

**Obliczenia transportu ciepła poprzez promieniowania dla kompozytowej maty termoizolacyjnej  
„Aluthermo Quattro”**

Raport ekspertów zamówiony  
przez Aluthermo AG, Burg  
Reuland, Belgia

Zredagował: dr in . B. Hilemacher

Aachen/Aix-la-Chapelle, 17 marca 2005

## 1. Wstęp

Jako izolacji termicznej elementów budowlanych staje się dzisiaj coraz ważniejszym kryterium oceny całego obiektu jako całości wykonania budynków. W odpowiedzi na różnorodne wymagania odnośnie pewnych specyficznych właściwości, czy to wymuszanych przez naturę obiektu budowlanego, dzisiejszy rynek budownictwa oferuje szeroki gam materiałów izolacyjnych, zarówno dla nowych konstrukcji, jak i dla celów remontu starych obiektów.

Pewne innowacyjne koncepcje izolacji termicznej elementów budowlanych wykorzystują efekt odbicia promieniowania poprzez zastosowanie wysoko odbijających powierzchni niektórych materiałów izolacyjnych, pokrytych w tym celu specjalnymi warstwami. Wynikiem takich zabiegów jest zmniejszenie przepływu ciepła przez szkielet budynku, co praktycznie oznacza mniejsze nagrzewanie się konstrukcji w lecie i mniejsze straty ciepła w zimie, a to stanowi znaczny wkład w oszczędzanie energii.

## 2. Opis problemu

Dla celów niniejszego opracowania poddano analizie, za pomocą obliczeń transportu ciepła, materiał termoizolacyjny o obustronnie wysoko odbijających powierzchni. Przedmiotem badania był materiał termoizolacyjny o nazwie „Aluthermo Quattro” produkowany przez firmę Aluthermo AG z Burg Reuland w Belgii.

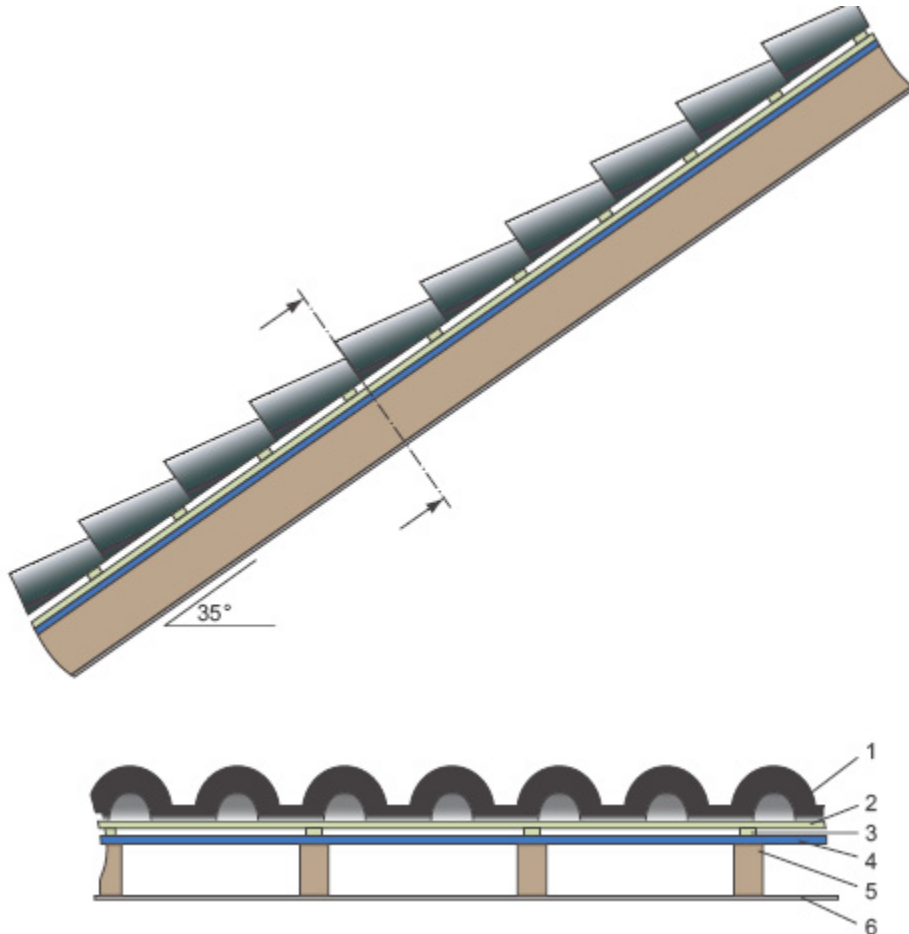
Są dostępne dwa raporty z Fraunhofer Institut für Bauphysik (Instytut Fizyki Budowli Fraunhofera) ze Sztutgartu w Niemczech dotyczące materiału „Aluthermo Quattro”: Raport z badania nr P15-013.1/2005 z dnia 7 lutego 2005 „Determination of the emission coefficient of the outer surfaces of a multi-layered composite thermal insulation mat” („Określenie współczynnika emisji zewnętrznych powierzchni wielowarstwowej kompozytowej maty termoizolacyjnej”) oraz Raport z badania nr P1-003/2005 z dnia 13 stycznia 2005 „Determination of resistance to heat transfer conforming to DIN EN 12667” („Określenie rezystancji termicznej dla transportu ciepła zgodnie z DIN EN 12667”). Niniejsza ekspertyza zawiera odniesienia do wyników powyższych raportów.

Termoizolacyjny materiał kompozytowy „Aluthermo Quattro”, będący przedmiotem analizy, składa się z 7 warstw z 13 granicami styku różnych materiałów. Warstwa centralna, utworzona z pianki polietylenowej (PE) o grubości 3 mm (masa jednostki powierzchni  $75 \text{ g/m}^2$ ) jest umieszczona pomiędzy dwoma warstwami folii aluminiowej pokrytymi obustronnie warstwą PE (masa jednostki powierzchni  $20 \text{ g/m}^2$ ), które z kolei są osłonięte warstwami powietrza o grubości 4 mm zamkniętymi w osłonie z PE (rednica komórek z powietrzem: 10 mm). Wewnętrzna grupa warstw materiałów jest osłonięta folią aluminiową (masa jednostki powierzchni  $81 \text{ g/m}^2$ ) pokrytą na obu zewnętrznych powierzchniach osłoną z nitrocelulozy (masa jednostki powierzchni  $3 \text{ g/m}^2$ ). Na powierzchniach wewnętrznych warstwy folii aluminiowej są ponownie pokryte PE (masa jednostki powierzchni  $20 \text{ g/m}^2$ ). Wymieniony uprzednio Raport z badania nr P15-013.1/2005 określał grubość kompozytowej maty termoizolacyjnej „Aluthermo Quattro” na 11,2 mm i podaje wartość 0,08 dla współczynników emisji powierzchni zewnętrznych.

Raport nr P1-003/2005 podaje wartość rezystancji termicznej dla transportu ciepła  $R = 0,279 \text{ m}^2\text{K/W}$  dla materiału „Aluthermo Quattro”.

Na rysunku 1 poniżej przedstawiono typowe zastosowanie dla tego typu materiałów termoizolacyjnych: kompozytowa mata termoizolacyjna „Aluthermo Quattro” jest ułożona bezpośrednio na krokwiach konstrukcji dachu.

Na rysunku przedstawiono dach pochylony pod kątem  $35^\circ$ , widziany z boku oraz w przekroju. Mata izolacyjna „Aluthermo Quattro” (4) została ułożona w pasach równoległych do kierunku spływu wody i zamocowana za pomocą poprzecznych łąt (3) na krokwiach (5). Łaty poprzeczne (3) podpierają łaty (2), które są ułożone w odległościach odpowiednich dla wymagań pokrycia dachu (1), na przykład dachówek betonowych lub cegieł glinianych. Jak często bywa w przypadku adaptacji przestrzeni poddasza, wewnątrz trznie okładzin tynkowych z paneli (6) zamontowano pod krokwiemi od wewnętrznej strony dachu.



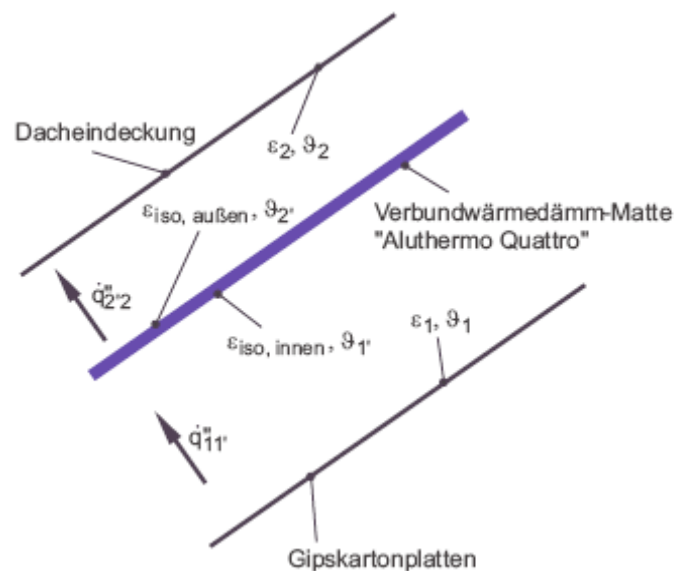
**Rysunek 1:** Typowy sposób montażu kompozytowej maty termoizolacyjnej „Aluthermo Quattro” na dachu o nachyleniu  $35^\circ$ , widok w rzucie bocznym i w przekroju

1. Materiał pokrycia dachu z wentylacją, np. dachówki betonowe lub cegły gliniane
2. Łaty
3. Łaty poprzeczne
4. Kompozytowa mata termoizolacyjna „Aluthermo Quattro”
5. Krokwie
6. Okładzina tynkowa

Celem niniejszej ekspertyzy jest analiza wpływu montażu kompozytowej maty termoizolacyjnej „Aluthermo Quattro” na transport ciepła poprzez promieniowanie między dwoma ograniczonymi powierzchniami (okładzin od wewnątrz dachu a materiałem pokrycia od zewnątrz), a w szczególności określenie całkowitej rezystancji termicznej pomiędzy okładziną a pokryciem dachu, przy założeniu pewnych określonych warunków.

W celu zilustrowania procesu transportu ciepła poprzez promieniowanie w opisanej strukturze z kompozytów mat termoizolacyjnych „Aluthermo Quattro”, na rysunku 2 przedstawiono uproszczony schemat przepływu ciepła dla analizowanego problemu:

Pomiędzy dwoma równoległymi nieskończonymi płaszczyznami o różnych temperaturach (okładzina wewnętrzna i pokrycie dachu na zewnątrz) umieszczona jest kompozytowa mata termoizolacyjna „Aluthermo Quattro”, która tworzy po obu stronach płaszczyzn równoległych tak, że wymiana ciepła następuje pomiędzy matą termoizolacyjną i dwoma stykającymi się z nią powierzchniami, tj. okładziną oraz materiałem pokrycia dachu.



- Materiał pokrycia dachu
- $\epsilon_{ISO}$  zewnętrzny
- Kompozytowa mata termoizolacyjna „Aluthermo Quattro”
- $\epsilon_{ISO}$  wewnętrzny
- Panele okładziny

**Rysunek 2:** Uproszczony schemat analizowanego zagadnienia

Temperatury powierzchni paneli okładziny i pokrycia dachowego, ze współczynnikami emisji ich wewnętrznych powierzchni odpowiednio  $\epsilon_1$  i  $\epsilon_2$ , (tj. powierzchni zwróconych w stronę materiału izolacyjnego) wynoszą odpowiednio  $\theta_1$  i  $\theta_2$ .

Kompozytowa mata termoizolacyjna „Aluthermo Quattro” jest scharakteryzowana przez rezystancję termiczną dla przepływu ciepła  $R_{ISO} = 0.279 \text{ m}^2\text{K/W}$ , współczynnik emisji powierzchni zewnętrznych  $\epsilon_{ISO} = 0,08$  i grubość  $\delta_{ISO}$ .

Przedstawione poniżej obliczenia wykonano przy założeniu, że jednorodna temperatura paneli okładziny tynkowej — odpowiadająca proporcjonalnie wyżej temperaturze pomieszczenia (zależnej od struktury ścian) — wynosi  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ .

Dla celów obliczeniowych zało ono, e temperatura  $\vartheta_2$  na powierzchni wewn trznej pokrycia dachowego wynosi  $\vartheta_2 = -20^\circ\text{C}$ .

Zało ono równie , e współczynnik emisji paneli okładziny tynkowej wynosi  $\varepsilon_1 = 0,9$ .

Współczynnik emisji wewn trznej powierzchni pokrycia dachowego, tj. powierzchni zwróconej w stron maty termoizolacyjnej „Aluthermo Quattro” zmienia si od warto ci 0,90 do 0,94 zale nie od u ytego materiału (dachówki betonowe, cegły gliniane, płyty pil niowe lub pełne odeskowanie drewniane). Dla celów obliczeniowych zało ono, e współczynnik ten ma stał warto  $\varepsilon_2 = 0,94$ .

### 3. Zdefiniowanie równa

Zgodnie z okre lonymi zało eniami ramowymi przyj to, e dla obu stref styku, tj. pomi dzy panelami okładziny tynkowej a mat termoizolacyjn „Aluthermo Quattro” oraz pokryciem dachu i mat „Aluthermo Quattro”, transport ciepła, zale ny od okre lonej ró nicy temperatur, nast puje wyłącznie poprzez promieniowanie. Uwzgl dniaj c prawo Stefana-Boltzmanna, mo na wyprowadzi nast puj ce równania dla wymiany poprzez promieniowanie pomi dzy dwoma niesko czonymi płaskimi powierzchniami i oraz j, które mo na uzna za ciała szare:

$$\dot{q}_{ij}^* = \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1}{\varepsilon_j} - 1\right)} \cdot C_s \cdot \left[ \left(\frac{T_i}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_j}{100}\right)^4 \right] \quad (1)$$

gdzie stała promieniowania wynosi  $C_s = 5.67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$ .

Z drugiej strony, zakładaj c jednowymiarowe przewodzenie ciepła w ciele stałym o grubo ci  $\delta$  i przewodnictwie cieplnym  $\lambda$ , mo na opisa przepływ ciepła w obszarze ponad powierzchni nast puj cym równaniem:

$$\dot{q}_{ij}^* = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (\vartheta_i - \vartheta_j) \quad (2)$$

gdzie rezystancja termiczna

$$R = \frac{\delta}{\lambda} \quad (3)$$

Aby okre li nieznan warto rezystancji termicznej  $R_i$  dla strefy i lub całkowit rezystancj  $R_{\text{tot}}$  pomi dzy panelami okładziny a pokryciem dachu, obliczono przepływy ciepła poprzez promieniowanie lub przewodzenie we wspomnianych strefach, korzystaj c z równa (1) i (2). Stosuj c oznaczenia zgodne z rysunkiem 2, otrzymuje si nast puj ce równania:

$$\dot{q}_{11}^* = \dot{q}_{12}^* \quad (4)$$

$$\dot{q}_{12}^* = \dot{q}_{22}^* \quad (5)$$

Wykorzystuj c zdefiniowane wcze niej równania (1) i (2), mo na wyznaczy iteracyjnie nieznanie temperatury  $\vartheta_1$  i  $\vartheta_2$  dla układu równa (4) i (5).

$$\dot{q}_{11'} = \frac{1}{R_{11'}} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_{1'}) \text{ bzw.} \quad (6)$$

$$\dot{q}_{22'} = \frac{1}{R_{22'}} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_{2'}) \quad (7)$$

Przyjmuj c warto ci rezystancji termicznej dla promieniowania równe rezystancji termicznej przewodzenia, mo na wyznaczy warto ci rezystancji termicznych  $R_{11'}$ ,  $R_{12'}$  i  $R_{22'}$ . Całkowita rezystancja termiczna  $R_{tot}$  odniesiona do potencjału temperatur ( $\vartheta_1 - \vartheta_2$ ) jest wi c okre lona równaniem:

$$R_{tot} = R_{12} = R_{11'} + R_{12'} + R_{22'} \quad (8)$$

Ostatecznie, współczynnik transportu ciepła  $u_{12}$  — oparty o potencjał temperaturowy ( $\vartheta_1 - \vartheta_2$ ) równy promieniowaniu temperaturowemu — mo e by obliczony z zale no ci:

$$u_{12} = \frac{1}{R_{12}} \quad (9)$$

#### 4. Wyniki

Wyniki oblicze zebrano w Tabeli 1 poni ej:

Charakterystyka	“Aluthermo Quattro” kompozytowa mata termoizolacyjna
Temperatura $\vartheta_1$ [°C], zało ona	20
Temperatura $\vartheta_{1'}$ [°C]	3,11
Temperatura $\vartheta_{2'}$ [°C]	1,15
Temperatura $\vartheta_2$ [°C], zało ona	- 20
Całkowita rezystancja termiczna $R_{12}$ [m <sup>2</sup> K/W]	5,70
Współczynnik transportu ciepła $u_{12}$ równy promieniowaniu termicznemu [W/m <sup>2</sup> K]	0,175

Tabela 1:

Przyj te dane i obliczone wyniki dla kompozytowej maty termoizolacyjnej „Aluthermo Quattro”.