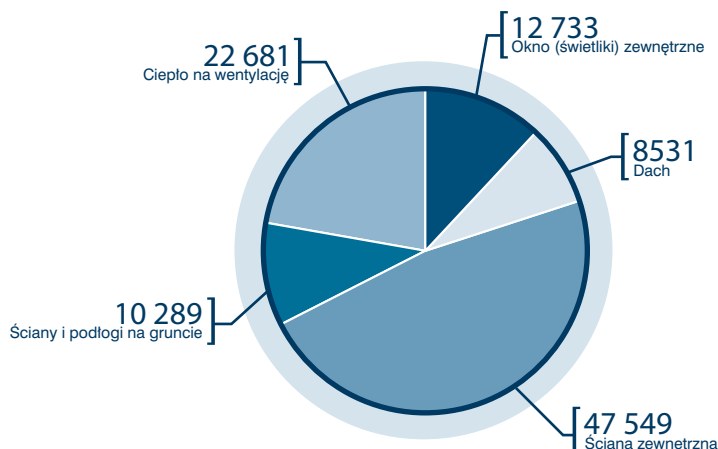
Określenie izolacyjności przegród budowlanych wymaga przeprowadzenia diagnostyki, którą można wykonać opierając się na posiadanej dokumentacji, wizji lokalnej. Dobrze jest, gdy podczas wykonywania diagnostyki przegród można skorzystać z kamery termowizyjnej. Warto też zapoznać się z wymaganiami dotyczącymi izolacyjności przegród obowiązującymi w okresie budowy. Do lat 70. nie stosowano izolacji termicznej ścian. W latach 80. uważano, że przegroda jest bardzo dobrze izolowana, gdy jest ocieplona wełną mineralną lub styropianem o grubości od 2 do 4 cm. Do 1998 r. wymagania się zwiększyły – za optymalne uznawa-

no wtedy ocieplenie materiałem termoizolacyjnym o grubości 8 cm. Następnie wzrosły one do grubości 10 cm izolacji.

Zaskoczeniem dla inżynierów było wprowadzenie podwyższonych wymagań izolacyjnych dla przegród budowlanych przez ustawę o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych [1]. Według zawartych w niej wytycznych minimalna wartość współczynnika przenikania ciepła ścian powinna wynosić  $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Dodatkowo wprowadzono konieczność optymalizacji izolacji termicznej, w wyniku czego nierzadko jej grubość znacznie przekraczała 10 cm. Najczęściej wynosiła ona 14 cm, ale zdarzało się również, że

Tabela 1. Zestawienie wymagań izolacyjności termicznej przegród obowiązujących w okresie powojennym

Rok budowy		do 1974	do 1982	do 1991	do 1998	po 1998	
Współczynnik przenikania ciepła dla przegród budowlanych	ściany [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]	1,42	1,16	0,75	0,55	0,5	0,3
	dach [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]	0,87	0,7	0,45	0,3	0,3	0,3
	stolarka [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]	brak wymagań	brak wymagań	2,6	2,6	2,6-2,0	
Wskaźnik sezonowego zapotrzebowania na ciepło $E_A$ na c.o. i wentylację	$E_A$ [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{rok}$ ]	360-400	300-340	260-280	180-240	150-180	130-160



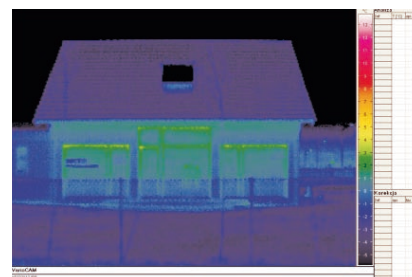
Rys. 1. Straty ciepła przez przegrody [kWh] w typowym domu jednorodzinnym z lat 70.: ściany – 1 i ½ cegły o współczynniku  $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , dach –  $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , okna drewniane dwuszybowe –  $U = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  [2]

stosowano 16-, a nawet 18-centymetrowe grubości ocieplenia. Współczynnik przenikania ciepła ściany wyniósł wówczas nawet od 0,25 do 0,2  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Rewolucją w myśleniu inżynierskim było wprowadzenie analiz opłacalności ekonomicznej, które wyzwoliły myśl projektową od zasady spełniania minimalnych wymagań w zakresie stosowania zwiększonej grubości izolacji termicznej. Wymóg ten obowiązuje już od 1998 r. i wynika z zapisu zamieszczonego w warunkach technicznych; odnosi się do konieczności racjonalizacji zużycia energii w projektowanych budynkach. Prowadzone w listopadzie 2008 r. zmiany zachowały konieczność wykonywania racjonalizacji rozwiązań mających wpływ na końcowe zużycie energii na c.o., wentylację, c.w.u., chłodzenie, oświetlenie, a nawet racjonalizując energię pomocniczej.

Z tego powodu opracowano bardziej złożone modele analiz ekonomiczno-technicznych, które umożliwiły uwzględnianie takich czynników, jak: inflacja, wzrost cen nośników energii, okres korzystania z efektów podwyższonej izolacji. W wyniku wprowadzenia tych nowoczesnych metod analizy optymalna grubość izolacji znacznie wzrosła. **Audytorów energetycznych i nowoczesnych architektów i inżynierów nie dziwi obecnie stosowanie izolacji termicznej o grubości 20, a nawet 30 cm.** Współczynnik przenikania ciepła takiej ściany wynosi  $U = 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , a nawet 0,1  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Wykonywanie takich analiz umożliwiają programy Agnes, Optima i RockProfi.

Na rys. 1 i 2 przedstawiono straty ciepła przez przegrody w typowych



Fot. 5. Zdjęcie termowizyjne budynku pasywnego

budynkach z lat 70., natomiast na rys. 3 i 4 – straty w budynkach spełniających obecne wymagania w zakresie izolacyjności termicznej. Miejsca, przez które następują straty ciepła w budynkach źle izolowanych, pokazano na fot. 1–4. Dla porównania na fot. 5 przedstawiono rozkład temperatur w budynku pasywnym.

### Ekonomicznie uzasadniona grubość izolacji cieplnej

W praktyce projektowej przyjmuje się taką grubość izolacji cieplnej, która spełnia minimalne wymagania obowiązujących przepisów.

Wymagania dotyczące nowo projektowanych budynków oraz istniejących poddawanych gruntownemu remontowi zawarte są w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – WT2008. Uznaje się je za spełnione, jeżeli wartości wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej EP nie przekraczają war-

Okres grzewczy budynku spełniającego aktualne wymagania prawne ( $EP = 158 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{rok}$ )

Miesiąc:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba dni grzewczych:	31,0	28,0	31,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3	30,0	31,0

Q H - składowe	kWh/rok	Parametr	Wartość
ZYSKI - od słońca:	3135,35	Wsp. strat ciepła przez przenikanie, Htr [W/K]:	31,34
ZYSKI - wewnętrzne:	1400,23	Wsp. strat ciepła na wentylację, Hve [W/K]:	87,70
ZYSKI - RAZEM:	4535,58	Wewnętrzna pojemność cieplna, Cm [J/K]:	21907265
STRATY - przez przenikanie:	2388,60	Stała czasowa, $\tau$ [h]:	51,12
STRATY - na wentylację:	6705,72	Bezwymiarowy parametr numeryczny, aH:	4,41
STRATY - RAZEM:	9094,32	Wskaźnik zwartości, A/Ve [1/m]:	0,89

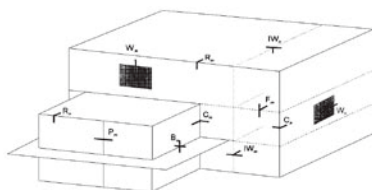
Okres grzewczy domu jednorodzinnego niskoenergetycznego ( $EP = 38,15 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{rok}$ )

Miesiąc:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Liczba dni grzewczych:	31,0	18,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,1	31,0

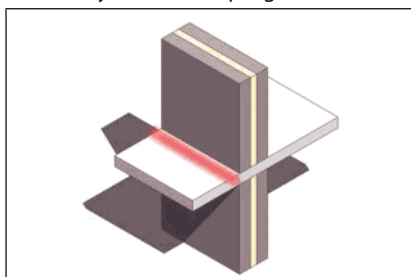
Q H - składowe	kWh/rok	Parametr	Wartość
ZYSKI - od słońca:	1594,98	Wsp. strat ciepła przez przenikanie, Htr [W/K]:	15,71
ZYSKI - wewnętrzne:	1160,81	Wsp. strat ciepła na wentylację, Hve [W/K]:	59,57
ZYSKI - RAZEM:	2755,79	Wewnętrzna pojemność cieplna, Cm [J/K]:	149467593
STRATY - przez przenikanie:	735,53	Stała czasowa, $\tau$ [h]:	551,52
STRATY - na wentylację:	2784,97	Bezwymiarowy parametr numeryczny, aH:	37,77
STRATY - RAZEM:	3520,51	Wskaźnik zwartości, A/Ve [1/m]:	0,52

Przykładowe obliczenia okresu grzewczego wykonano za pomocą programu Certo.

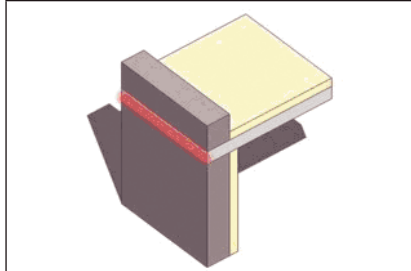
Rys. 5. Schemat mostków cieplnych wg PN-EN 14683



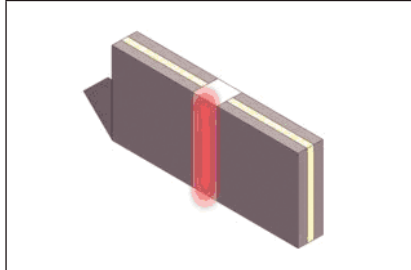
Rys. 6. Detale mostków cieplnych (schematy mostków z programu Certo)



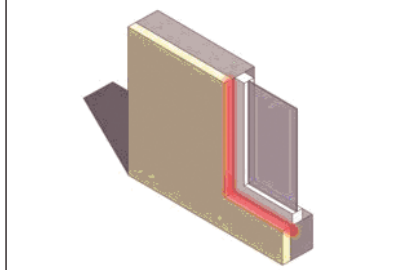
Mostek typu B, wartość  $\psi = 0,85 \text{ W/mK}$



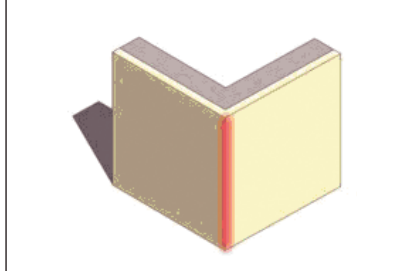
Mostek typu R, wartość  $\psi = 0,35 \text{ W/mK}$



Mostek typu P, wartość  $\psi = 1,2 \text{ W/mK}$



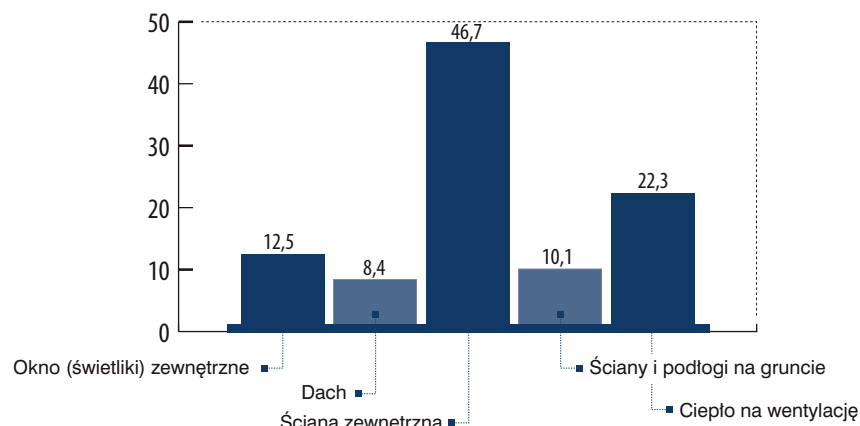
Mostek typu W, wartość  $\psi = 0,35 \text{ W/mK}$



Mostek typu C, wartość  $\psi = -0,05 \text{ W/mK}$

Tabela 2. Przykładowe wartości liniowego współczynnika przenikania ciepła dla różnych rozwiązań detali mostków cieplnych

Nr detalu	Charakterystyka rozwiązania detalu izolacji	$\Psi[\text{W/mK}]$
1	Ościeżce okienne; okno w licu zewnętrznym muru, izolacja muru nie zachodzi na ościeżnicę	0,19
2	Ościeżce okienne; okno w licu zewnętrznym muru, izolacja muru zachodzi 3 cm na ościeżnicę	0,05
3	Ościeżce okienne; okno w licu wewnętrznym muru, ościeżce bez izolacji	0,39
4	Nadproże okienne; okno w licu zewnętrznym muru, izolacja muru nie zachodzi na ościeżnicę	0,29
5	Nadproże okienne; okno w licu zewnętrznym muru, izolacja muru zachodzi 3 cm na ościeżnicę	0,06
6	Nadproże okienne; okno w licu wewnętrznym muru, nadproże bez izolacji od spodu	0,60
7	Nadproże okienne; okno w licu wewnętrznym muru, izolacja nadproża od spodu	0,20
8	Podokiennik; okno w licu zewnętrznym muru, kamienny podokiennik wewnętrzny oddzielony od kamiennego podokiennika zewnętrznego 1-cm przekładką ze styropianu	0,39
9	Podokiennik; okno w licu wewnętrznym muru, wierzch muru nieprzykryty izolacją	0,57
10	Podokiennik; okno w licu wewnętrznym muru, wierzch muru przykryty izolacją grubości 3 cm	0,22
11	Podokiennik; okno w licu zewnętrznym muru, kamienny podokiennik wewnętrzny, izolacja zachodzi 3 cm na ościeżnicę	0,07
12	Płyta balkonowa wspornikowa w przekroju poza drzwiami balkonowymi	0,65
13	Płyta balkonowa o własnej konstrukcji w przekroju poza drzwiami balkonowymi; beton płyty oddzielony od betonu stropu przekładką izolacji o grubości jak na murze	0,07
14	Płyta balkonowa wspornikowa w przekroju przez drzwi balkonowe	0,91
15	Płyta balkonowa o własnej konstrukcji w przekroju przez drzwi balkonowe; beton płyty oddzielony od betonu stropu przekładką izolacji o grubości jak na murze; na zewnątrz przechodzi kamienna płytka podłogowa	0,57



Rys. 2. Procentowe straty ciepła w typowym domu jednorodzinnym z lat 70. (parametry izolacyjne jak na rys. 1) [2]

tości granicznej EP [kWh/(m<sup>3</sup>·a)], zależnej od współczynnika kształtu A/V, określonej zgodnie z WT2008 lub je-

żeli przegrody budowlane odpowiadają wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w rozporządzeniu, tzn.



zachowują wartości graniczne  $U_0$  [W/(m<sup>2</sup>·K)]. Dla przykładu  $U_0$  dla ściany wynosi 0,3 W/(m<sup>2</sup>·K) [2].

Jeśli budynek poddawany jest termomodernizacji z wykorzystaniem pomocy rządowej, obowiązujące są wymagania określone w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 15 stycznia 2002 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego [3], a mianowicie określona jest minimalna wartość oporu cieplnego po termomodernizacji. Dla ścian zewnętrznych (stykających się z powietrzem zewnętrznym) wynosi ona 4,00 m<sup>2</sup>·K/W.

Podstawowe wymagania narzucają jednak konieczność racjonalizacji zużycia energii, co w konsekwencji wymaga dokonania optymalizacji. Obecnie stosowane są dwie metody optymalizacji: na podstawie wskaźnika SPBT lub NPV. Prosty czas zwrotu SPBT (Simple Pay Back Time) oblicza się za pomocą wzoru:

$$SPBT = \frac{N}{\Delta O}$$

gdzie: N – nakłady inwestycyjne, ΔO – oszczędności.

Metoda ta nie uwzględnia wzrostu cen nośników energii ani utraty wartości pieniądza w czasie.

Wskaźnik NPV (Net Present Value) określający wartość bieżącą netto pozwala określić korzyści z realizacji inwestycji w badanym okresie. Ogólny wzór na obliczenie wartości NPV jest następujący [4]:

$$NPV = -I_0 + \sum_{i=1}^n \Delta E_0 \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}$$

w którym: I<sub>0</sub> – nakład inwestycyjny, n – zakładana liczba lat korzystania z efektów inwestycji, ΔE<sub>0</sub> – korzyści z realizacji inwestycji w cenach roku realizacji, r – stopa dyskontowa, s – stopa wzrostu kosztu ogrzewania ponad stopę spadku wartości pieniądza w czasie.

Stopa dyskontowa uwzględnia spadek wartości pieniądza w czasie i sprowadza oszczędności w przyszłych latach do wartości pieniądza w roku bazowym.

Optymalizacja przeprowadzana jest w odniesieniu do 1 m<sup>2</sup> przegrody pełnej:

$$NPV = -S - Kd + 10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot DD \cdot G \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_0 + \frac{d}{\lambda}} \right) \sum_{j=1}^n \frac{(1+s)^j}{(1+r)^j}$$

gdzie: S – koszt operacji niezależnych od grubości izolacji (klejenie izolacji, wykonanie warstwy zbrojonej i dekoracyjnej fakturowej), K – koszt ma-

teriału izolacji loco budowa [zł/m<sup>3</sup>], d – grubość warstwy izolacji cieplnej [m], R<sub>0</sub> – opór cieplny innych warstw przegrody poza izolacją cieplną (podłóże) wraz z oporami przejmowania ciepła na powierzchniach przegród, λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału podstawowej izolacji cieplnej, DD – liczba stopniodni ogrzewania, G – koszt energii [zł/GJ], 24 – liczba godzin w dobie, 3600 – liczba sekund w godzinie, n – okres korzystania z efektów ocieplenia [lata].

Optymalną grubość warstwy izolacji wylicza się na podstawie wzoru:

$$d_{opt} = \lambda \sqrt{\frac{10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot DD \cdot G \sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}}{\lambda K}} - R_0 \lambda$$

Optymalną wartość współczynnika przenikania ciepła wylicza się na podstawie wzoru:

$$U_{opt} = \lambda \sqrt{\frac{\lambda K}{10^{-9} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot DD \cdot G \sum_{i=1}^n \frac{(1+s)^i}{(1+r)^i}}} - R_0 \lambda$$

Tabela 3. Dodatek do współczynnika przenikania ciepła λ<sub>0</sub> uwzględniający wpływ mostków liniowych

Rodzaj przegrody	λ <sub>0</sub> [W/m <sup>2</sup> ·k]
Ściany zewnętrzne bez drzwi i okien	0,03–0,3
Ściany zewnętrzne z oknami	0,095–0,54
Ściany zewnętrzne z oknami i drzwiami	0,13–0,75
Ściany zewnętrzne z płytami balkonowymi przenikającymi przez ścianę	0,30–0,88

Tabela 4. Budynek mieszkalny i zamieszkania zbiorowego

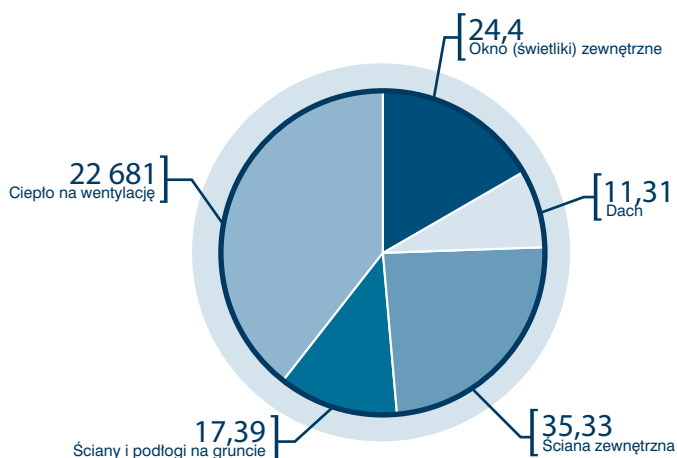
Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła U <sub>(max)</sub> [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
Ściany zewnętrzne (stykające się z powietrzem zewnętrznym, niezależnie od rodzaju ściany): a) przy t <sub>i</sub> > 16°C b) przy t <sub>i</sub> ≤ 16°C	0,30 0,80
Ściany wewnętrzne pomiędzy pomieszczeniami ogrzewanymi a nieogrzewanymi, klatkami schodowymi lub korytarzami	1,00
Ściany przyległe do szczelin dylatacyjnych o szerokości: a) do 5 cm, trwale zamkniętych i wypełnionych izolacją cieplną na głębokości co najmniej 20 cm b) powyżej 5 cm, niezależnie od przyjętego sposobu zamknięcia i zaizolowania szczeliny	1,00 0,70
Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań
Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy t <sub>i</sub> > 16°C b) przy 8°C < t <sub>i</sub> ≤ 16°C	0,25 0,50
Stropy nad piwnicami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi, podłogi na gruncie	0,45
Stropy nad ogrzewanymi kondygnacjami podziemnymi	bez wymagań
Ściany wewnętrzne oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00

Tabela 5. Optymalna grubość ocieplenia ściany o gr. 38 cm z cegły pełnej obustronnie otynkowanej o współczynniku U = 1,5 W/(m<sup>2</sup>·K) przy założeniach: ciepło – 50 zł/GJ, inflacja – 6%, wzrost cen energii – 5% [5]

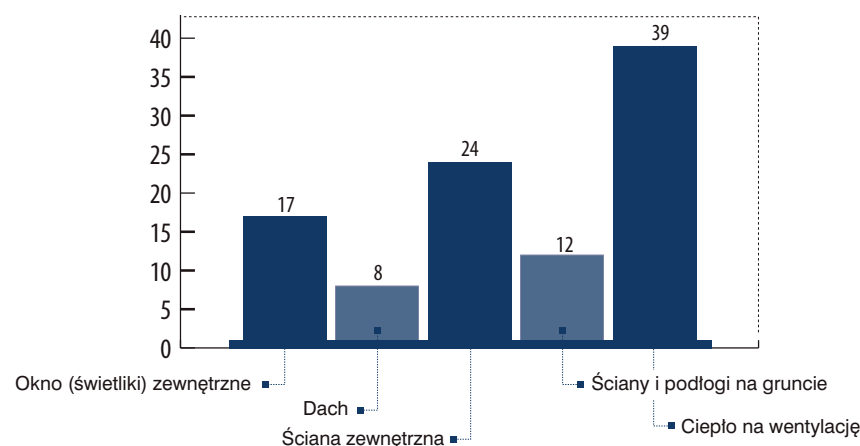
Czas korzystania z efektów [lata]	Analiza ekonomiczna w oparciu o	Optymalna grubość izolacji [cm]	Optymalna wartość U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
10	NPV10	14	0,24
15	NPV15	17	0,20
20	NPV20	20	0,18
25	NPV25	22	0,16
30	NPV30	24	0,15

Tabela 6. Optymalna grubość ocieplenia ściany o gr. 38 cm z cegły pełnej obustronnie otynkowanej o współczynniku  $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  przy założeniach: ciepło – 80 zł/GJ, inflacja – 6%, wzrost cen energii – 5% [5]

Czas korzystania z efektów [lata]	Analiza ekonomiczna w oparciu o	Optymalna grubość izolacji [cm]	Optymalna wartość $U$ [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]
10	NPV10	18	0,20
15	NPV15	22	0,16
20	NPV20	26	0,14
25	NPV25	29	0,13
30	NPV30	31	0,12



Rys. 3. Straty ciepła [GJ] w typowym domu jednorodzinnym spełniającym obecnie wymagania prawne: ściany, dach –  $U = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , okna –  $U = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , wentylacja za pomocą nawiewników ręcznie sterowanych



Rys. 4. Procentowe straty ciepła w typowym domu jednorodzinnym (parametry izolacyjne jak na rys. 3)

Przykładowe wyliczenia optymalnej grubości izolacji dla dwóch wybranych przykładów przedstawiono w tabelach 5 i 6. Wartość optymalnej grubości izolacji jest zmienna w zależności od czasu korzystania z efektów. Im dłuższy okres, tym większa optymalna grubość izolacji termicznej. Przy wyższej cenie ciepła, np. z oleju opałowego – 80 zł/GJ (0,28 zł/kWh), wartości optymalnej grubości izolacji są większe (tab. 6).

### Straty ciepła w budynku

Straty ciepła przez przegrody zewnętrzne stykające się z powietrzem zewnętrznym w m-tym miesiącu sezonu grzewczego mogą być liczone zgodnie z normą PN-EN ISO 13790:2004 jako suma strat przez każdą przegrodę  $Q_{zk}$  lub zgodnie z:

$$Q_l = H \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \text{ [KWh/mies.]}$$

gdzie:

$H$  – współczynnik strat ciepła,  $\theta_i$  – temperatura wewnętrzna w mieszkaniu przyjmowana zgodnie z przepisami budowlanymi,  $\theta_e$  – średnia temperatura powietrza zewnętrznego w analizowanym okresie miesięcznym [ $^{\circ}\text{C}$ ] według danych najbliższej stacji meteorologicznej,  $t$  – liczba dni grzewczych poszczególnych miesiącach [dni]

Okres grzewczy może być różny w różnych budynkach. Zależy od izolacji termicznej przegród, powierzchni przegród przezroczystych oraz lokalizacji budynku i ma wpływ na roczne zapotrzebowanie na ciepło na c.o. i wentylację oraz na obliczeniowe zużycie energii pomocniczej, której udział w energii nieodnawialnej EP nie jest pomijalny.

Współczynnik strat ciepła  $H$  wylicza się według wzoru:

$$H = H_T + H_V \text{ [W/K]}$$

gdzie:  $H_T$  – współczynnik strat ciepła przez przenikanie przez przegrody zewnętrzne [ $\text{W}/\text{K}$ ],  $H_V$  – współczynnik strat ciepła przez wentylację [ $\text{W}/\text{K}$ ].

Wartość strat ciepła przenikających przez przegrody zewnętrzne oblicza się na podstawie równania:

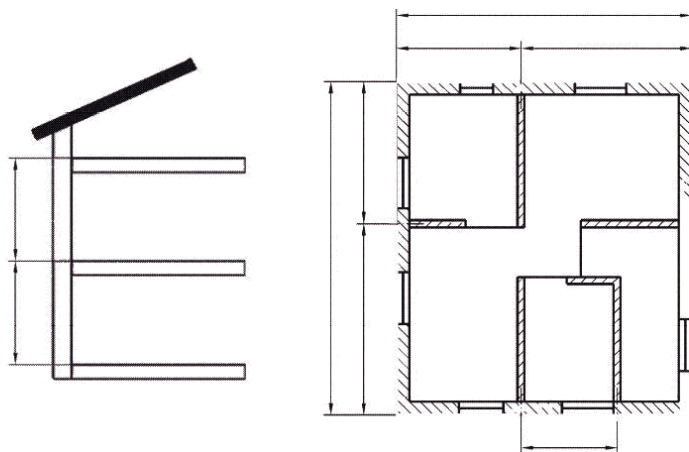
$$H_T = \sum A_i (U_i + \Delta_{ui}) b_{gi} \quad \text{lub}$$

$$H_T = b_{gi} \sum A_i U_i + \sum \psi_{jn} L_{jn} + \sum \psi_{pm} \Psi_{pm}$$

(wg PN-EN ISO 13789)

gdzie:  $A_i$  – pole powierzchni i-tej przegrody otaczającej przestrzeń o regulowanej temperaturze obliczana według wymiarów w osiach przegród prostokątnych do i-tej przegrody (wymiały okien i drzwi przyjmuje się jako wymiary otworów w ścianie [ $\text{m}^2$ ]),  $U_i$  – współczynnik przenikania ciepła i-tej przegrody pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i stroną zewnętrzną [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ],  $\Delta_{ui}$  – dodatek uwzględniający mostki cieplne,  $b_{gi}$  – współczynnik zmniejszenia temperatury odnoszący się do przegród pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i nieogrzewaną (dla przegród pomiędzy przestrzenią ogrzewaną i atmosferą zewnętrzną  $b_{gi} = 1$ ),  $\psi_{pm}$  – współczynnik przenikania ciepła w miejscu występowania m-tego punktowego mostka termicznego [ $\text{W}/\text{K}$ ].

Obliczenia powierzchni przegród można wymiarować po wymiarach zewnętrznych. Należy jednak pamiętać, że powierzchnia strat ciepła będzie większa i konieczna będzie korekta przez przyjęcie liniowego współczynnika strat ciepła o wartości ujemnej. Na rys. 7 przedstawiono sposób wymiarowania przegród do obliczenia współczynnika strat ciepła.



Rys. 7. Przykłady wymiarów zewnętrznych w uproszczonej metodzie obliczeniowej

## Wpływ mostków cieplnych na izolacyjność termiczną

Dodatek uwzględniający wpływ mostków cieplnych  $\Delta_{ui}$  wylicza się według wzoru:

$$\Delta_{ui} = \frac{\sum_{n=1}^N \Psi_{ln} \cdot L_n}{A} + \frac{\sum_{m=1}^M \Psi_{pm}}{A}$$

gdzie:  $\Psi_{ln}$  – współczynnik przenikania ciepła w miejscu występowania n-tego liniowego mostka termicznego [W/(m·K)],  $L_n$  – długość n-tego liniowego mostka termicznego [m],  $\Psi_{pm}$  – współczynnik przenikania ciepła w miejscu występowania m-tego punktowego mostka termicznego [W/K],  $A$  – pole powierzchni przegrody z potrąceniem powierzchni otworów okiennych i drzwiowych [m<sup>2</sup>].

Katalog ponad 60 mostków cieplnych opracowany został w normie PN-EN 14683. Choć norma ta została przywołana w rozporządzeniu w sprawie metodologii sporządzania charakterystyki energetycznej budynków, to wartości mostków liniowych są przybliżone. Każdy przypadek powinno się analizować indywidualnie. Pomocny może tu być katalog mostków cieplnych opracowany przez ITB w 2004 r., który zawiera 176 mostków cieplnych. Wprowadzenie interpolacji pozwala praktycznie obliczyć prawie wszystkie przegrody z uwzględnieniem wpływu mostków cieplnych.

## Przegrody budowlane a warunki techniczne

W warunkach technicznych określono maksymalne wartości  $U$  dla przegród budowlanych. Po przeanalizowaniu wszystkich wymogów zamieszczonych w [2] można stwierdzić, że ustawodawca nie wymaga uwzględniania wpływu mostków cieplnych

przy sprawdzaniu warunku  $U \leq U_{(max)}$ . Może być to bardzo złudne ponieważ przy wykonywaniu certyfikatu uwzględnia się wpływ mostków cieplnych. Zatem jakość energetyczna budynków określona za pomocą wskaźnika nieodnawialnej energii pierwotnej EP może być niekorzystna – może nie spełniać warunku na wartość graniczną EPH + W

## Podsumowanie

Konieczność racjonalizacji zużycia energii wymaga poszukiwania ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań technicznych. Przy projektowaniu izolacyjności termicznej ścian należy zatem przeprowadzić optymalizację, pozwalającą przyjąć uzasadnioną grubość izolacji termicznej. Ponadto przy konstruowaniu przegrody trzeba minimalizować wpływ mostków cieplnych, który może być znaczący w końcowej izolacyjności termicznej ściany.

Projektowanie budynków z wentylacją naturalną spełniające wymagania na maksymalne wartości  $U$  określone zgodnie z WT2008 bez uwzględnienia wpływu mostków cieplnych spowoduje trudności ze spełnieniem wymagań na EPH + W pozwala spełnić wymagania na EP pod warunkiem zasilania budynku z kotłowni na biomasę lub za pomocą pompy ciepła.

JERZY ŻURAWSKI

Rysunki i zdjęcia autora

## Literatura

1. Ustawa z dnia 18 grudnia 1998 r. o wspieraniu przedsięwzięć termomodernizacyjnych (Dz.U. z 1998 r. Nr 162, poz. 1121 z późn. zm.).
2. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r.

w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.) wraz ze zmianami z 6 listopada 2008 r.

3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 15 stycznia 2002 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy audytu energetycznego (Dz.U. z 2002 r. Nr 12, poz. 114).
4. *Bezpoinowy system ocieplania ścian zewnętrznych budynków*, Instrukcja ITB nr 334/2002.
5. Analizy bilansu ciepła i optymalizacji grubości ocieplenia wykonane za pomocą programu Agnes program dostępny na stronie: [www.cieplej.pl](http://www.cieplej.pl).
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej.
7. J. Żurawski, *Certyfikacja energetyczna przegród budowlanych*, „Doradca Energetyczny” nr 4/2007, s. 35.
8. PN-B-02025:2004 Obliczanie sezonowego zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania budynków mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego.
9. PN-EN 13790:2004 Ciepłota właściwości użytkowe budynków. Obliczanie energii do ogrzewania.
10. Program Certo do certyfikacji energetycznej budynku oraz do obliczania charakterystyki energetycznej budynku.