

**Výpočty prestupu tepla sálaním s použitím
kompozitnej izolačnej rohože „Aluthermo Quattro“**

Znalecký posudok zadala:
Aluthermo AG, Burg Reuland, Belgicko

Vydal: B. Hilemacher (Dr.-Ing)

Aachen/Aix-la-Chapelle, 17. marca 2005

1. Úvod

Kvalita tepelnej izolácie stavebných prvkov je dnes stále dôležitým kritériom na posúdenie celkovej technickej kvality budov. V reakcii na rôzne požiadavky na ich špecifické vlastnosti, ktoré sú často stanovená charakterom budovy, sa súčasný trh vyznačuje širokou škálou tepelnoizolačných materiálov tak pre nové budovy, ako aj pre dovybavenie pri rekonštrukcii starých budov.

V niektorých inovačných konceptoch tepelnej izolácie stavebných prvkov sa využíva efekt odrazu sálania, ktorý vytvárajú vysokoodrazné plochy niektorých izolačných materiálov, ktoré majú pre tento účel zvyčajne špeciálnu povrchovú úpravu. Výsledkom je zníženie prestupu tepla cez plášť budovy, čo znamená, že v praxi, obzvlášť v lete, vstupuje do budovy menej tepla a v zime uniká menej tepla cez konštrukciu, čím významne prispieva k úsporám energie.

2. Popis problému

Pre tento znalecký posudok bol analyzovaný tepelnoizolačný materiál tohto typu s vysokoodraznou plochou na obidvoch stranách pomocou výpočtu prestupu tepla. Cieľom týchto skúšok bol tepelnoizolačný materiál s názvom „Aluthermo Quattro“, ktorý vyrába spoločnosť Aluthermo AG Burg Reuland, Belgicko.

Pre výrobok „Aluthermo Quattro“ sú k dispozícii dve správy o skúške, ktoré vypracoval Fraunhofer Institut für Bauphysik (Inštitút Fraunhofer pre stavebnú fyziku), Stuttgart, Nemecko, najmä správa o skúške č. P15-013.1/2005 zo dňa 2. 7. 2005 „Stanovenie emisného koeficientu vonkajšieho povrchu viacvrstvej kompozitnej tepelnoizolačnej rohože“ a správa o skúške č. P1-003/2005 zo dňa 13. 1. 2005 „Stanovenie odolnosti proti prestupu tepla podľa technickej normy DIN EN 12667“. Tento znalecký posudok odkazuje na výsledky publikované vo vyššie uvedených správach o skúške.

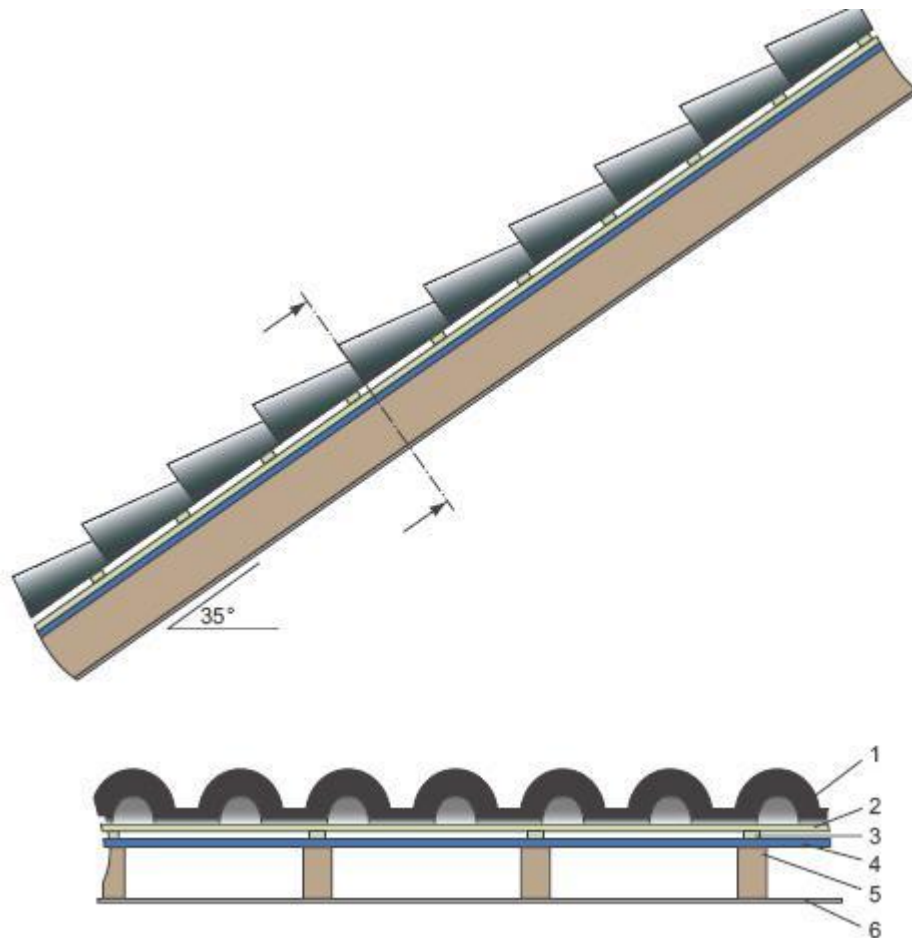
Kompozitná tepelnoizolačná rohož „Aluthermo Quattro“, ktorá sa tu skúma, sa skladá zo 7 vrstiev s celkovým počtom 13 rozhraní medzi rôznymi materiálmi. Základná vrstva, ktorá sa skladá z 3 mm hrubej polyetylénovej peny (PE) (hmotnosť materiálu je 75 g/m^2), je vložená medzi dve vrstvy z hliníkovej fólie potiahnutej na obidvoch stranách fóliou PE (hmotnosť materiálu je 20 g/m^2), ktoré sú postupne uzavreté 4 m hrubými fóliami PE so vzduchovými komorami (priemer vzduchových komôr: 10 mm). Tento vnútorný obal z vrstvených materiálov je zakrytý hliníkovou fóliou (hmotnosť materiálu je 81 g/m^2) a na obidvoch jeho vonkajších plochách je nanosený nitrocelulózový náter (hmotnosť materiálu je 3 g/m^2). Na ich vnútorných povrchoch sú tieto krycie vrstvy hliníkovej fólie znovu potiahnuté fóliou PE (hmotnosť materiálu je 20 g/m^2). Vo vyššie uvedenej správe o skúške č. P15-013.1/2005 sa uvádza, že celková hrúbka kompozitnej tepelnoizolačnej rohože „Quattro Aluthermo“ je 11,2 mm a pre emisné koeficienty vonkajších povrchov stanovuje hodnotu 0,08.

Správa o skúške č. P1-003/2005 špecifikuje pre kompozitnú tepelnoizolačnú rohož „Quattro Aluthermo“ odolnosť proti prestupu tepla $R = 0,279 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Obrázok č. 1 znázorňuje typické použitie pre tento typ tepelnoizolačného materiálu: Kompozitná tepelnoizolačná rohož „Quattro Aluthermo“ sa kladie priamo na kroky strešnej konštrukcie.

Na tomto obrázku sú znázornené šikmé strechy so sklonom v 35° uhle a to pri pohľade z boku a v priereze.

Tepelnoizolačná rohož „Quattro Aluthermo“ (4) bola položená v pásoch, ktoré sú rovnobežné so smerom žľabu, a na krokviach (5) bola upevnená pomocou priečných lát (3). Tieto priečne latky (3) pridržajú latky (2), ktoré sú rozmiestnené v súlade s požiadavkami na poslednú strešnú krytinu (1), napríklad betónové krytinové tašky alebo tehly. Ako sa dnes často stáva v prípade prestavieb podkrovia, vnútorný obklad zo sadrokartónových dosiek (6) bol pripevnený pod krokviami na vnútornej strane strechy.



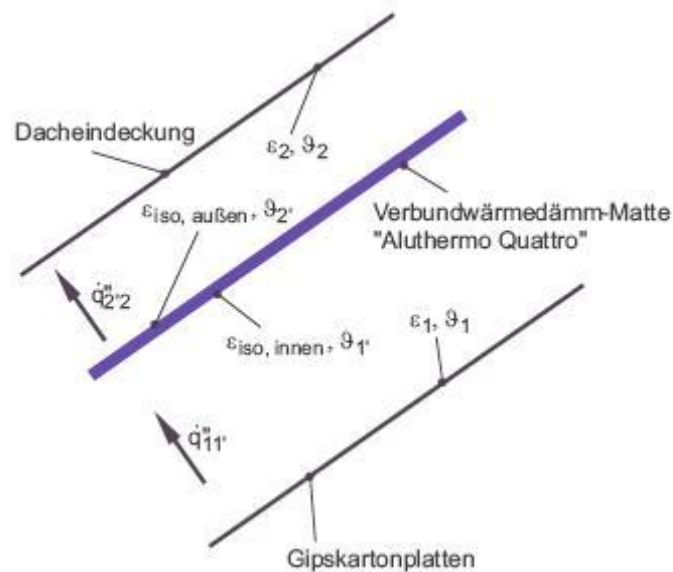
Obrázok č. 1: Na pohľade z boku a prierezu je uvedená typická situácia pri inštalácii kompozitnej tepelnoizolačnej rohože „Quattro Aluthermo“ na šikmej streche so sklonom 35°.

1. Materiál strešnej krytiny so zadným vetraním, napríklad betónové tašky alebo tehly
2. Latky
3. Priečne latky
4. Kompozitná tepelnoizolačná rohož „Aluthermo Quattro“
5. Krokvy
6. Sadrokartónová doska

Cieľom tohto znaleckého posudku bolo analyzovať, do akej miery je prestup tepla sálaním medzi dvoma medznými plochami (sadrokartón na vnútornej strane a strešná krytina na vonkajšej strane) ovplyvnený inštaláciou kompozitných tepelnoizolačných rohoží „Aluthermo Quattro“, a najmä s cieľom stanoviť celkový tepelný odpor medzi sadrokartónom a strešnou krytinou za predpokladu, že sú stanovené určité podmienky.

Pre ilustráciu procesu prestupu tepla sálaním vo vyššie uvedenom príklade inštalácie kompozitnej tepelnoizolačnej rohože „Aluthermo Quattro“ obrázok č. 2 znázorňuje zjednodušenú schému princípu tohto problému:

Kompozitná tepelnoizolačná rohož „Aluthermo Quattro“ je položená medzi dvoma rovnobežnými nekonečne predĺženými rovnými plochami pri rôznych teplotách (sadrokartón na vnútornej strane, strešná krytina na vonkajšej strane), aby sa vytvorila stredná rovnobežná rovina, takže k výmene tepla sálaním dochádza medzi touto kompozitnou tepelnoizolačnou rohožou „Aluthermo Quattro“ a dvoma plochami pred ňou, t. j. sadrokartón alebo strešná krytina.



Vonkajšia strešná krytina \sum_{iso}
 Vnútorňa kompozitná tepelnoizolačná rohož „Aluthermo Quattro“ \sum_{iso}
 Sadrokartónové dosky

Obrázok č. 2: Schéma skúmaného základného problému

Povrchové teploty sadrokartónových dosiek a strešnej krytiny, na ktoré sa vzťahujú príslušné emisné koeficienty

\sum_1 a \sum_2 na ich vnútornom povrchu (t. j. na strane privrátenej k izolačnému materiálu), sú jednotlivo ϑ_1 a ϑ_2 .

Kompozitná tepelnoizolačná rohož „Aluthermo Quattro“ sa vyznačuje odolnosťou proti prestupu tepla $R_{iso} = 0,279 \text{ m}^2\text{K/W}$, koeficientom emisí $\sum_{iso} = 0,08$ pre vonkajšie povrchy a hrúbkou t_{iso} .

Nižšie uvedené výpočty sú založené na zadanej rovnomernej teplote pre sadrokartónové dosky - zodpovedá pomerne vyššej okolitej teplote (v závislosti na konštrukcii steny) - $\vartheta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pre teplotu ϑ_2 na vnútornom povrchu strešnej krytiny sme v týchto výpočtoch predpokladali hodnotu $\vartheta_2 = -20\text{ }^\circ\text{C}$.

Pre emisné koeficienty sadrokartónových dosiek sa v týchto výpočtoch predpokladala hodnota $\sum_1 = 0,9$.

Emisný koeficient vnútorného povrchu strešnej krytiny, t.j. povrch privrátený ku kompozitnej tepelnoizolačnej rohože „Aluthermo Quattro“, kolíše od 0,90 do 0,94 podľa použitého materiálu (betónové strešné tašky, tehly, strešné lepenky alebo pokrytie plnými doskami). Pre výpočet sme predpokladali zachovanie vyššieho odhadu hodnoty $\sum_2 = 0,94$.

3. Definovanie rovníc

Podľa stanovených rámcových podmienok by sme mali predpokladať, že pre obidve zóny rozhrania, t. j. medzi sadrokartónom a kompozitnými tepelnoizolačnými rohožami „Aluthermo Quattro“ a medzi kompozitnými tepelnoizolačnými rohožami „Aluthermo Quattro“ a strešnou krytinou bude dochádzať k stanoveným tepelným rozdielom výhradne v dôsledku sálania. Ak vezmeme do úvahy Stefan-Boltzmannov zákon, nasledovné rovnice je preto možné odvodiť pre čistú výmenu sálania medzi dvoma nekonečne predĺženými rovnými plochami i a j, u ktorých možno predpokladať, že sú to „šedé telesá“:

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

kde konštanta sálania $C_s = 5,67\text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Na druhej strane, ak predpokladáme, že jednorozmerný prenos tepla vedením v pevnom telese s hrúbkou δ a koeficientom tepelnej vodivosti λ , platí nasledovná rovnica tepelného toku na ploche povrchu:

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

s tepelným odporom

Na stanovenie neznámych hodnôt tepelného odporu R_i pre príslušnú zónu i alebo celkového

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

odporu R_{tot} medzi sadrokartónom a strešnou krytinou sa toky tepla prepusteného sálaním alebo vedením v príslušných oblastiach vypočítajú pomocou rovníc (1) a (2). Indexovaním podľa obrázku č. 2 sa získajú nasledovné rovnice:

$$\dot{q}_1^{1,5} = \dot{q}_2^{2,5} \quad (2)$$

$$\dot{q}_1^{1,5} = \dot{q}_1^{1,5} \quad (4)$$

Pomocou vyššie uvedených definujúcich rovníc (1) alebo (2) možno spočiatku opakovane určiť neznáme teploty ϑ_1 a ϑ_2 pre sústavy rovníc (4) a (5). Za predpokladu, že hodnoty odolnosti proti tepelnému sálaniu zodpovedajú odolnosti proti tepelnej vodivosti

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

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

možno určiť hodnoty tepelnej odolnosti R_{11} , R_{12} a R_{22} . Celkovú tepelnú odolnosť R_{tot} vo vzťahu k riadiacemu potenciálu teploty ($\vartheta_1 - \vartheta_2$) možno preto stanoviť na základe:

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

Koeficient prestupu tepla u_{12} – opäť na základe riadiaceho potenciálu teploty ($\vartheta_1 - \vartheta_2$) a zodpovedajúceho tepelnému sálaniu – možno s konečnou platnosťou vypočítať takto:

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

4. Výsledky

Výsledky sú uvedené v dolnej tabuľke č. 1:

Charakteristické hodnoty	Kompozitná tepelnoizolačná rohož „Aluthermo Quattro“
Stanovená teplota ϑ_1 [°C]	20
Teplota ϑ_1' [°C]	3,11
Teplota ϑ_2' [°C]	1,15
Stanovená teplota ϑ_2 [°C]	- 20
Celkový tepelný odpor R_{12} [m ² K/W]	5,70
Koeficient prestupu tepla u_{12} zodpovedajúci tepelnému sálaniu [W/m ² K]	0,175

Tabuľka č. 1:

Uvedené údaje a vypočítané výsledky pre kompozitnú tepelnoizolačnú rohož „Aluthermo Quattro“.