

Vícefóliová reflexní izolace POLAR+ s vysokým tepelněizolačním účinkem

Pod názvem POLAR+ uvedla společnost Dape, s.r.o. na trh reflexní izolaci složenou z pěnových a bublinových vrstev, které jsou proloženy a ohraničeny tenkými hliníkovými fóliemi. POLAR+ je velmi pevný při tahovém namáhání, zároveň jím lze snadno ovinout např. krokev ap. Správně aplikován může paronepropustný vícefóliový materiál POLAR+ tepelně účinkovat lépe než 30 cm běžné izolace.

Samotný POLAR+ o tloušťce 35 mm má tepelný odpor 4,2 m²K/W, což je hodnota odvozená z měření jednoduchých fólií AB a AP od firmy Dape, které provedla nezávislá akreditovaná zkušebna CSI, a.s. Praha. V průměru má každá tato fólie tepelný odpor 0,525 m²K/W, což podle pravidla sčítání za sebou řazených tepelných odporů vede k uvedeně hodnotě tepelného odporu vícevrstvé fólie POLAR+.

Hlavní přednosti POLARU+

- vysoký tepelný odpor bublinových a pěnových vrstev
- vysoká odrazivost tepelného záření
- vysoký odpor při přestupu tepla vedením mezi vrstvami
- vysoká paronepropustnost
- plná recyklovatelnost
- ruší elektromagnetický smog

Doporučené použití POLARU+

Aby se využilo termoreflexních účinků hliníkového povrchu POLARU+, doporučuje ho výrobce Dape umístit pomocí systému latí doprostřed vzduchové mezery tloušťky 120 nebo 180 mm. Této mezeře budeme také říkat termoizolační mezera, zkráceně TI mezera. V ideálním případě je vhodné i oba záklopy termoizolační mezery opatřit z vnitřní strany (přivracené k POLARU+) jednoduchou reflexní fólií, např. typu AB. V takovém případě lze docílit tepelného odporu až 7,8 m²K/W pro mezeru 180 mm a 6,6 m²K/W pro mezeru 120 mm.

Základní technické i aplikační vlastnosti izolace POLAR+ uvádí tab. 1.

Tepelný odpor izolace POLAR+	4,2 m ² K/W
Tepelný odpor POLAR+ v TI mezeře (* pro vzduch. mezeru 120 a 180 mm)	6,63–7,81 m ² K/W*
Ekvivalentní difúzní tloušťka	1780 m
Tloušťka izolace POLAR+	35 mm
Šířka role	1 m
Délka role	5 m (delší metráž na zakázku)
Plošná hmotnost	700 g/m ²

Tab. 1: Základní technické i aplikační vlastnosti izolace POLAR+

Sálání a jak s ním pracovat při navrhování

Tepelné sálání je dominantní způsob sdílení tepla na větší vzdálenosti ve vzduchu a vakuu. Dva obyčejné, rovnoběžné nereflexní povrchy o různých teplotách si mění mezi sebou teplo. Výměna probíhá hlavně sáláním a vedením a podíl obou složek je při pokojové teplotě právě stejný, jestliže je vzdálenost povrchů 4,6 mm. S rostoucí vzdáleností rychle roste podíl sálání. Jestliže oba povrchy silně odrážejí sálavé teplo (říkáme jim reflexní nebo nízkoemisivní), nastane parita ve vedení a sálání tepla při větší vzdálenosti desek. Např. když povrchy odrážejí 90 % sálání a jen 10 % pohltí (jejich emisivita je $\varepsilon = 0,1$), je tato vzdálenost cca 100 mm.



Obr. 1: Termoreflexní izolace POLAR+ byla veřejnosti poprvé představena na výstavě Střechy Praha 2011

Daleký dosah sálání má důsledky, které dosud stavební praxe nevnímá. Rozpálené žárovky, radiátory, kamna, vařiče s hrnci ap. – zejména v blízkosti oken – sálají velká množství tepla, které pohltí a odvedou ven chladné povrchy oken, dveří i stěn a stropů. Tyto ztráty jdou zcela mimo tepelné výpočty založených na difúzní rovnici pro vedení tepla a pracujících s ustálenými podmínkami a rovnoměrnými teplotami. To je důvodem, proč dům s malým počtem rozpálených topidel mívá z „nepochopitelných“ důvodů mnohem horší efektivitu vytápění, než dům s velkoplošným vytápěním, nejlépe ve střepech a podlahách, které hřeje na nízké teplotě pár stupňů požadovanou prostorovou teplotou.

Sdílení tepla mezi dvěma rovnoběžnými povrchy

Reflexní izolace mají výhodu, že jejich hliníkové reflexní vrstvy jsou navzájem velmi blízko, takže lze uvažovat, že s ohledem na velké plochy fólií se jak sálání, tak i vedení tepla děje kolmo na reflexní vrstvy.

Mějme dvě dokonale černé, rovnoběžné vrstvy dostatečně blízko od sebe. Je-li teplota jedné z nich t_1 , sálá tato vrstva proti druhé zářivý tok tepla I_1 o velikosti

$$I_1 = \sigma (t_1 + 273,15)^4 \quad (1)$$

¹ Autor čerpal z technických podkladů společnosti Dape, s.r.o.

kde

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ je Stefanova - Boltzmannova konstanta a $t_1 + 273,15 = T_1$ je termodynamická teplota povrchu.

Výpočet podle předpisu (1) nám dá pro teplotu $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$ hustotu vyzařované energie $I_1 = 418,7 \text{ W/m}^2$. Fólie by musela rychle chladnout, nebýt ovšem toho, že sama absorbuje tepelné záření od sousední fólie. Je-li termodynamická teplota sousední fólie, řekněme, o stupeň nižší, tedy $t_2 = 19 \text{ }^\circ\text{C} = 292,15 \text{ K}$, bude hustota přijímané zářivé energie jen $I_2 = 413,1 \text{ W/m}^2$. Celková bilance pak je

$$I = I_1 - I_2 = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (2)$$

Po dosažení dostaneme $I = 5,6 \text{ W/m}^2$. Toto platí pro ideálně černé těleso, které je definováno tak, že pohlcuje veškeré záření, které na něho dopadá, a (v důsledku toho) pak sálá s hustotou podle (1).

Co když ale povrch vrstev není ideálně černý, tzn. že se nějaký podíl r ($0 \leq r \leq 1$) z dopadajícího záření odráží nazpět. Pohltivost (absorbance) takové vrstvy pak je $a = 1 - r$. Na základě 2. termodynamického zákona lze dovést, že také relativní zářivost (emisivita, ε) tohoto hůře pohlcujícího povrchu je o stejný podíl nižší, t.j. $\varepsilon = a = 1 - r$, ($0 \leq \varepsilon \leq 1$). Vzorec (1) pro povrchy s emisivitou menší než 1 má pak tvar:

$$I_1 = \sigma \varepsilon (t_1 + 273,15)^4$$

Odvodíme vzorec určující bilanci sdílení tepla mezi dvěma reflexními, čili nízkoemisivními povrchy, který pro $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$ přechází ve (2). Záření, které emituje povrch první vrstvy, je $I_1 = \sigma \varepsilon_1 T_1^4$. Protilehlá vrstva o emisivitě ε_2 z něho pohltí část $\varepsilon_2 \cdot I_1$ a část $(1 - \varepsilon_2) \cdot I_1$ odráží.

Odražený paprsek se vrátí k 1. vrstvě, od ní se odráží část $(1 - \varepsilon_2) \cdot (1 - \varepsilon_1) \cdot I_1$, ta zamíří ke 2. vrstvě, která z něho opět pohltí část $\varepsilon_2 \cdot (1 - \varepsilon_2) \cdot (1 - \varepsilon_1) \cdot I_1$ a část $(1 - \varepsilon_2)^2 \cdot (1 - \varepsilon_1) \cdot I_1$ odráží. I tento odražený paprsek se vrátí k 1. vrstvě, část $(1 - \varepsilon_2) \cdot (1 - \varepsilon_1)^2 \cdot I_1$ se od ní odráží a zamíří ke 2. vrstvě, která z něho pohltí část $\varepsilon_2 \cdot (1 - \varepsilon_2)^2 \cdot (1 - \varepsilon_1)^2 \cdot I_1$ a tak lze pokračovat donekonečna.

Je ale zřejmé, že z původního paprsku emitovaného 1. vrstvou je druhou vrstvou absorbována jen část, kterou lze vyjádřit jako nekonečnou geometrickou řadu, v níž je 1. člen $a_0 = \varepsilon_2 \cdot I_1 = \sigma \varepsilon_2 \varepsilon_1 T_1^4$ a kvocient $q = (1 - \varepsilon_2) \cdot (1 - \varepsilon_1)$, kde $0 < q < 1$. Součet této řady je

$$\frac{\sigma \varepsilon_1 \varepsilon_2 T_1^4}{1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2)} = \frac{\sigma T_1^4}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

Stejným postupem určíme záření od 2. reflexní vrstvy, které pohltí ta první; tento sálavý tok má logicky opačné znaménko. Pro výslednou hustotu toku I_s sdíleného sálavého tepla pak dostaneme

$$I_s = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} \quad (3)$$

K sálavému toku tepla mezi reflexními vrstvami ještě musíme přičíst paralelně probíhající také tepelný tok vedením tepla vzduchem nebo pěnovou či bublinovou výplní mezery:

$$I = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} + \frac{\lambda}{d} \cdot (T_1 - T_2) = I_s + I_K \quad (4)$$



Obr. 2: POLAR+ aplikovaný jako tepelná izolace ve stropě

kde

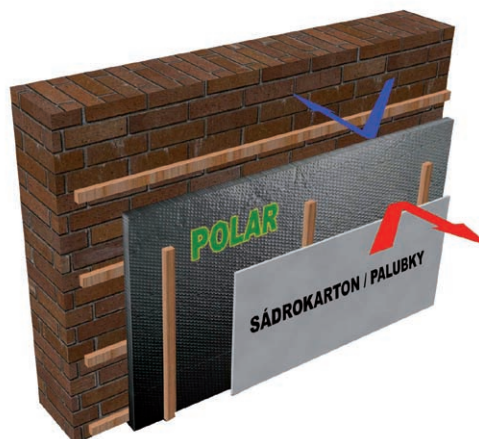
I je hustota celkového toku tepla mezi vrstvami ve W/m^2 , $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ je Stefanova-Boltzmannova konstanta, T_1, T_2 jsou termodynamické teploty 1. resp. 2. vrstvy, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ jsou emisivity 1. resp. 2. vrstvy, λ je součinitel tepelné vodivosti výplně mezery ve W/(mK) a d je tloušťka mezery.

Poznámka 1: Vzorec (4) předpokládá, že vzduch v mezeře nebo pěnová, bublinová či jiná výplň mezery nepohlcují sálání desk a že samy ani nesálají. To jinými slovy znamená, že sálání a vedení tepla se neovlivňují a lze je počítat zvlášť. V praxi to lze splnit jen do nějaké větší či menší míry.

Poznámka 2: Do vodivostního členu ve vztahu (4) se zahrnují také dva odpory r_K při přestupu tepla při vedení, které se uplatňují na obou hranicích vzduchové mezery s reflexními povrchy. Matematicky to znamená provést za člen d/λ tuto náhradu:

$$\frac{\lambda}{d} \rightarrow \frac{1}{\frac{d}{\lambda} + 2r_K}$$

O velikosti či vůbec existenci odporů r_K se vede diskuse, neboť mohou být jedním z důvodů vysokých tepelněizolačních účinků reflexních vícevrstevních izolací.



Obr. 3: Zateplení stěny s izolací POLAR+

Základní funkční buňka POLARU+

Vzorec (4), který udává intenzitu (hustotu) celkového tepelného toku mezi dvěma rovnoběžnými plochami, je i přes výhradu v poznámce 1 základem jakékoliv teorie reflexních fóliových izolací. Dává totiž nejvěrnější popis základní stavební buňky



těchto izolací, tj. vzduchové mezery ohraničené reflexní fólií. Skládáním těchto buněk na sebe vznikají sofistikované vícevrstvé sestavy jako je POLAR+.

Na první pohled upoutá, že sálavý člen (3), vyjadřující hustotu sálavého toku, nezávisí na tloušťce mezery mezi sálajícími povrchy. Na rozdíl od vodivostního členu, který má difúzní povahu a tedy závisí na tloušťce mezery.

Difúzní charakter klasické tepelné vodivosti vedl k definicím součinitele tepelné vodivosti λ a tepelného odporu R z hodnoty hustoty tepelného toku I_K

$$I_K = \frac{T_1 - T_2}{R} = \frac{T_1 - T_2}{d} \cdot \lambda$$

kdy obě veličiny, R i λ , lze s dobrou přesností považovat za teplotně nezávislé.

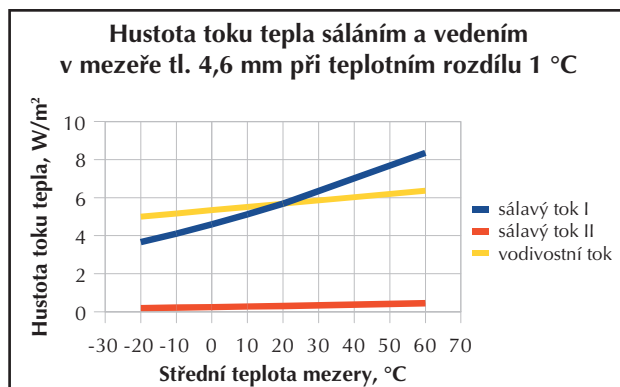
Když podobným postupem odvodíme tepelný odpor a vodivost i pro sálání, viz rovnici (3), pak obě takto odvozené veličiny budou výrazně teplotně závislé. Zahnutí sálání do tepelných výpočtů tak znamená, že veličiny jako tepelný odpor nebo součinitel tepelné vodivosti jsou teplotně závislé.

Tepelná závislost účinnosti tepelných izolací

Důležité je, že v mezerách zaplněných vzduchem nebo lehkými tepelnými izolacemi se na šíření tepla významně podílí sálavá složka. A právě její přítomnost může zpochybnit tepelné výpočty s teplotně konstantními hodnotami R a λ . Zvlášť když výpočet s pomocí konstant, které ve skutečnosti nejsou konstantní, jen těsně rozhodne např. o energetické klasifikaci stavby.

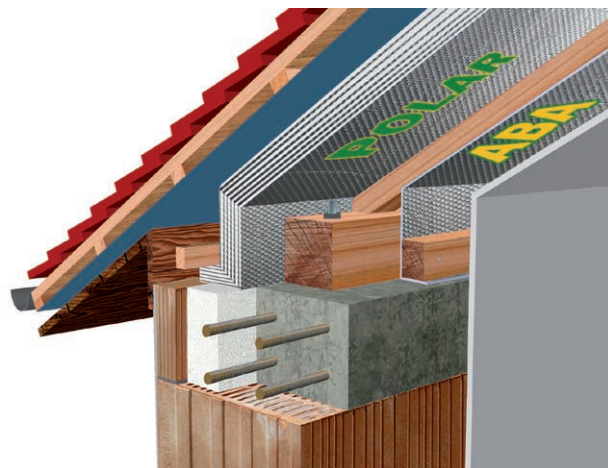
Vraťme se nyní k popisu termoizolačních mezer osazených reflexními materiály.

Víme, že dvě souběžné černé desky ohraničující mezeru 4,6 mm si při pokojové teplotě vyměňují teplo z poloviny sáláním a z poloviny vedením. Graf na obr. 3 ukazuje sálavý a vodivostní tok tepla v této mezeře, určený rovnicí (4) při teplotním spádu v mezeře 1 °C, jestliže se střední teplota mezery se mění od -20 °C do 60 °C. Modrá křivka „sálavý tok I“ se týká mezery, jejíž ohraničující stěny mají běžnou emisivitu blízkou jedné, červená křivka „sálavý tok II“ se vztahuje k mezeře, jejíž ohraničující stěny jsou reflexní s emisivitou 0,1.



Závislost sálavé a nesálavé složky toku tepla na teplotě. Modrá křivka „sálavý tok I“ se týká mezery s emisivitou stěn $\epsilon = 1$, červená křivka „sálavý tok II“ představuje mezeru s reflexními okraji o emisivitě $\epsilon = 0,1$

Z grafu je vidět, že se zvyšující se střední teplotou takto definované mezery roste hustota jak sálavého, tak vodivostního toku, u sálání však výrazně. Reflexním ohraničením mezery podstatně srazíme jak strmost teplotní křivky sálání, tak hlavně absolutní hodnoty hustoty sálání, takže se na



Obr. 4: POLAR+ v místech napojení střešky ke stěně

celkovém vedení tepla mezerou podílí hlavně prosté vedení vzduchu.

Podívejme se nyní na tepelné vlastnosti širších mezer, které vzniknou v termoizolační mezeře tl. 180 mm s centrálně aplikovaným POLAREM+. Po jeho obou stranách zůstanou vzduchové vrstvy tloušťky 72,5 mm. Zajímá nás tepelný odpor (TO) těchto vzduchových vrstev v praktickém nastavení okrajových teplot, kdy při konstantní teplotě vnitřního záklopu 21 °C měníme teplotu venkovního záklopu mezery. Oba záklopy mezer mají reflexní povrch orientovaný k POLARU+. Výsledky ukazuje tab. 2.

Vnitřní teplota 20 °C Venk. teplota ve sl. 2	TO vnitřní mez. m²K/W	TO venk. mezery m²K/W	
Reflexní záklop emisivita = 0,1	-25 °C	1,54	1,93
	-15 °C	1,53	1,83
	0 °C	1,53	1,70
	30 °C	1,53	1,60
	60 °C	1,48	1,21

Tab. 2: Tepelný odpor (TO) vzduchových vrstev vzniklých aplikací POLARU+ Tl mezeře 180 mm v závislosti na teplotě venkovního záklopu mezery při konstantní teplotě vnitřního záklopu 21 °C

V případě reflexního záklopu, který realizujeme pomocí fólie AB od Dape, s.r.o., připočteme k odpovídajícím tepelným odporům v tab. 2 hodnotu 0,5 m²K/W.

Výsledky v tab. 2 ukazují, že tepelný odpor venkovního záklopu (v posledním sloupci tabulky) nezanedbatelně závisí na venkovní teplotě, se zvyšující se teplotou rychle klesá. Podobné teplotní tendence mají i tepelné odpory mezer vyplněných běžnými izolacemi, avšak jejich deklarované součinitele tepelné vodivosti (hodnoty lambda) se vztahují k jediné, většinou nízké teplotě, a oficiální výpočty nezahrnují rostoucí hodnotu lambda při rostoucí teplotě.

Závěr

POLAR+ je nový, vícevrstvý tepelně izolační fóliový materiál tloušťky 35 mm, který využívá reflexních vlastností velmi tenkých hliníkových fólií. Vyznačuje se vysokou paronepropustností, z pohledu tepelné izolace účinkuje při správné aplikaci lépe než 30 cm běžné minerální vlny. Sálavá složka sdílení tepla, s níž POLAR+ aktivně pracuje, je dominantním způsobem šíření tepla v prostoru, včetně interiéru budov: sálání od rozpálených topidel zde může ztlačovat tepelné ztráty, a to mimo záběr běžné metodiky stavebních tepelných výpočtů. Z analýzy základní stavební buňky POLARU+ je patrná závislost sálavých toků na teplotě, se kterou si poradí nejlépe termoreflexní technika. □