

# Współczynnik przenikania ciepła w świetle nowego Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Badanie współczynnika przenikania ciepła w warunkach in situ.

## Część 1. Wprowadzenie

Mgr inż. Piotr Bieranowski, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

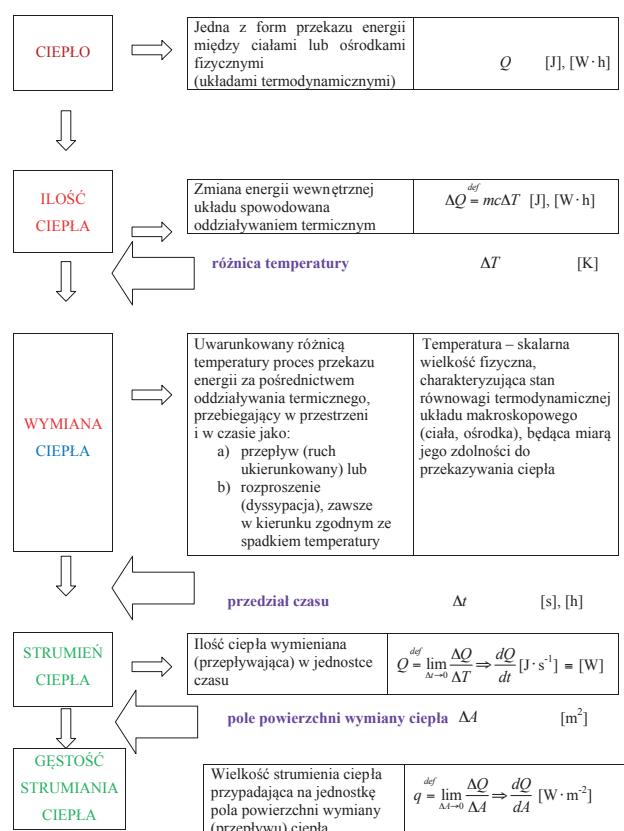
### Cel pracy

Publikacja ma na celu przedstawienie metodyki pomiaru współczynnika przenikania ciepła w warunkach polowych, która przedstawiona jest w nietłumaczonej na języki polski normie ISO 9869 *Thermal insulation – Building elements – In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance* [1]. Pierwsze wydanie powyższej normy datuje się na 01.08.1994 r. W naszym kraju nie powstała do tej pory wersja PN – EN ISO, która stanowiłaby międzynarodowy standard europejski. Ten międzynarodowy standard w Polsce stanowił projekt normy do wdrożenia publicznego [4]. Z przyczyn nieznanych autorowi, prace nie ukończyły się ukazaniem normy. Powołania na merytorykę i metodykę zawartą w tej normie znajdują jednak miejsce w publikacjach zagranicznych, np. [7] [8]. Wartość współczynnika [3] przenikania ciepła ze względu na logiczne oszczędności będzie przez kolejne lata maleć. Pierwsza z tych zmian obejmie swym działaniem początek roku 2014. Artykuł, ze względu na obszerność informacji będzie składał się z dwóch części, część I – wprowadzenie i część II – badania.

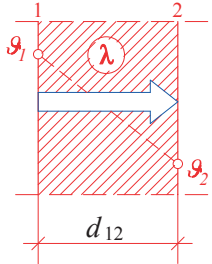
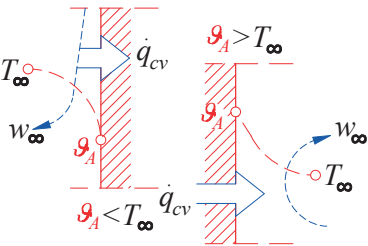
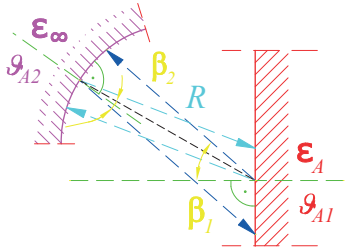
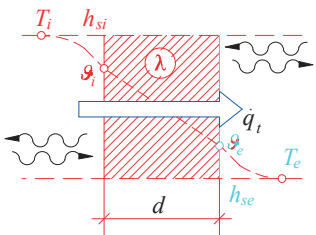
**Wstęp i definicja współczynnika przenikania ciepła**  
Ciepło [2] to jedna z form przekazywania energii. Zjawisko to może występować między ciałami lub ośrodkami fizycznymi stanowiącymi wyodrębnione układy termodynamiczne. Proces ten przebiega w czasie i przestrzeni i polega na przekazie energii za pośrednictwem oddziaływania termicznego, uwarunkowanego istnieniem różnicy temperatur, a określony mianem wymiany ciepła. Ze względu na sposób uporządkowania przybiera on postać:

- przepływu, gdy ruch energii cieplnej jest zdecydowanie ukierunkowany na określoną różnicę temperatur rozpatrywanych ośrodków i następuje zgodnie z jej spadkiem,
- rozpraszania (dyssypacji), jeśli energia ruchu uporządkowanego przechodzi w energię o układzie chaotycznym, czemu zgodnie z II zasadą termodynamiki, towarzyszy wzrost entropii.

Na rysunku 1 przedstawiono podstawowe pojęcia i wielkości charakteryzujące proces wymiany ciepła, na rysunku 2 scharakteryzowano prostą i złożoną wymianę ciepła zachodzącą przez przegrody budowlane w warunkach ustalonych. Zrezygnowano z opisywania prostych wzorów w sposób tradycyjny (na rzecz opisów tabelarycznych i merytorycznych – mając na celu przedstawienie klarowności wymowy zawartej w [2]). W publikacji tradycyjny opis wzorów zastosowano przy omawianiu procedury obliczeniowej (metody statycz-



**Rys. 1.** Podstawowe pojęcia i wielkości charakteryzujące proces wymiany ciepła (objaśnienia oznaczeń literowych podano w tekście – opracowanie wg [2])

1. Prosta wymiana ciepła		
<p>1.1. Przewodzenie</p> 	<p>Zachodzi w obrębie ciała stałego (materiału budowlanego) wskutek bezpośredniego kontaktu (styku) cząstek o różnej energii wewnętrznej, a więc o różnej temperaturze</p>	$q_{cd} = \lambda \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{d_{12}} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{R_{cd}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ <p><math>\lambda</math> – współczynnik przewodzenia ciepła (właściwość fizyczna materiału) <math>[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]</math></p> $R_{cd} = \frac{d_{12}}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
<p>1.2. Konwekcja</p> 	<p>Zachodzi na styku powierzchni ciała stałego (przegrody budowlanej) z płynem (powietrzem) wskutek ruchu płynu pod wpływem sił wyporu termicznego, ewentualnie wspomaganymi siłami zewnętrznymi</p>	$q_{cv} = h_{cv}  T_\infty - \vartheta_A  = \frac{ T_\infty - \vartheta_A }{R_{cv}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ $h_{cv} = f( T_\infty - \vartheta_A , w_\infty, \text{Re}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ $R_{cv} = \frac{1}{h_{cv}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
<p>1.3. Promieniowanie</p>  <p><math>\varphi_{A\infty} = f(R, \beta_1, \beta_2)</math></p>	<p>Zachodzi między oddalonymi od siebie powierzchniami dwu ciał stałych, np. przegród budowlanych lub ciała stałego i ośrodka, np. obudowa budynku i otaczający ją klimat wskutek emisji i absorpcji kwantów promieniowania termicznego (elektromagnetycznego)</p>	$q_{rd} = h_{rd}  \vartheta_{A1} - \vartheta_{A2}  = \frac{ \vartheta_{A1} - \vartheta_{A2} }{R_{rd}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ $h_{rd} = f(\varepsilon_\infty, \varepsilon_A, \varphi_{A\infty}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ $R_{rd} = \frac{1}{h_{rd}} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
2. Złożona wymiana ciepła		
<p>2.1. Przejmowanie (1.2.) + (1.3)</p>	<p>Równocześnie zachodzi: 1. Konwekcja 2. Promieniowanie</p>	$q_h = h_s  T_\infty - \vartheta_A  = \frac{ T_\infty - \vartheta_A }{R_s} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ $h_s = h_{cv} + h_{rd} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ $R_s = \frac{1}{h_s} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$
<p>2.2. Przenikanie</p>  <p>(2.1.) → (1.1.) → (2.1.)</p>	<p>Kolejno następuje: 1. Przejmowanie 2. Przewodzenie 3. Przejmowanie</p>	$q_t = U(T_i - T_e) = \frac{T_i - T_e}{R_t} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$ $U = \left( \frac{1}{h_{si}} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_{se}} \right)^{-1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ $U = (R_{si} + R_{cd} + R_{se})^{-1} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$ $R_t = \frac{1}{U} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$

**Rys. 2.** Schematy i krótka charakterystyka prostej i złożonej wymiany ciepła zachodzącej przez przegrody budowlane w warunkach ustalonych (objaśnienia literowe podano w tekście – opracowanie wg [2])

nej) zawartej w normie ISO 9869 *Thermal insulation – Building elements – In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance* [1].

**Przewodzenie** [2] zachodzi w wyniku bezpośredniego kontaktu cząstek o różnej energii wewnętrznej (czyli również różnej temperaturze), w obrębie przegrody. Gęstość strumienia ciepła  $q_{cd}$  przewodzona przez przekrój 1 i 2 warstwy jednorodnej materiałowo o grubości  $d$ , charakteryzowana wartością  $\lambda$  współczynnika przewodzenia ciepła, która jest jedną z właściwości fizycznych materiału, jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatury materiału ( $\vartheta_1 - \vartheta_2$ ) w tym przekroju i odwrotnie proporcjonalna do oporu cieplnego  $R_{cd}$ . Jeżeli  $R_{cd} = \text{const}$ , to profil spadku temperatury jest prostoliniowy.

**Konwekcja** zachodzi na styku powierzchni przegrody z ośrodkiem (powietrzem). Źródłem jej powstania może być oddziaływanie:

- siły wyporu termicznego powstałego na skutek różnicy gęstości warstw powietrza o różnej temperaturze (konwekcja naturalna),
- wiatru, ruchu osób, pracą wentylatora lub maszyny (konwekcja wymuszona).

Gęstość strumienia ciepła wymienianego wymienionego w procesie konwekcji  $q_{cv}$  jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatury powietrza  $T_\infty$  i powierzchni przegrody  $\vartheta_A$ , odwrotnie proporcjonalna do oporu cieplnego  $R_{cv}$ , który jest odwrotnością współczynnika wymiany ciepła  $h_{cv}$ , odbywającej się na drodze konwekcji. Wartość tego współczynnika, w ogólnym przypadku, zależy od wymienionej wyżej różnicy temperatur ( $T_\infty - \vartheta_A$ ) oraz prędkości  $w_\infty$  (ruchu powietrza – gazu) i stopnia burzliwości ruchu powietrza (scharakteryzowanego wartością liczby Reynoldsa  $Re$ ). Praktyka obrazuje najczęstsze przypadki zagadnienia jako zależności nieliniowe (nieliniowy profil spadku temperatury w warstwie powietrza w płaszczyźnie przyściennej).

**Promieniowanie** zachodzi między powierzchniami ścian budowlanych, które są oddalone od siebie, posiadającymi różną temperaturę. Przegrody (ściany) rozdzielone są ośrodkiem przezroczystym dla promieniowania elektromagnetycznego w zakresie długości fal należących do pasma podczerwonego. Przyjmuje się, że gęstość strumienia ciepła wymienionego poprzez promieniowanie  $q_{rd}$  jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatury obu powierzchni ( $\vartheta_{A1} - \vartheta_{A2}$ ) i odwrotnie proporcjonalna do oporu cieplnego  $R_{rd}$ , który jest odwrotnością umownego współczynnika wymiany ciepła odbywającej się na drodze promieniowania  $h_r$ . Wartość tego współczynnika zależy od emisyjności rozpatrywanej powierzchni ściany  $\varepsilon_A$ , emisyjności obiektów będących w zasięgu pola przekazu energii  $\varepsilon_\infty$  (w jej „polu widzenia”), czyli właściwości fizycznych, jak również od współczynnika konfiguracji  $\varphi_{A\infty}$  charakteryzującego usytuowanie powierzchni względem siebie. Współczynnik konfiguracji opisuje również kształt powierzchni.

Warunki rzeczywiste wymiany ciepła między budynkiem, a otoczeniem nie są łatwe do scharakteryzowania z powodu złożoności układów procesu. Przebieg procesów można ze względu na równoległość i etapowość zapisać następująco:

- a) równocześnie, choć niekoniecznie w tym samym kierunku, co powoduje wzmocnienie lub osłabienie wypadkowego strumienia ciepła;
- b) kolejno, jeśli zachodzą jeden po drugim, a – zgodnie z zasadą zachowania energii – strumień ciepła nie ulega zmianie, gdy po drodze nie ma żadnych oddziaływań mogących go zakłócić, tj. źródeł lub upustów ciepła. Przypadek opisany jako a) dotyczy przejmowania ciepła z otoczenia przez powierzchnie lub w układzie odwrotnym. Przejmowanie zachodzi równocześnie na drodze konwekcji i promieniowania. Stosując metodę analityczną operuje się wartością sumaryczną obu zagadnień, ogólnie ujmując jako współczynnik przejmowania i zapisując równaniem:

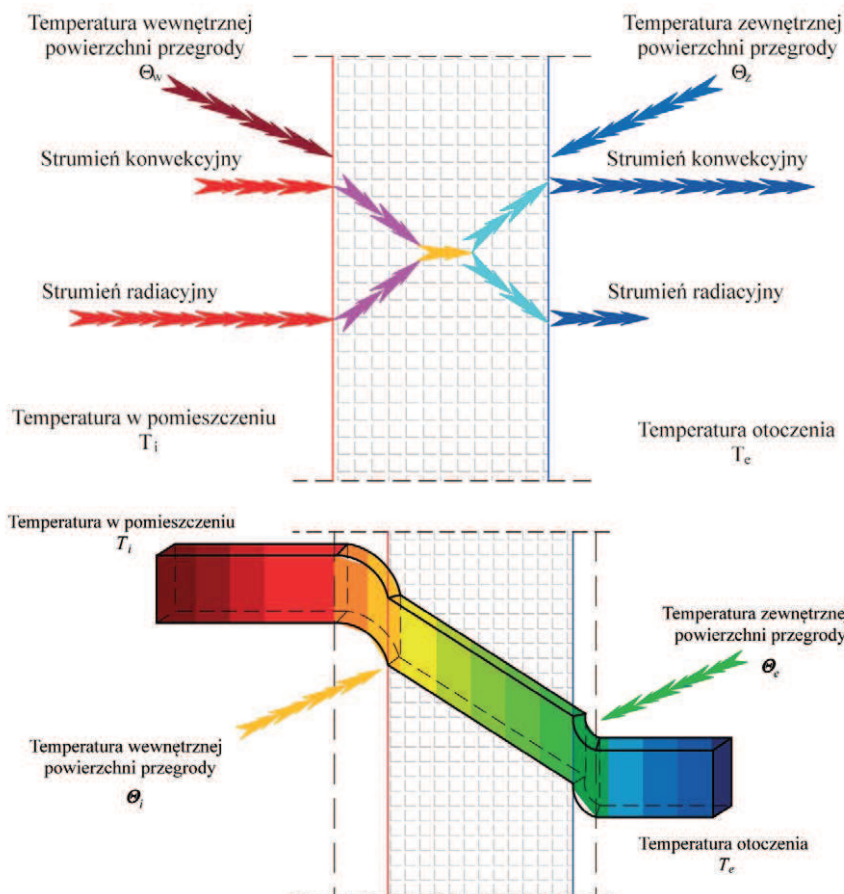
$$h_s^{def} = h_{cv} + h_{rd} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (1)$$

Dzięki tej zależności gęstość wypadkowego strumienia przejmowania ciepła  $q_n$  można wyrazić jednym równaniem bilansowym oraz wprowadzić wygodne do zapisu matematycznego, analogiczne do opisów powyższych, pojęcie oporu cieplnego przejmowania  $R_s$  będącego odwrotnością współczynnika przejmowania ciepła opisanego równaniem (1).

Przypadek opisany jako b) dotyczy przenikania ciepła, tj. złożonego procesu wymiany ciepła, która zachodzi między dwoma ośrodkami powietrznymi o różnej temperaturze, przedzielonymi przegrodą budowlaną. Proces przenikania składa się z zachodzących po sobie, kolejno [2]:

- 1) przejmowanie ciepła z ośrodka o temperaturze  $T_i$  przez powierzchnię przegrody o temperaturze  $\vartheta_i < T_i$ , jednocześnie na drodze konwekcji i promieniowania;
- 2) przewodzenie ciepła przez wszystkie kolejne stykające się ze sobą powierzchnie rozpatrywanej przegrody w kierunku od powierzchni o temperaturze  $\vartheta_i$  do powierzchni o temperaturze po stronie przeciwnej o temperaturze  $\vartheta_e < \vartheta_i$ ;
- 3) przejmowanie ciepła od powierzchni przegrody budowlanej posiadającej temperaturę  $\vartheta_e$  do ośrodka powietrznego o temperaturze  $T_e < \vartheta_e$ .

Gęstość strumienia ciepła  $q_t$  przenikającego przez płaską przegrodę budowlaną jedno- lub wielowarstwową jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatury po obu stronach jej przeciwległych ośrodków powietrznych ( $T_i - T_e$ ) i odwrotnie proporcjonalna do oporu przenikania ciepła  $R_t$  będącego algebraiczną sumą oporów cieplnych opisującą wyżej omawiany procesy (jako składowe). Jednocześnie, z definicji, wielkość ta jest odwrotnością współczynnika przenikania ciepła określanego symbolem literowym  $U$ .



**Rys. 3.**  
Jednowymiarowy model przepływu ciepła przez przegrody (opracowanie wg [6])

**Rys. 4.**  
Rozkład temperatury w przegrodzie i otaczających ośrodkach (opracowanie wg [6])

**Definicja współczynnika przenikania ciepła wg normy PN-EN ISO 6946:2008**

**Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania**

Współczynnik przenikania ciepła  $U$  [ $W/m^2K$ ] można wyrazić równaniem [5]:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}} + \frac{1}{R_{se}} \quad (2)$$

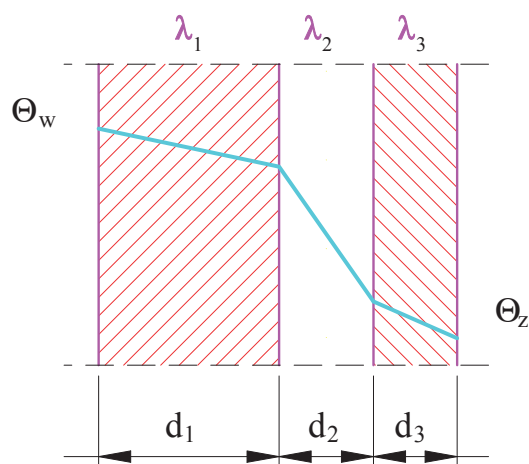
- $R_t$  – całkowity opór cieplny płaskiego komponentu budowlanego składającego się z warstw jednorodnych cieplnie prostopadłych do strumienia ciepła, [ $m^2K/W$ ],
- $R_{si}$  – opór przejmowania ciepła na powierzchni wewnętrznej, [ $m^2K/W$ ],
- $R_{se}$  – opór przejmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej, [ $m^2K/W$ ],
- $R_1, R_2, \dots, R_n$  – obliczeniowe opory cieplne każdej warstwy, [ $m^2K/W$ ],
- $d_n$  – grubość n-tej warstwy materiału w komponencie, [m],
- $\lambda_n$  – obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła n-tej warstwy w przegrodzie, [m],

Zakłada się jednowymiarowy model przepływu ciepła [6], co ilustruje rysunek 3. Przepływ energii w jednym wymiarze jest zjawiskiem upraszczającym zachodzące procesy w przegrodzie. Pod uwagę bierze się przegrodę budowlaną oraz otaczające ją ośrodki, w których rozkład temperatury wynikający z rozwiązania modelu przewodzenia energii w obudowie oraz konwekcji w ośrodku otaczającym obrazuje rysunek 4.

Należy tu bezpośrednio nadmienić, że pomiary in situ – polowe – odbywają się w warunkach nieustalonych. Zjawisko współczynnika przenikania ciepła opisywane w powyższej normie jest o charakterze modelowym, pozwalającym zrozumieć problem oraz analizować warunki w sposób podstawowy. W rzeczywistości warunki ustalone nie istnieją (ciągłe zmiany temperatury po zewnętrznej stronie przegrody, efekty wpływów solarnych, turbulentny wpływ wiatru na przejmowanie energii). Rezystancja termiczna przegrody  $R$  z rysunku 5 jest funkcją parametrów cieplnych i rozmiarów przegrody i przyjmuje postać

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \quad (3)$$

- gdzie:
- $R$  – rezystancja przegrody, [ $m^2K/W$ ],
- $d_i$  – grubość i-tej warstwy materiału w komponencie, [m],



**Rys. 5.** Rozkład temperatury w przegrodzie trójwarstwowej (opracowanie wg [6])

$\lambda_i$  – obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła  $i$ -tej warstwy w przegrodzie, [m].

**Aktualne wymagania prawne precyzujące wartość współczynnika przenikania ciepła obowiązujące od 01.01.2014 r.**

**Wymagania izolacyjności cieplnej i inne wymagania związane z oszczędnością energii [3]**

*Izolacyjność cieplna przegród*

Wartości współczynnika przenikania ciepła [3]  $U_c$  ścian, dachów, stropów i stropodachów dla wszystkich rodzajów budynków, uwzględniające poprawki ze względu na pustki powietrzne w warstwie izolacji, łączniki mechaniczne przechodzące przez warstwę izolacyjną oraz opady na dach o odwróconym układzie warstw, obliczone zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi oblicza-

nia oporu cieplnego i współczynnika przenikania ciepła oraz przenoszenia ciepła przez grunt, nie mogą być większe niż wartości  $U_{C\ max}$  określone w tabeli. Wartości współczynnika przenikania ciepła  $U_{C\ max}$  okien, drzwi balkonowych i drzwi zewnętrznych znajdzie czytelnik w rozporządzeniu [3].

**Metodologia pomiaru współczynnika przenikania ciepła w warunkach polowych wg ISO 9869 Thermal insulation – Building elements – In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. 1994(E). Metoda wartości średniej**

Metoda zakłada otrzymanie wyniku (po zastosowaniu analizy algorytmicznej podanej poniżej) poprzez podzielenie wartości gęstości strumienia ciepła przez różnicę temperatur w ośrodkach (wewnętrzna i zewnętrzna strona przegrody budowlanej) – stosując odpowiednie czasowo-ramowe badania przy rejestracji danych pobranych w określonych interwałach czasu. Proces ten dokładnie zostanie opisany w II części publikacji – Cz. II – badania.

**Metoda wyliczenia wartości średniej**

Oszacowanie współczynnika przenikania ciepła  $U$  przeprowadza się zgodnie ze wzorem podanym poniżej wraz z uwzględnieniem efektu bezwładności cieplnej.

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})} \tag{4}$$

$U$  – współczynnik przenikania ciepła (oszacowany wg powyższych parametrów fizycznych) [W/(m<sup>2</sup>K)],

Lp.	Rodzaj przegrody i temperatura w pomieszczeniu	Współczynnik przenikania ciepła $U_{C\ max}$		
		od 1 stycznia 2014 r.	od 1 stycznia 2017 r.	od 1 stycznia 2021* r.
1	2	3		
1	Ściany zewnętrzne: a) przy $t_i \leq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,25 0,45 0,90	0,23 0,45 0,90	0,20 0,45 0,90
2	Ściany wewnętrzne: a) przy $\Delta t_i \geq 8^\circ\text{C}$ oraz oddzielające pomieszczenia ogrzewane od klatek schodowych i korytarzy b) przy $\Delta t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30	1,00 bez wymagań 0,30
3	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	1,00 0,70	1,00 0,70
4	Ściany nieogrzewanych kondygnacji podziemnych	bez wymagań	bez wymagań	bez wymagań
5	Dachy, stropodachy i stropy pod nieogrzewanymi poddaszami lub nad przejazdami: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,20 0,30 0,70	0,18 0,30 0,70	0,15 0,30 0,70

6	Podłogi na gruncie: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50	0,30 1,20 1,50
7	Stropy nad pomieszczeniami nieogrzewanymi i zamkniętymi przestrzeniami podpodłogowymi: a) przy $t_i \geq 16^\circ\text{C}$ b) przy $8^\circ\text{C} \leq t_i < 16^\circ\text{C}$ c) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$	0,25 0,30 1,00	0,25 0,30 1,00	0,25 0,30 1,00
8	Stropy nad ogrzewanymi pomieszczeniami podziemnymi i stropy międzykondygnacyjne: a) przy $t_i \geq 8^\circ\text{C}$ b) przy $t_i < 8^\circ\text{C}$ c) oddzielające pomieszczenie ogrzewane od nieogrzewanego	1,00 bez wymagań 0,25	1,00 bez wymagań 0,25	1,00 bez wymagań 0,25

Pomieszczenie ogrzewane – pomieszczenie, w którym na skutek działania systemu ogrzewania lub w wyniku bilansu strat i zysków ciepła utrzymywana jest temperatura, której wartość została określona w § 134 ust. 2 rozporządzenia.

$t_i$  – temperatura pomieszczenia ogrzewanego zgodnie z § 134 ust. 2 rozporządzenia.

\*) Od 1 stycznia 2019 r. – w przypadku budynków zajmowanych przez władze publiczne oraz będące ich własnością.

$\sum_{j=1}^n q_j$  – suma poszczególnych wartości gęstości strumienia ciepła dla j-tego pomiaru [W/m<sup>2</sup>],

$\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})$  – suma różnic temperatur (odpowiednio wewnętrznej i zewnętrznej) dla j-tego pomiaru [K],

Współczynniki korekcyjne wg [9] można określać po pierwszej dobie.

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j - \frac{F_i \cdot \delta T_i + F_e \cdot \delta T_e}{\Delta t}}{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_{ej})} \quad (5)$$

gdzie:

$\Delta t$  – czas pomiędzy kolejnymi pomiarami, [s, h],

$\delta T_i$  – różnica pomiędzy uśrednioną wewnętrzną temperaturą z okresu 24 godzin dla odczytu j a uśrednioną wewnętrzną temperaturą z okresu pierwszych 24 godzin pomiaru, [K],

$\delta T_e$  – różnica pomiędzy uśrednioną zewnętrzną temperaturą z okresu 24 godzin dla odczytu j a uśrednioną zewnętrzną temperaturą z okresu pierwszych 24 godzin pomiaru, [K],

$F_i, F_e$  – współczynniki bezwładności cieplnej, [J/(m<sup>2</sup>K)].

Obliczenie współczynników bezwładności cieplnej polega na wydzieleniu z badanej przegrody warstw materiałów i estymacji, dla każdej z nich rezystancji  $R_k$  [m<sup>2</sup>K/W] oraz pojemności cieplnej na jednostkę powierzchni  $C_k$  [J/(m<sup>2</sup>K)]. Pozostałe wartości jak we wzorze (4).

Współczynniki bezwładności cieplnej przegrody są sumą współczynników dla każdej warstwy:

$$F_i = \sum_{k=1}^N F_{ik} \quad i \quad F_e = \sum_{k=1}^N F_{ek} \quad , \text{gdzie:}$$

$$F_{ek} = C_k \left[ \frac{R_k}{R} \left\{ \frac{1}{6} + \frac{R_{ik} + R_{ek}}{3R} \right\} + \frac{R_{ik} \cdot R_{ek}}{R^2} \right] \quad (6)$$

$$F_{ik} = C_k \left[ \frac{R_{ek}}{R} + \frac{R_k^2}{3R^2} - \frac{R_{ik} \cdot R_{ek}}{R^3} \right] \quad (7)$$

$R_{ik}$  oraz  $R_{ek}$  [m<sup>2</sup>K/W] są sumami oporów dla każdej warstwy odpowiednio – strona wewnętrzna i zewnętrzna przegrody z uwzględnieniem oporów przejmowności ciepła:

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^{k-1} R_j \quad R_{ek} = \sum_{j=k+1}^N R_j \quad (8)$$

W drugiej części publikacji zostaną przedstawione problemy badawcze współczynnika przenikania ciepła w warunkach polowych. Badania te odbyły się na terenie Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, którego autor jest pracownikiem oraz jednocześnie studentem. Druga część publikacji obrazować będzie zaniedbany temat tejże procedury badawczej, będącej jakże na czasie.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 9869 Thermal insulation – Building elements – In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. 1994(E)
- [2] Laskowski L., Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynków. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008
- [3] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Poz. 926. Warszawa, 13 sierpnia 2013 r.
- [4] prPN-EN ISO 9869 Thermal insulation – Building elements – In situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance
- [5] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania
- [6] Więcek B., De May G., Termowizja w podcierwieni. Podstawy i zastosowania. PAK, Warszawa 2011
- [7] Fenghao W., Dongyang W., Xinke W., Jianbo Y., A data analysis method for detecting wall thermal resistance considering wind velocity in situ. Energy and Buildings 42 (2010)
- [8] Baldinelli G., A methodology for experimental evaluations of low-e barriers thermal properties: Filed test and comparison with theoretical model. Building and Environment 45 (2010)
- [9] Bogosławski W., Procesy cieplne i wilgotnościowe w budynkach. Rozdział 9 Mańkowski S., Wojdyga K., Pomiar strat ciepła przez przegrody budowlane. Arkady, Warszawa 1985