

dr inż. Elżbieta Rudczyk-Malijewska\*  
prof. dr hab. inż. Jerzy A. Pogorzelski\*

# Dobór ekonomicznej grubości izolacji cieplnej w przegrodach zewnętrznych

**P**rzy projektowaniu budynków ważnym momentem, ze względu na przyszłe koszty eksploatacji budynku, jest prawidłowy dobór izolacji cieplnej przegród zewnętrznych. Powinien on wynikać z analizy ekonomicznej, która ma za zadanie wskazać optymalną grubość materiału izolacyjnego w przegrodzie. Zagadnieniem tym zajmowaliśmy się już w artykule „Optymalna izolacyjność cieplna przegród zewnętrznych” (Materiały Budowlane nr 1/2004, s. 44-46), jednak stale rosnące ceny nośników energii (w tym wzrost akcyzy na olej opałowy) oraz najnowsza 10% podwyżka ceny gazu skłoniły nas do ponownego zajęcia się tym tematem. W ciągu minionych trzech lat wzrosły ceny netto materiałów izolacji cieplnej oraz został podwyższony VAT w budownictwie. Postanowiliśmy sprawdzić, jak łączne zmiany cen materiałów izolacyjnych i energii wpłyną na optymalną grubość izolacji cieplnej w poszczególnych przegrodach budynku.

W nowej analizie opłacalności uwzględniliśmy ceny materiałów izolacji cieplnej i nośników energii z końca 2006 r. oraz spodziewany wzrost ceny gazu o 10%. Nie podajemy wszystkich wyprowadzeń wzorów oraz oznaczeń, ponieważ aktualne są te zamieszczone w wymienionym artykule.

## Zasady obliczeń ekonomicznej grubości izolacji cieplnej

Za miarę oceny ekonomicznej inwestycji przyjęto tzw. wartość bieżącą netto NPV (Net Present Value). Wyraża ona różnicę między wartością przychodów i kosztów inwestycji zdyskontowanych lub, inaczej mówiąc, sprowadzonych za pomocą współczynnika dyskonta na dany moment w czasie (przeważnie jest to tzw. rok bazowy, czyli rok, w którym dokonuje się oceny inwestycji) przy określonej stopie dyskonta.

Stopa dyskonta uwzględnia spadek wartości pieniądza w czasie i sprowadza oszczędności w przyszłych latach do wartości pieniądza w roku bazowym. Ponieważ inflację przewiduje się na poziomie poniżej 1%, a obecne oprocentowanie kredytów hipotecznych zaczyna się od niespełna 5%, do obliczeń przyjęto stopę dyskonta  $r = 5,0\%$ .

W obliczeniach uwzględniono stopę wzrostu kosztów ogrzewania ponad stopę inflacji  $s = 2\%$ .

Koszt inwestycji związany z wykonaniem izolacji cieplnej powinien obejmować:

- koszt zakupu materiału w lokalnej hurtowni;
- koszt transportu na budowę;
- koszt ułożenia izolacji.

Pod uwagę brano tylko koszty związane z izolacją cieplną przegród pełnych. Założono, że koszt wykonania konstrukcji przegrody i robót wykończeniowych nie zależy od grubości izolacji.

W koszcie inwestycji będziemy mieć swoistą „bonifikatę” z tytułu spadku wielkości grzejników i wymiennika ciepła (bądź źródła ciepła) wraz ze wzrostem grubości izolacji. Pomińmy ten składnik i, dla równowagi, koszt robocizny przy układaniu izolacji.

Na podstawie danych uzyskanych z hurtowni przyjęto koszt zakupu w przypadku:

- wyrobów z wełny mineralnej:
    - 240 – 350 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania murów szczeliny i ścian zewnętrznych;
    - 170 – 260 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania dachów i stropodachów;
    - 170 – 220 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania stropów i stropodachów wentylowanych;
    - 250 – 400 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania podłóg na gruncie;
  - styropianu:
    - 180 – 200 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania murów szczeliny i ścian zewnętrznych;
    - 180 – 200 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania dachów i stropodachów;
    - 180 – 200 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania stropów i stropodachów wentylowanych;
    - 200 – 300 zł/m<sup>3</sup> – płyty do ocieplania podłóg na gruncie.
- Do kosztu zakupu materiałów izolacji cieplnej dodawano 5% na transport.

Jeżeli inwestycja ma być opłacalna, to wartość wskaźnika NPV powinna być dodatnia, przy założonej liczbie lat eksploatacji. Analizę prowadzono w odniesieniu do m<sup>2</sup> przegrody pełnej.

Przyjęto koszt stały wykonania dodatkowego ocieplenia, s, niezależny od grubości izolacji [zł/m<sup>2</sup>], obejmujący koszt kleju, siatki, łączników i wykonania tynku.

Koszt dostawy ciepła i innych nośników energii (gaz, energia elektryczna) przyjęto wg taryfy jednoczłonowej lub taryfy dwuczłonowej, w zależności od nośnika.

Z warunku ekstremum funkcji NPV:

$$\frac{dNPV}{dd} = 0$$

powstaje wzór na optymalną grubość warstwy izolacji przy założonej eksploatacji  $n$  – lat:

$$d_{opt} = \lambda \sqrt{\frac{G_0 \sum_{t=1}^n \frac{(1+s)^t}{(1+r)^t}}{\lambda K}} - R_0 \lambda \text{ [m]}$$

\* Politechnika Białostocka

Ostatni wzór ma taką samą postać w przypadku budynków nowo wznoszonych, jak i dociepleń ścian zewnętrznych budynków istniejących, ponieważ w warunku ekstremum pochodna składnika S jest równa 0.

## Podstawowe założenia i dane do obliczeń

Okres eksploatacji projektowanej izolacji cieplnej przyjęto  $n = 30$  lat, a liczbę stopniodni okresu grzewczego  $DD = 4200$ .

Dla strefy klimatycznej IV, w której znajduje się Białystok, przyjmuje się wartość obliczeniowej temperatury zewnętrznej  $t_e = -22$  °C. Do obliczeń przyjęto wartości obliczeniowej temperatury wewnętrznej:

- w pomieszczeniach ogrzewanych  $t_i = 20$  °C;
- w piwnicy nieogrzewanej  $t_i = 8$  °C,
- na poddaszu nieużytkowym  $t_i = 6$  °C.

Różnica temperatury wynosi odpowiednio w przypadku:

- ścian zewnętrznych, stropodachów:  $(t_i - t_e) = 42$  K;
- stropów nad pomieszczeniami nieogrzewanymi  $(t_i - t_e) = 12$  K;
- stropów nad ostatnią kondygnacją (na poddaszu nieużytkowym)  $(t_i - t_e) = 14$  K.

## Nośniki energii

**Ogrzewanie zdalaczynne.** Do obliczeń przyjęto taryfę dostaw Miejskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej, obowiązującą w Białymstoku w 2006 r. Taryfa ta obejmuje cenę za zamówioną moc cieplną [zł/MW], opłatę zmienną za dostarczone ciepło [zł/GJ] oraz cenę nośnika ciepła [zł/m<sup>3</sup>]. Ceny zawierają podatek VAT. Obliczono, że odbiorca za otrzymaną energią musi zapłacić 49,04 zł/GJ. Podobnie skalkulowano ceny pozostałych nośników energii.

**Energia elektryczna** (opłata abonamentowa + opłata systemowa + opłata sieciowa) taryfa:

- całodobowa G-11 – 120,94 zł/GJ;
- nocna G-12 – 52,53 zł/GJ.

**Gaz ziemny** wysokometanowy GZ-50 wartość opała ok. 34,3 MJ/m<sup>3</sup> (opłata abonamentowa + usługa przesyłowa + cena paliwa) z uwzględnieniem sprawności pieca na poziomie 90%) taryfa W-3 – 41,68 zł/GJ.

**Olej opałowy** – wartość opała ok. 42,8 MJ/m<sup>3</sup> z uwzględnieniem sprawności pieca na poziomie 90%, przy gęstości 0,86 kg/m<sup>3</sup> – 66,41 zł/GJ.

## Obliczenia ekonomicznej grubości izolacji cieplnej w przegrodach zewnętrznych

Obliczenia ekonomicznej grubości izolacji cieplnej przegród zewnętrznych budynków  $d_{opt}$  wykonano na podstawie wymienionego wzoru.

Do obliczeń konieczne były dane dotyczące:

- rodzaju i cen nośników energii;
- rodzaj materiału izolacji cieplnej;
- oporu początkowego przegrody bez izolacji cieplnej.

Wykorzystując arkusz kalkulacyjny Excel, opracowano prosty program do obliczania optymalnej grubości izolacji cieplnej poszczególnych przegród zewnętrznych budyn-

ku. Za pomocą tego programu przeprowadzono szereg obliczeń grubości izolacji dla poszczególnych przegród budynków, przy uwzględnieniu różnych paliw (gaz ziemny, olej opałowy, ogrzewanie zdalaczynne oraz energia elektryczna).

## Wynik obliczeń

Wyniki obliczeń optymalnej grubości izolacji cieplnej, z podziałem na typy systemów ogrzewania, podano w tabelach 1 – 6.

**Tabela 1. Optymalna grubość izolacji przegrody zewnętrznej w przypadku ogrzewania gazowego (wg taryfy obowiązującej w 2006 r.)**

Rodzaj przegrody	Optymalna grubość izolacji $d_{opt}$ [m]	
	styropian	wełna mineralna
Ściany warstwowe	0,12 – 0,18	0,12 – 0,17
Stropy poddasza nieużytkowego	0,14 – 0,21	0,14 – 0,20
Stropodachy	0,18 – 0,22	0,18 – 0,21
Dachy	0,17 – 0,21	0,17 – 0,20
Stropy nad piwnicą nieogrzewaną	0,12 – 0,16	0,12 – 0,15
Podłogi na gruncie	0,12 – 0,15	0,12 – 0,14

**Tabela 2. Optymalna grubość izolacji przegrody zewnętrznej w przypadku ogrzewania gazowego (po zapowiedzianej 10% podwyżce cen gazu)**

Rodzaj przegrody	Optymalna grubość izolacji $d_{opt}$ [m]	
	styropian	wełna mineralna
Ściany warstwowe	0,13 – 0,19	0,12 – 0,18
Stropy poddasza nieużytkowego	0,16 – 0,22	0,15 – 0,21
Stropodachy	0,19 – 0,23	0,19 – 0,22
Dachy	0,18 – 0,22	0,17 – 0,22
Stropy nad piwnicą nieogrzewaną	0,13 – 0,17	0,12 – 0,16
Podłogi na gruncie	0,13 – 0,15	0,13 – 0,15

**Tabela 3. Optymalna grubość izolacji przegrody zewnętrznej w przypadku ogrzewania centralnego z sieci**

Rodzaj przegrody	Optymalna grubość izolacji $d_{opt}$ [m]	
	styropian	wełna mineralna
Ściany warstwowe	0,14 – 0,20	0,13 – 0,18
Stropy poddasza nieużytkowego	0,17 – 0,22	0,16 – 0,19
Stropodachy	0,20 – 0,24	0,19 – 0,22
Dachy	0,19 – 0,23	0,18 – 0,22
Stropy nad piwnicą nieogrzewaną	0,14 – 0,17	0,13 – 0,16
Podłogi na gruncie	0,14 – 0,18	0,13 – 0,17

**Tabela 4. Optymalna grubość izolacji przegrody zewnętrznej w przypadku ogrzewania olejowego**

Rodzaj przegrody	Optymalna grubość izolacji $d_{opt}$ [m]	
	styropian	wełna mineralna
Ściany warstwowe	0,17 – 0,23	0,16 – 0,22
Stropy poddasza nieużytkowego	0,20 – 0,24	0,19 – 0,22
Stropodachy	0,24 – 0,26	0,24 – 0,25
Dachy	0,23 – 0,25	0,23 – 0,24
Stropy nad piwnicą nieogrzewaną	0,16 – 0,18	0,16 – 0,18
Podłogi na gruncie	0,17 – 0,20	0,17 – 0,19

Tabela 5. Optymalna grubość izolacji przegrody zewnętrznej w przypadku ogrzewania elektrycznego wg grupy taryfowej G11 (całodobowej)

Rodzaj przegrody	Optymalna grubość izolacji $d_{opt}$ [m]	
	styropian	wełna mineralna
Ściany warstwowe	0,26 – 0,31	0,24 – 0,30
Stropy poddasza nieużytkowego	0,31 – 0,37	0,29 – 0,36
Stropodachy	0,38 – 0,38	0,36 – 0,37
Dachy	0,36 – 0,37	0,34 – 0,36
Stropy nad piwnicą nieogrzewaną	0,25 – 0,28	0,23 – 0,27
Podłogi na gruncie	0,26 – 0,26	0,25 – 0,25

Analizując uzyskane wyniki i porównując je z danymi z 2003 r., stwierdzamy, że optymalne grubości izolacji pomimo wzrostu cen nośników energii zmalały, szczególnie w przypadku gazu ziemnego. Było to spowodowane faktem, że w ciągu ostatnich trzech lat znacznie wzrosły nie tylko ceny nośników energii, ale również, prawie dwukrotnie, materiałów termoizolacyjnych. Nie zmienia to jednak faktu, że optymalna grubość izolacji cieplnej jest wyższa niż zazwyczaj zakładana przez projektantów w wykonywanych projektach budowlanych i projektach dociepleń budynków.

Zróznicowanie grubości jest uzależnione od rodzaju nośnika energii lub taryfy lokalnej oraz rodzaju i odmiany zastosowanego materiału termoizolacyjnego. Największe

Tabela 6. Optymalna grubość izolacji przegrody zewnętrznej w przypadku ogrzewania elektrycznego wg grupy taryfowej G12 (nocnej)

Rodzaj przegrody	Optymalna grubość izolacji $d_{opt}$ [m]	
	styropian	wełna mineralna
Ściany warstwowe	0,13 – 0,20	0,13 – 0,18
Stropy poddasza nieużytkowego	0,16 – 0,22	0,16 – 0,19
Stropodachy	0,19 – 0,24	0,20 – 0,22
Dachy	0,18 – 0,23	0,19 – 0,22
Stropy nad piwnicą nieogrzewaną	0,13 – 0,18	0,13 – 0,16
Podłogi na gruncie	0,136 – 0,154	0,134 – 0,169

grubości uzyskujemy w przypadku ogrzewania elektrycznego wg taryfy G11 (całodobowej), ponieważ koszt ogrzewania budynku jest wówczas najwyższy. Jednak zastosowanie do ogrzewania budynku taryfy G12 (nocnej) powoduje, że koszt ogrzewania budynku znacznie się zmniejsza, nawet poniżej kosztu ogrzewania olejem opałowym. Najtańszym nośnikiem energii okazał się gaz ziemny. A co za tym idzie, w przypadku tego nośnika grubości izolacji są zdecydowanie najniższe. Porównując grubości izolacji przy zastosowaniu wełny mineralnej i styropianu, należy zauważyć, że nieznacznie mniejsze grubości optymalne uzyskujemy w przypadku styropianu, ponieważ jego cena jest nieco niższa niż cena wełny mineralnej. Jednak różnica ta wynosi jedynie 0,2 – 1,0 cm.

## Zmniejszanie głębokości posadowienia budynków niepodpiwniczonych w wyniku stosowania izolacji...

(dokończenie ze str. 31)

Głębokość posadowienia fundamentów w budynkach nieogrzewanych można zmniejszyć w stosunku do głębokości przemarzania przez zastosowanie izolacji ciągłej pod fundamentami, która rozciąga się na szerokość  $b_g$  (tabela 3) po każdej stronie fundamentu. Izolacja cieplna poniżej fundamentów zapobiega powstaniu mostków cieplnych. Izolację termiczną należy zabezpieczyć w następujący sposób:

- poniżej izolacji umieścić warstwę dobrze odwodnionego i niepodatnego na działanie mrozu materiału grubości co najmniej 15 cm;

 Tabela 3. Minimalna szerokość izolacji gruntowej  $b_g$  dla nieogrzewanego budynku

$F_d$ [stopniogodzin]	10 000	20 000	30 000	40 000
$b_g$ [m]	0,75	1,20	1,60	2,00

- nad izolacją zastosować warstwę ochronną z betonu zbrojonego lub podobnego grubości 5 cm (pod fundamentem i w obrębie budynku), albo co najmniej 30 cm gruntu (na zewnątrz budynku).

Wymagany opór cieplny  $R_g$  i szerokość izolacji  $b_g$  zależą od:

- projektowanego wskaźnika mrozowego  $F_{dim}$ ;
- średniej rocznej temperatury powietrza na zewnątrz  $T_e$ ;
- wielkości budynku.

Niezbędną szerokość izolacji grunтовой  $b_g$  można określić na podstawie projektowanego wskaźnika mrozowego, korzystając z tablicy 10, zamieszczonej w normie EN ISO 13793 (tabela 3).

### Wnioski

Zaproponowana w PN-EN ISO 13793 metoda zabezpieczania fundamentów przed zniszczeniem spowodowa-

nym wysadzinami może być stosowana w warunkach klimatycznych Polski. Z przeprowadzonych analiz rozkładu temperatury w gruntach w okresie zimy ze 100-letnim okresem powrotu wynika, że można bez obawy (jeżeli nie ma innych przeciwwskazań) posadawiać budynki na głębokości 0,5 m, czyli zgodnie z normą PN 02030, pod warunkiem że będzie wykonana odpowiednia izolacja termiczna.

Dalsze prace teoretyczne, zweryfikowane danymi doświadczalnymi, mogą być podstawą do opracowania nowych wytycznych dotyczących posadowień bezpośrednich (obniżenie głębokości posadowień, wynikających z głębokości przemarzania).

dr inż. Irena Ickiewicz  
Artykuł przygotowany w ramach pracy własnej W/IIIB/4/05