

**Výpočty prostupu tepla sáláním s použitím kompozitní izolační rohože  
"Aluthermo Quattro"**Odborná zpráva zadaná společností  
Aluthermo AG, Burg Reuland, Belgie

Upravil: Hilemacher (Dr.-Ing)

CÁCHY/Aix-la-Chapelle, 17. března 2005

---

## 1. Úvod

Kvalita tepelné izolace stavebních prvků je dnes stále důležitějším kritériem při hodnocení celkové technické kvality provedení budov. V reakci na různé požadavky na specifické vlastnosti, které jsou často dány charakterem stavby, je současný trh charakterizován širokou škálou tepelněizolačních materiálů, a to jak pro novostavby, tak pro dodatečnou montáž při rekonstrukci starých budov.

Některé inovativní koncepce tepelné izolace stavebních prvků využívají účinek odrazu záření, který poskytují vysoce odrazivé povrchy některých izolačních materiálů, které jsou zpravidla pro tento účel speciálně opatřeny povrchovou úpravou. Výsledkem je snížení prostupu tepla pláštěm konstrukce, což v praxi znamená, že v létě do budovy proniká méně tepla a v zimě se konstrukcí ztrácí méně tepla, což významně přispívá k úsporám energie.

## 2. Popis problému

Pro účely tohoto znaleckého posudku byl tepelně izolační materiál tohoto typu s oboustranně vysoce reflexním povrchem analyzován pomocí výpočtů prostupu tepla. Předmětem zkoušek byl tepelně izolační materiál s názvem "Aluthermo Quattro", vyráběný společností Aluthermo AG z Burg Reulandu v Belgii.

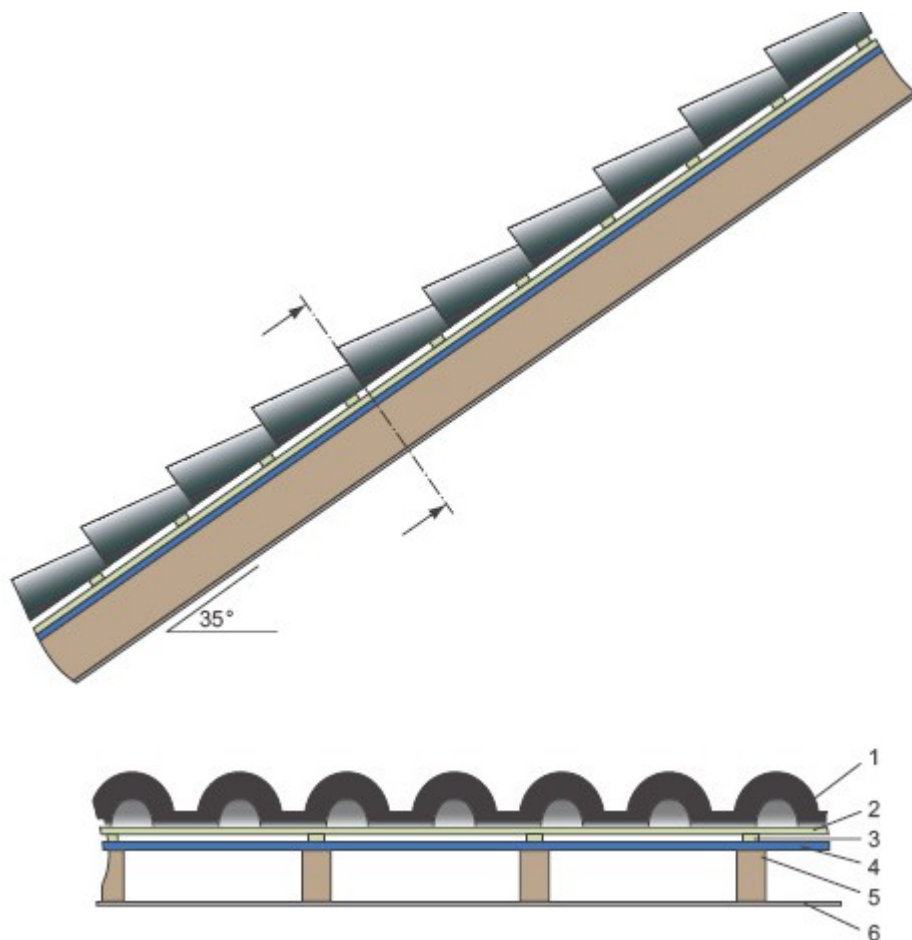
Pro výrobek "Aluthermo Quattro" jsou k dispozici dva zkušební protokoly Fraunhoferova ústavu stavební fyziky (Fraunhofer Institut für Bauphysik) ze Stuttgartu v Německu, a to zkušební protokol P15-013.1/2005 ze dne 7. 2. 2005 "Stanovení emisního součinitele vnějších povrchů vícevrstvé kompozitní tepelně izolační rohože" a zkušební protokol P1-003/2005 ze dne 13. 1. 2005 "Stanovení odporu proti prostupu tepla podle DIN EN 12667". Tato odborná zpráva odkazuje na výsledky zveřejněné ve výše uvedených zkušebních zprávách.

Studovaná kompozitní tepelně izolační rohož "Aluthermo Quattro" se skládá ze 7 vrstev s celkem 13 rozhraními mezi různými materiály. Jádrová vrstva, tvořená 3 mm silnou polyethylenovou (PE) pěnou (hmotnost materiálu  $75 \text{ g/m}^2$ ), je vložena mezi dvě vrstvy hliníkové fólie potažené z obou stran PE (hmotnost materiálu  $20 \text{ g/m}^2$ ), které jsou zase uzavřeny 4 mm silnými PE fóliemi se vzduchovými bublinami (průměr vzduchových komor: 10 mm). Tento vnitřní obal z vrstvených materiálů je pokryt hliníkovou fólií (hmotnost materiálu  $81 \text{ g/m}^2$ ) potaženou na obou vnějších plochách nitrocelulóзовým povlakem (hmotnost materiálu  $3 \text{ g/m}^2$ ). Na vnitřním povrchu jsou tyto krycí vrstvy hliníkové fólie opět potaženy PE (hmotnost materiálu  $20 \text{ g/m}^2$ ). Výše uvedený zkušební protokol P15-013.1/2005 uvádí, že celková tloušťka kompozitní tepelněizolační rohože "Aluthermo Quattro" je 11,2 mm, a pro emisní koeficienty vnějších povrchů uvádí hodnotu 0,08. Zkušební protokol P15-013.1/2005 uvádí, že celková tloušťka kompozitní tepelněizolační rohože "Aluthermo Quattro" je 11,2 mm.

Ve zkušebním protokolu P1-003/2005 je pro tepelněizolační rohož "Aluthermo Quattro" uveden tepelný odpor  $R = 0,279 \text{ m K/W}$ .<sup>2</sup>

Obrázek 1 níže znázorňuje typickou aplikaci tohoto typu tepelně izolačního materiálu: kompozitní tepelně izolační rohož "Aluthermo Quattro" je položena přímo na krokve střešní konstrukce.

Na obrázku je znázorněna šikmá střecha skloněná pod úhlem  $35^\circ$  při pohledu z boku i v příčném řezu. Tepelněizolační rohož "Aluthermo Quattro" (4) byla položena v pásech rovnoběžně se směrem úžlabí a byla upevněna pomocí příčných latí (3) na krokve (5). Příčné latě (3) podpírají latě (2), které jsou rozmístěny v souladu s požadavky na konečnou střešní krytinu (1), např. betonové tašky nebo hliněné cihly. Jak je dnes u půdních vestaveb časté, bylo pod krokve na vnitřní straně střechy připevněno vnitřní opláštění ze sádkartonových desek (6).



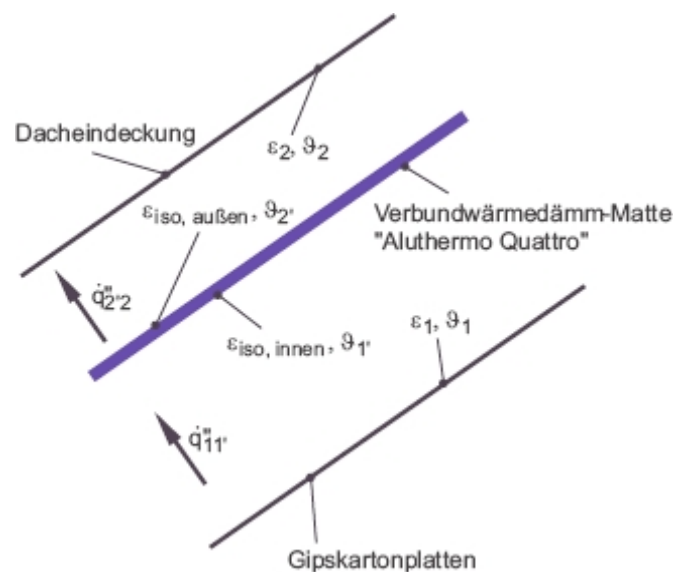
**Obrázek 1:** Typická instalační situace pro kompozitní tepelněizolační rohož "Aluthermo Quattro" na šikmé střeše se sklonem  $35^\circ$ , znázorněná v bočním pohledu a příčném řezu.

1. Materiál střešní krytiny se zadním větráním, např. betonové tašky nebo hliněné cihly.
2. Battens
3. Protilehlé lišty
4. Kompozitní tepelně izolační rohož "Aluthermo Quattro"
5. Krovky
6. Sádkarton

Cílem tohoto znaleckého posudku bylo analyzovat, do jaké míry je ovlivněn přenos tepla sáláním mezi dvěma mezními povrchy (sádrokartonovou deskou na vnitřní straně a střešní krytinou na straně vnější) instalací kompozitních tepelně izolačních rohoží "Aluthermo Quattro", a zejména stanovit celkový tepelný odpor mezi sádrokartonovou deskou a střešní krytinou za předpokladu určitých stanovených podmínek.

Pro ilustraci procesu přenosu tepla sáláním ve výše uvedeném příkladu instalace kompozitní tepelněizolační rohože "Aluthermo Quattro" je na obrázku 2 znázorněn zjednodušený náčrt principu tohoto problému:

Mezi dvěma rovnoběžnými, nekonečně dlouhými rovinnými plochami s různou teplotou (sádrokarton uvnitř, střešní krytina vně) je položena kompozitní tepelněizolační rohož "Aluthermo Quattro", která tvoří meziplochu rovnoběžnou, takže dochází k výměně tepla sáláním mezi kompozitní tepelněizolační rohoží "Aluthermo Quattro" a dvěma plochami, které k ní směřují, tj. sádrokartonem nebo střešní krytinou.



Střešní krytina

$\epsilon_{ISO}$  vnější

Kompozitní tepelně izolační rohož "Aluthermo Quattro"

$\epsilon_{ISO}$  vnitřní

sádrokartonové  
desky

Obr. 2: Schéma principu, na němž je zkoumaný problém založen

Povrchové teploty sádrokartonových desek a střešní krytiny s příslušnými emisními koeficienty  $\epsilon_1$  a  $\epsilon_2$  na jejich vnitřním povrchu (tj. na straně přivrácené k izolačnímu materiálu) jsou  $\theta_1$  a  $\theta_2$  resp. Kompozitní tepelněizolační rohož "Aluthermo Quattro" se vyznačuje součinitelem prostupu tepla  $R_{ISO} = 0,279 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , součinitelem vyzařování  $\epsilon_{ISO} = 0,08$  pro vnější povrchy a tloušťkou  $\delta_{.ISO}$

Níže uvedené výpočty vycházejí ze stanovené jednotné teploty sádrokartonových desek - odpovídající poměrně vyšší teplotě v místnosti (v závislosti na konstrukci stěny) -  $\theta_{.1} = 20^\circ\text{C}$ .

Pro teplotu  $\vartheta_2$  na vnitřním povrchu střešní krytiny jsme v těchto výpočtech předpokládali hodnotu  $\vartheta_2 = -20^\circ\text{C}$ .

Pro emisní koeficienty sádrokartonových desek byla při výpočtech předpokládána hodnota  $\varepsilon_1 = 0,9$ .

Emisní součinitel vnitřního povrchu střešní krytiny, tj. povrchu přiléhajícího ke kompozitní tepelněizolační rohoži "Aluthermo Quattro", se pohybuje v rozmezí 0,90 až 0,94 podle použitého materiálu (betonové střešní tašky, hliněné cihly, střešní plst' nebo celodřevěné prkna. Pro výpočty jsme předpokládali konzervativní vyšší odhad  $\varepsilon_2 = 0,94$ .

### 3. Definování rovnic

Podle uvedených rámcových podmínek je třeba předpokládat, že v obou zónách rozhraní, tj. mezi sádrokartonovými deskami a kompozitními tepelněizolačními rohožemi "Aluthermo Quattro" a mezi kompozitními tepelněizolačními rohožemi "Aluthermo Quattro" a střešní krytinou, dojde k přenosu tepla v důsledku uvedených teplotních rozdílů výhradně sáláním. S ohledem na Stefanův-Boltzmannův zákon lze proto pro čistou výměnu záření mezi dvěma nekonečně dlouhými rovnými plochami i a j, které lze považovat za "šedá tělesa", odvodit následující rovnice:

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

kde je konstanta záření  $C_s = 5,67 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ .<sup>24</sup>

Na druhé straně, za předpokladu jednorozměrného vedení tepla v pevném tělese o tloušťce  $\delta$  a tepelné vodivosti  $\lambda$ , platí pro tepelný tok po ploše následující rovnice:

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

s tepelným odporem

Pro určení neznámých hodnot tepelného odporu  $R_i$  pro příslušnou zónu i nebo celkovou zónu

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

odporu  $R_{\text{tot}}$  mezi sádrokartonovými deskami a střešní krytinou se tepelné toky přenášené sáláním nebo vedením v příslušných zónách vypočítají pomocí rovnic (1) a (2). Při indexaci odpovídající obrázku 2 se získají následující rovnice:

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

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

Při použití výše uvedených definičních rovnic (1) nebo (2) lze pro soustavu rovnic (4) a (5) zpočátku iteračně určit neznámé teploty  $\vartheta_{1'}$  a  $\vartheta_{2'}$ . Za předpokladu, že hodnoty odporu tepelného vyzařování jsou ekvivalentní odporu tepelného vedení o velikosti

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

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

lze určit hodnoty tepelného odporu  $R_{11'}$ ,  $R_{12'}$  a  $R_{22'}$ . Celkový tepelný odpor  $R_{\text{tot}}$  vztažený k potenciálu hnací teploty ( $\vartheta_1 - \vartheta_2$ ) se tedy určí podle následujícího vzorce:

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

Nakonec lze ze součinitele přestupu tepla  $u_{12}$  - opět založeného na potenciálu hnací teploty ( $\vartheta_1 - \vartheta_2$ ) a ekvivalentního tepelnému záření - vypočítat:

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

#### 4. Výsledky

Vypočtené výsledky jsou shrnuty v tabulce 1 níže:

Charakteristika	Kompozitní tepelně izolační rohož "Aluthermo Quattro"
Teplota $\vartheta_1$ [°C], specifikováno	20
Teplota $\vartheta_{1'}$ [°C]	3.11
Teplota $\vartheta_{2'}$ [°C]	1.15
Teplota $\vartheta_2$ [°C], specifikováno	- 20
Celkový tepelný odpor $R_{12}$ [m <sup>2</sup> K/W]	5.70
Součinitel prostupu tepla $u_{12}$ ekvivalentní tepelnému záření [W/m <sup>2</sup> K].	0.175

Tabulka 1:

Specifikované údaje a vypočtené výsledky pro kompozitní tepelně izolační rohož Aluthermo Quattro".