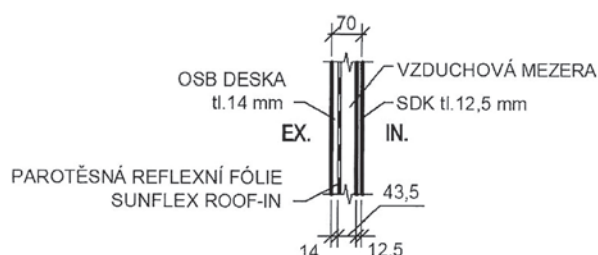


Reflexní parotěsná fólie Sunflex Roof-In v praktické zkoušce

Měření povrchových teplot předstěny s reflexní fólií a rozbor výsledků

Tepelné vlastnosti fólie Sunflex s tepelně reflexní vrstvou otestovala Fakulta stavební VUT Brno ve spolupráci s firmou TART, s.r.o. Fólie o tloušťce 3,5 mm vložená dovnitř lehké duté stěny zvýšila její tepelný odpor zhruba na trojnásobek, výpočtem o 0,67 m²K/W, což odpovídá víc než sedmkrát silnější vrstvě minerální vlny. Je to první publikované měření tohoto druhu v ČR.

Experiment byl navržen tak, aby byl vliv fólie co nejvíc patrný. Byla postavena jednoduchá lehká stěna, simulující montážní předstěnu obvodové stěny, o celkové tloušťce 70 mm složená z OSB desky (14 mm) a sádkkartonu (12,5 mm), mezi nimiž byla ekvidistanční mezera o světlosti 43,5 mm, do níž byly vsazeny fólie: v jedné polovině parotěsná, tepelně odrazivá fólie Sunflex Roof-In, obr. 1, v druhé polovině parozábrana bez reflexní vrstvy. Potom byly měřeny ustálené povrchové teploty na vnějších površích stěny v obou jejích polovinách (s reflexní, resp. obyčejnou fólií) a v podmínkách, kdy stěna oddělovala chladné (EXterní) prostředí o teplotě -15 °C, resp. -18 °C a teplejší prostředí (INterní) o teplotě 21,1 °C resp. 21 °C.



Obr. 1:

Experiment poskytl čtyři soubory výsledků – pro dvě fólie a dvě externí teploty, které ukazuje tab. 1. Rozdíl teplot na vnějších površích stěny s reflexní fólií Sunflex byl zhruba o třetinu vyšší ve srovnání se stěnou bez fólie. Např. při měření při prostorové teplotě $T_{EXT} = -15$ °C zvýšila fólie rozdíl povrchových teplot z 21,7 °C na 29 °C, tj o 33,6 %. Přítomnost fólie, jinak řečeno, podstatně zvýšila tepelný odpor stěny.

Zadavatel měření, firma TART, s.r.o., si zkouškou ověřila, jak se tepelně reflexní vlastnosti její fólie projeví v reálné konstrukci

Chladná strana stěny			Teplá strana stěny		
Prostorová teplota, T_E (°C)	Povrch. teplota, T_p (°C) obyčejná fólie	Povrch. teplota, T_p (°C) reflexní fólie	Prostorová teplota, T_I (°C)	Povrch. teplota, T_p (°C) obyčejná fólie	Povrch. teplota, T_p (°C) reflexní fólie
-15	-7,4	-13,3	21,1	14,3	15,7
-18	-9,0	-15,6	21,0	14,3	15,7

Tab. 1: Výsledky měření povrchových teplot lehké stěny složené z dvou desek s ekvidistanční mezerou s obyčejnou fólií a reflexní Sunflex.

ve srovnání s použitím běžné fólie. Měření přesvědčivě vyznělo ve prospěch reflexní fólie. Argumentace firmy, že její reflexní fólie SUNFLEX ROOF-IN ve stropích či stěnách působí příznivě, zvyšuje jejich tepelný odpor a zlepšuje povrchové teploty, se zkouškou plně potvrdila. Pokusme se z naměřených povrchových teplot odvodit vlastnosti fólie SUNFLEX v číslech.

Rozbor výsledků měření

Tab. 1 ukazuje na nápadný rozdíl mezi povrchovou a prostorovou teplotou (přestupovým schodem) na studené resp. teplé straně stěny s reflexní fólií. Pro měření s externí teplotou -15 °C je to číselně 1,7 °C resp. 5,4 °C. U stěny s obyčejnou fólií jsou tyto schody 7,6 °C resp. 6,8 °C, tedy ne sice stejné, ale blízké. Měření při externí teplotě -18 °C skončilo podobně (2,4 °C resp. 5,3 °C s reflexní fólií a 9,0 °C resp. 6,7 °C s běžnou fólií).

Měli bychom čekat, že přestupové teplotní schody budou na studené i teplé straně téhož měření stejné nebo blízké, protože i přestupové odpory jsou zde stejné nebo blízké. To se však neděje.

Za druhé by se měl zachovávat poměr přestupových schodů na obou vnějších plochách stěny (ať už je rovný nebo blízký jedné) u všech měření, tj. s reflexní a běžnou fólií či při různých teplotách. Ani to se neděje, neboť např. $1,7 : 5,4 = 0,31 \neq 7,6 : 6,8 = 1,12$.

Vysvětlení spočívá v nesymetrii testu. Tedy v tom, že teplo vstupuje do konstrukce plochou o jiné velikosti, než je plocha, ze které teplo vystupuje ven do chladicího boxu. Celkový ustálený tok tepla je stejný, ale na větším povrchu má menší hustotu, čímž se povrchová teplota přiblíží prostorové.

Budiž je A_{EX} velikost chladné, pro tepelný tok tedy výstupní plochy. Celkový tok tepla vystupujícího z konstrukce je $A_{EX} \cdot I_{EX}$, kde I_{EX} je intenzita toku v W/(m²K) na výstupu. Hledejme velikost teplé (neboli vstupní) plochy A_{IN} , kterou vstupuje teplo do konstrukce. Musí platit:

$$A_{EX} \cdot I_{EX} = A_{IN} \cdot I_{IN} \quad (1)$$

Vyjádříme-li intenzitu jako podíl přestupového schodu a přestupového odporu $\Delta T_p/R_p$, dostaneme po drobné úpravě:

$$\frac{A_{IN}}{A_{EX}} = p = \frac{\Delta T_{p,EX}}{\Delta T_{p,IN}} \cdot \frac{R_{p,IN}}{R_{p,EX}} = \frac{\Delta T_{p,EX}}{\Delta T_{p,IN}} \cdot r \quad (2)$$

kde p je podíl ploch, který charakterizuje nesymetrii měření, ΔT_p jsou přestupové schody a r je podíl přestupových odporů R_p na ohřivané, resp. ochlazené ploše.

Předpokládejme, že přestupové odpory na obou plochách stěny jsou stejné ($r = 1$) a rovné $R_p = 0,13$ m²K/W. Tuto hodnotu

Měřené uspořádání (T_E , stav konstrukce)	ΔT_{PEX}	ΔT_{PIN}	ΔT_{KCE}	I_{EX}	I_{IN}	p	R_{KCE} (min)	R_{KCE} (max)	R_{KCE}
-15 °C, běžná fólie	7,6	6,8	21,7	58,5	52,3	1,12	0,41	0,37	0,392
-15 °C, reflexní fólie	1,7	5,4	29,0	13,1	41,5	0,32	0,70	2,21	1,062
-18 °C, běžná fólie	9,0	6,7	23,3	69,2	51,5	1,34	0,34	0,45	0,386
-18 °C, reflexní fólie	2,4	5,3	31,3	18,5	40,8	0,45	0,77	1,69	1,057

Tab. 2: Přestupové rozdíly teplot ΔT_p , teplotní spád ΔT_{KCE} na konstrukci, přestupové intenzity tepelného toku I_{EX} a I_{IN} , poměr výstupní a vstupní plochy p , mezní tepelné odpory a odpor konstrukce R_{KCE} pro všechna měřená uspořádání.

jsme převzali z ČSN 73 0540 pro interiérové podmínky, tedy bezvětrí, které je u našeho experimentu splněno na obou stranách měřené stěny.

Například pro přestupový schod 1,7 °C na a 5,4 °C na teplém povrchu, viz tab. 2 v druhém datovém řádku, dostaneme $p=0,31$. Čím je menší podíl p , tím je na vstupu větší plocha, ale menší hustota toku tepla.

Z přestupových schodů a odporu $R_p = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ lze určit hustoty tepelných toků na obou površích pro všechny čtyři soubory měření. Jejich porovnáním, viz tab. 2, zjistíme, že reflexní fólie ve stěně podstatně sníží hustotu tepelného toku na (studeném) výstupu – cca o 75 %, zatímco hustotu toku na vstupu sníží jen o málo (o 21 %), což je kompenzováno velkým zmenšením vstupní plochy A_{IN} .

Poznamenejme, že podíl p není vlastnost konstrukce, ale měření. Jinak řečeno, p závisí na uspořádání, jakým konstrukce odděluje teplo a chlad. Plochy A nelze chápat jako zřetelně ohraničené plochy na površích konstrukce. Je-li $p \neq 1$, je uvnitř konstrukce (i místech přesahu mimo chladicí box) nehomogenní teplotní pole s gradienty různých směrů i velikostí. Ideální pro vyhodnocení výsledků je, když $p = 1$.

Vyhodnocení výsledků měření fólie SUNFLEX

Z každého souboru dat plyne minimální a maximální hodnota povrchových hustot tepelných toků, viz tab. 2.

Např. pro měřená při externí teplotě $T_E = -15 \text{ °C}$ u stěny s běžnou fólií to je **58,5 m²K/W** na studeném okraji, resp. **52,3 m²K/W** na teplém; u stěny s reflexní fólií pak **13,1 m²K/W**, resp. **41,5 m²K/W**. Střední hustota toku tepla bude někde mezi nimi. Dokážeme rozhodnout, kde „mezi“ to bude?

Víme, že kdybychom mohli rozšířit konstrukci i její ochlazenou a ohřívanou plochu do nekonečna, ustálil by se v ní homogenní tepelný tok. Jeho intenzita by byla všude stejná, uvnitř i na okrajích, a kolmá na stěny. Matematicky by se pak střední intenzita toku tepla konstrukcí I_{KCE} vyjádřila pomocí okrajových intenzit I_{EX} a I_{IN} (které jsou stejné), jako jejich průměr, tedy $I_{KCE} = (I_{EX} + I_{IN})/2$.

Přijmeme stejný vzorec i pro naše měření a navíc požadujeme, aby také součin $A_{KCE} \cdot I_{KCE}$ splňoval rovnost (1). Z toho po dosazení do rovnice $I_{KCE} = \Delta T_{KCE}/R_{KCE}$ plynou pro tepelné odpory stěny následující hodnoty:

1. Stěna s běžnou fólií, $T_E = -15 \text{ °C}$: $R_{KCE} = 0,392 \text{ m}^2\text{K/W}$,
2. Stěna s reflexní fólií, $T_E = -15 \text{ °C}$: $R_{KCE} = 1,062 \text{ m}^2\text{K/W}$,
3. Stěna s běžnou fólií, $T_E = -18 \text{ °C}$: $R_{KCE} = 0,386 \text{ m}^2\text{K/W}$,
4. Stěna s reflexní fólií, $T_E = -18 \text{ °C}$: $R_{KCE} = 1,057 \text{ m}^2\text{K/W}$,

Navýšení tepelného odporu stěny, které je způsobeno nahrazením běžné fólie reflexní fólií, lze spočítat z rozdílu tepelného odporu u obou polovin stěn při stejné teplotě. Za výše uvedeného předpokladu, že odpor při přestupu tepla na obou vnějších površích předstěny je $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$, plyne z měření při teplotě chladicího boxu -15 °C hodnota $\Delta R_{KCE} = 0,670 \text{ m}^2\text{K/W}$ a z dalších dvou měření (teplota boxu -18 °C) pak $\Delta R_{KCE} = 0,671 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Součinitel prostupu tepla reflexní fólie U_{RF} , která je ve stěně umístěna nekontaktně, je pak

$$U_{RF} = \frac{1}{(\Delta R_{KCE} + 1/U_{OB})} \quad (3)$$

kde U_{OB} je součinitel prostupu tepla obyčejné fólie. Ze (3) pak plyne pro $1/U_{OB} \rightarrow 0$ maximální hodnota součinitele prostupu tepla reflexní fólií $U_{RF} = 1,49 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Skutečná hodnota U_{RF} , kdy se člen $1/U_{OB}$ nezanedbává, vyjde nižší a tedy z pohledu tepelné ochrany příznivější.



Obr. 2: Fotografie praktického uspořádání experimentu

Závěr

Článek diskutuje měření lehké předstěny složené z OSB desky a sádkokartonu, mezi nimiž je vzduchová mezera a v ní obyčejná, resp. reflexní fólie SUNFLEX ROOF-IN o tloušťce 3,5 mm. Z měření a výpočtů, v nichž je podstatný předpoklad, že je na obou vnějších površích předstěny stejný odpor při přestupu tepla $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$, vyplynul závěr: reflexní fólie uvnitř stěny zvýší v porovnání s běžnou fólií její tepelný odpor na 2,5 násobek, výpočtem o $0,670 \text{ m}^2\text{K/W}$. To odpovídá víc než sedmkrát silnější vrstvě minerální vlny.

Odvozený součinitel prostupu tepla reflexní fólie je pak podle (3) menší než $1,49 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Vynásobením tloušťkou reflexní fólie $0,0035 \text{ m}$ dostaneme číslo $0,0052 \text{ W/(mK)}$ o rozměru součinitele tepelné vodivosti, v němž jsou ale zahrnuty odpory při přestupu tepla, zvýšené vysokou reflexí tepelného záření.

Toto číslo ukazuje, že u sestav složených z několika reflexních fólií SUNFLEX ROOF-IN, kdy se většina přestupových odporů na reflexních plochách stane součástí vnitřní struktury vícevrstvé sestavy, by bylo možné docílit velmi nízké hodnoty součinitele tepelné vodivosti, blížícímu se $0,005 \text{ W/(mK)}$. □

Literatura a zdroje

- [1] Hana Marková, Petr Kacálek: *Testování folie Sunflex ve skladbě vzorové obvodové stěny*. VUT FAST Brno, prosinec 2008.