

ÚČINKY REFLEXNÍ FÓLIE V PODLAHOVÉ OTOPNÉ PLOŠE

Prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., Ing. Luděk Jančík
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

V dnešní době se dodavatelé a výrobci komponent pro podlahové otopné plochy předhánějí ve vyčíslování úspor tepla při použití jejich systému s příslušným druhem reflexní fólie. Zákazníci jsou pak v obchodně-technické dokumentaci seznamováni s úsporami, dosahovanými aplikací reflexní fólie, v rozsahu 10 až 30 %. Pokusíme se v následujícím textu objasnit fyzikální podstatu děje a uvést hodnoty získané experimentálně. Pro náš experiment jsme zvolili systém [1] s reflexní fólií „Top Heating“ typu „Profi Reflex 3000“.

Konstrukce

Konstrukce podlahové otopné plochy vychází z termínu plovoucí podlahy. Značí to, že vlastní konstrukce otopné plochy není pevně spojena s nosnou částí podlahy, ale jakoby na ní plave tak, aby jí byly umožněny veškeré dilatační změny. V našem experimentálním posouzení vlivu reflexní fólie na změnu tepelného toku, orientovaného do vytápěného a pod vytápěný prostor, jsme uplatnili standardní konstrukci podlahové plochy s mokřým způsobem pokládky.

U meandrového způsobu pokládky otopného hadu, který jsme použili, obecně klesá teplota otopné vody od obvodové konstrukce k vnitřní stěně, což umožňuje rovnoměrnější rozložení teplot ve vytápěné místnosti. Oblouky se tvarují pod úhlem 180°, což vyžaduje použití potrubí menšího průměru (v našem případě 16 x 2 mm).

Po položení okrajových dilatačních pásů klademe tepelnou a zvukovou izolaci. Tato izolace může být v podobě systémových desek, samostatných desek či jako tzv. roll – jet a fold – jet opatřených upevňovací tkaninou, což umožňuje vytvářet systémové role. Izolační desky klademe těsně k sobě tak, aby vytvořily souvislou vrstvu. Někdy se k sobě fixují kovovými či plastovými spojnami. Tepelnou izolaci začínáme kladst od krajů místnosti k jejímu středu, čímž zároveň fixujeme dilatační pás na obvod stěn.

Podkladový beton je nosnou částí, která tvoří podklad pro samotnou otopnou plochu. Je třeba si uvědomit, že při zalití otopného hadu do vrstvy betonu 4 až 6 cm vysoké bude nosná část podlahy zatížena hmotností 80 až 100 kg/m². Povrch nosné části podlahy musí být rovný a pokud se podlahová otopná plocha klade na podklad, který umožňuje pronikání vlhkosti do své konstrukce musí se povrch nosné části podlahy opatřit hydroizolační fólií o tloušťce min. 0,2 mm. Za normálního provozu je přípustné max. zatížení u obytných prostor 1,5 kN/m², u kancelářských

prostor 2,0 kN/m², u prodejních prostor do 50 m² v obytných domech 2,0 kN/m² a u poslucháren či školních tříd 3,5 kN/m².

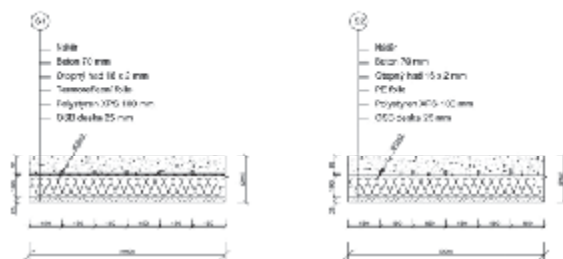
Hydroizolační fólie PVC, PE či reflexní anebo termoreflexní fólie se klade volně na povrch izolačních desek. Okraje jednotlivých pásů se překrývají a po obvodě místnosti se vytahují nad okraj obvodového izolačního pásu.

V případě použití systémových desek fólie odpadá, neboť systémové desky jsou povrchově upraveny tak, aby převzaly její funkci. Betonová mazanina používaná u podlahové otopné plochy je obohacena plastifikátory pro lepší zatékání pod a kolem trubek. Mazanina správné konzistence obohacená plastifikátorem umožňuje eliminovat vzduchové kapsy okolo trubek otopného hadu a zajišťuje optimální vedení tepla od stěny trubky na povrch otopné plochy. Plastifikátory však obecně nezlepšují vlastnosti mazaniny vzhledem k vedení tepla.

V našem případě byla otopná plocha dělena na dvě poloviny, kde v jedné byla na tepelnou izolaci položena termoreflexní fólie „Top Heating“ (skladba S1) a v druhé polovině hydroizolační nereflexní PE fólie (skladba S2). Skladbu podlahové otopné plochy pro experiment ukazuje Obr. 1. Termoreflexní fólie je termoizolační fólie o tloušťce 3 mm (bublinková fólie) opatřená reflexní vrstvou. Ve stavu pokládky pod vrstvou betonu se její výška snížila na 1,5 mm.

Teoretický rozbor

Při výpočtu podlahové otopné plochy se vychází z předpokladu, že střední povrchová teplota podlahy nepřekročí hygienicky přípustné hodnoty a tepelný výkon podlahové otopné plochy bude



Obr. 1 Skladba měřené podlahové otopné plochy S1 – s termoreflexní fólií; S2 – s PE nereflexní fólií



Obr. 2 Podlahová otopná plocha před betonáží vlevo – PE fólie; vpravo – termoreflexní fólie



Obr. 3 Detail upevnění otopného hadu plastovými sponami
vlevo – PE fólie; vpravo – termoreflexní fólie



Obr. 4 Postup betonáže

- a) otopná plocha s PE fólií po betonáži; u otopné plochy s termoreflexní fólií začíná betonáž,
b) otopná plocha čerstvě po betonáži,
c) zrající mazanina u otopné plochy,
d) vyzrálá mazanina před povrchovou úpravou

krýt tepelné ztráty místnosti. Hlavním výkonovým parametrem je měrný tepelný výkon q [W/m²] při fyziologicky přípustné střední povrchové teplotě podlahové plochy t_p . Za předpokladu, že po obou stranách stropu je stejná teplota $t_i = t'_i$, se střední povrchová teplota počítá ze vztahu

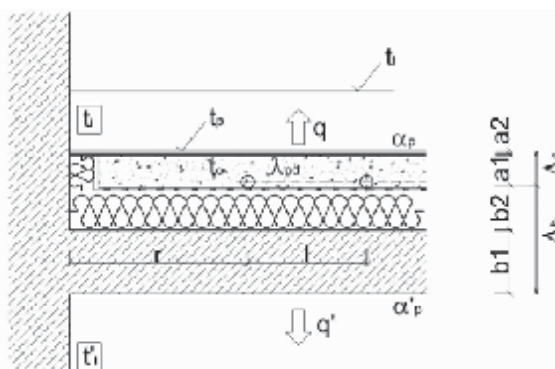
$$t_p - t_i = \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{tgh(m \cdot l/2)}{m \cdot l/2}, \quad [K]$$

- kde: t_m [°C] střední teplota otopné vody,
 t_i [°C] výpočtová vnitřní teplota,
 m [m⁻¹] charakteristické číslo podlahy,
 Λ_a [W/m².K] tepelná propustnost vrstev nad trubkami,
 α_p [W/m².K] celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy,
 l [m] rozteč trubek.

Charakteristické číslo podlahy při respektování válcového tvaru zdrojů tepla se počítá ze vztahu

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 \cdot \lambda_{pd} \cdot d}}, \quad [m^{-1}]$$

- kde: Λ_b [W/m².K] tepelná propustnost vrstev pod trubkami,
 λ_{pd} [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti materiálu, do kterého jsou zalaty trubky,
 d [m] vnější průměr trubek.



Obr. 5 Schématický náčrt podlahové otopné plochy pro výpočet

Při výpočtu tepelné propustnosti vrstvy nad trubkami

$$\Lambda_a = \frac{1}{\sum \frac{a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_p}}, \quad [W/m^2.K]$$

- kde: a [m] tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami,
 λ_a [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami, se doporučuje počítat se součinitelem přestupu tepla na povrchu otopné plochy

$$\alpha_p = \alpha_{sp} + \alpha_{kp} = 5,4 + 6,6 = 12 \text{ W/m}^2.K$$

Tepelná propustnost vrstvy pod trubkami se určí ze vztahu

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{1}{\alpha'_p}} = \frac{1}{R_{str} + \frac{1}{\alpha'_p}}, \quad [W/m^2.K]$$

- kde: R_{str} [m².K/W] tepelný odpor stropní desky,
 α'_p [W/m².K] součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné podlahy (obvykle se volí $\alpha'_p = 8 \text{ W/m}^2.K$).

Tepelná propustnost vrstvy pod rovinou trubek nám v tomto případě určuje rozhodující tepelný tok při jednotkové změně teploty, vztažený na jednotkovou plochu. Bude tedy pro náš teoretický rozbor rozhodující veličinou pro posouzení vlivu reflexní fólie.

Reflexní fólie

Při použití prosté reflexní fólie nemůže dojít ke změně tepelné propustnosti. Vlastní vedení tepla tenkou vrstvou fólie je zahrnuto v sumě $\sum b/\lambda_b$. Pokud bychom snad uvažovali o účincích reflexe (odrazivosti – vztah ke sdílení tepla sáláním), tak zde k přenosu tepla sáláním mezi jednotlivými vrstvami nemůže dojít, neboť sálání probíhá jen mezi dvěma povrchy s rozdílnými povrchovými teplotami, mezi nimiž je průteplivé prostředí (např. vzduch). Zde se mezi jednotlivými vrstvami podlahové konstrukce uplatňuje pouze fyzikální princip vedení tepla. Z celého vyplývá, že reflexní fólie nemůže změnit rozhodující veličinu pro tepelný tok směrem dolů, tj. tepelnou propustnost vrstvy pod rovinou trubek, a nedojde ani k ovlivnění tepelné propustnosti vrstvy nad rovinou trubek, tudíž ani sdíleného tepelného výkonu podlahové otopné plochy.

Termoreflexní fólie

Termoreflexní fólie může teoreticky změnit tepelnou propustnost vrstvy pod rovinou trubek díky tepelnému odporu vzduchové

mezery, a tak i tepelný tok sdílený do a pod vytápěný prostor. V definičním vztahu pro tepelnou propustnost pod rovinou trubek přibude jak vlastní tepelný odpor termofólie b_{tf}/λ_{vzduch} , tak podíl sálavé složky $1/\alpha_{ref}$ tj. tepelného toku, který není na reflexní fólii sdílen přes nepatrnou vzduchovou mezeru na protější plochu. Vztah pro tepelnou propustnost vrstvy pod rovinou trubek se změní na

$$\Lambda_b = \frac{1}{\sum \frac{b}{\lambda_b} + \frac{b_{tf}}{\lambda_{vzduch}} + \frac{1}{\alpha_{ref}} + \frac{1}{\alpha'_p}}, \quad [W/m^2.K]$$

Tloušťka termofólie je velice malá (dodáváno 3 mm, po stlačení vrstvou mazaniny 1,5 mm) ale zároveň i součinitel tepelné vodivosti vzduchu v uzavřených buňkách fólie je malý (0,026 W/m.K). To znamená, že vliv termofólie nelze teoreticky s potřebnou přesností stanovit a je nutné přistoupit k experimentu. Součinitel přestupu tepla sáláním je definován

$$\alpha_{ref} = e_1 \cdot e_2 \cdot C_0 \cdot \frac{(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4}{t_1 - t_2}, \quad [W/m^2.K]$$

kde e_1 a e_2 jsou emisivity protilehlých povrchů (reflexní fólie a betonové mazaniny) [-],

C_0 součinitel sálání absolutně černého tělesa $[W/m^2.K^4]$,

T_1 a T_2 ; t_1 a t_2 jsou termodynamické; prosté teploty protilehlých povrchů [K; °C].

Sálavá složka nebude mít rozhodující vliv, neboť rozdíl teplot na obou stranách termoreflexní fólie je téměř zanedbatelný, a to i přesto, že emisivity reflexní plochy se pohybuje okolo 0,05 a emisivity mazaniny je cca 0,88. Jinými slovy rozdíl teplot z předchozího vztahu ($T_1 - T_2$) půjde za ustáleného stavu limitně k nule. Celkový efekt tak bude přinášet především vlastní tepelné izolační schopnost termofólie. Ta má však tloušťku po stlačení mazaninou pouhých 1,5 mm. Těto nepatrné tloušťce „tepelné izolace“ bude také odpovídat účinek na vedení tepla vzduchovou mezerou směrem pod vytápěný prostor.

Při daných výchozích teplotách t_m a t_i (střední teplota vody a vnitřní výpočtová teplota) závisí střední povrchová teplota podlahové otopné plochy t_p především na rozteči trubek l . Ostatní veličiny jsou buď přibližně konstantní nebo mají na výsledek jen malý vliv. Ze základních rovnic lze sestavit pomocný diagram pro určení střední povrchové teploty. Z diagramů lze také odečíst měrný tepelný výkon otopné plochy

$$q = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \quad [W/m^2]$$

a měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů při stejných vnitřních teplotách nad otopnou plochou i pod ní

$$q' = \Lambda_b \cdot \frac{\alpha'_p}{\Lambda_a} \cdot (t_p - t_i) \quad [W/m^2]$$

Při rozdílných teplotách na obou stranách podlahy $t_i \neq t'_i$ se počítá měrný tepelný tok na spodní straně podlahy ze vztahu

$$q' = \Lambda_b \cdot \frac{\alpha'_p}{\Lambda_a} \cdot (t_p - t_i) + \Lambda_b \cdot (t_i - t'_i) \quad [W/m^2]$$

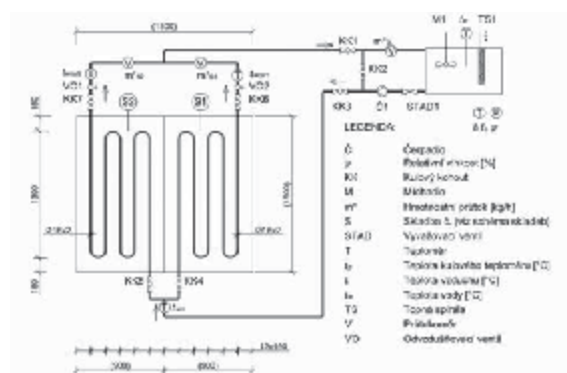
Tento tepelný tok představuje ztrátu tepla, kterou je třeba co nejvíce omezit. V případě, kdy je pod podlahou nevytápěná místnost, je nutno volit větší tepelný odpor vrstvy pod trubkami $1/\Lambda_b$ než u místností ve vyšších podlažích. Nejčastěji se požaduje, aby tepelná ztráta směrem dolů q' nebyla větší než 10 až 15 % užitečného tepelného výkonu q . Tepelný odpor vrstvy pod trubkami je třeba zvětšit na hodnotu:

$$1/\Lambda_b = 1/n \cdot (1/\Lambda_a + (t_i - t'_i)/q) \Rightarrow \Lambda_b \Rightarrow b_{izolace}, \quad [m^2.K/W]$$

kde poměr n se volí obvykle 0,05 až 0,15.

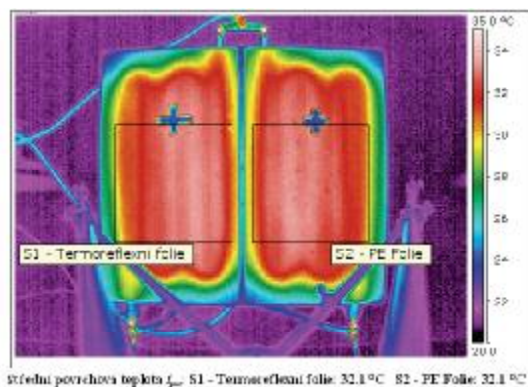
Experiment

Pro experiment jsme volili shodnou skladbu otopných ploch (Obr. 1) systému [1], kde jsme však v první polovině sledované otopné plochy použili termoreflexní fólii (TRF) a v druhé pouze PE fólii (PEF). Obě poloviny otopné plochy byly od sebe odděleny tepelnou bariérou a napájeny vodou o stejné přívodní teplotě a stejném hmotnostním průtoku. Rovněž další okrajové podmínky byly při měření vždy stejné (teplota vzduchu, výsledná teplota, relativní vlhkost), neboť obě poloviny otopné plochy byly vždy měřeny současně. Měření probíhalo v halových laboratořích Ústavu techniky prostředí na tzv. otevřeném měřicím místě, přičemž schéma měřicího stanoviště je vidět na Obr. 6.



Obr. 6 Schéma měřicího stanoviště

Současně s váhovou metodou měření tepelného výkonu obou podlahových otopných ploch na straně vody byly snímány povrchové teploty obou ploch v čase. K tomu byla využita termoviz-



Obr. 7 Termogram s vyznačenými kontrolními oblastmi v ustáleném stavu otopných ploch



ní kamera instalovaná na stativu ve snímající výšce od povrchu otopné plochy 1,9 m. Otopná plocha (obě poloviny) byla opatřena matně černým soudým nátěrem s definovanou emisivitou $\epsilon_p = 0,95$. Váženým průměrem podle jednoho pixelu jsme tak dostali střední povrchovou teplotu podlahové otopné plochy t_{pm} pro snímanou oblast (Obr. 7).

Váhová metoda měření (kalorimetrické měření) umožňuje určit celkový tepelný výkon podlahové otopné plochy přijatý z teplosné látky (vody). Rozhodujícími měřeními veličinami tak jsou teplota přiváděné vody t_{win} , teploty výstupní vody $t_{wout1,2}$ a hmotnostní průtok $\dot{m}_w$. Teploty a další veličiny měření, získané v průběhu času ukazuje Tab. 1. Výkon otopné plochy je pak dán

$$\dot{Q}_{S1} = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (t_{win} - t_{wout1}), \text{ resp. } \dot{Q}_{S2} = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (t_{win} - t_{wout2})$$

Tepelný výkon sdílený do vytápěného prostoru je dán především střední povrchovou teplotu podlahové otopné plochy t_{pm} a teplotou vzduchu t_i , jak definičně ukazuje následující vztah

$$\dot{Q}_p = \alpha_p \cdot S_p \cdot (t_{pm} - t_i)$$

Pro praktické vyhodnocení a přesnější určení výsledků je vhodnější zkušebními experimentálně stanovený vztah pro podlahovou otopnou plochu, u kterého se vyhneme nepřesnostem při stanovování součinitele přestupu tepla z kritériální rovnice a jeho rozšíření o sálání určené linearizací v daném rozsahu teplot přes součinitel přestupu tepla sáláním.

$$\dot{Q}_p = 8,92 \cdot S_p \cdot (t_{pm} - t_i)^{1,1} \quad [4].$$

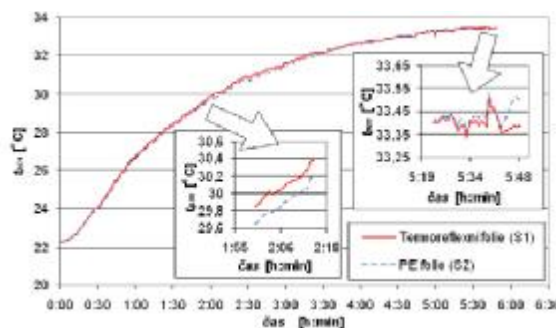
Závěr

Experiment zcela jednoznačně nepotvrdil předpokládaný teoretický vliv termoreflexní fólie. Termoreflexní fólie změnila tepelnou propustnost vrstvy pod rovinou trubek, a tak i tepelný tok sdílený především pod vytápěný prostor velmi nepatrně. V definičním vztahu pro tepelnou propustnost pod rovinou trubek se projevil vlastní tepelný odpor termofólie jako přídatná tepelná izolace v rozsahu cca 1 %. Vzduchová mezera mezi reflexní vrstvou a mazaninou nad ní neumožnila, aby se fyzikálně projevil i princip sálání s ohledem na téměř shodné teploty mezivrstev. Podíl tepelného toku sáláním na změně tepelné propustnosti přes vzduchovou mezeru je vzhledem k velice malé tloušťce termofólie, a tak i zanedbatelnému rozdílu povrchových teplot (reflexní vrstva – mazanina nad TRF) zanedbatelný.

U naší podlahové otopné plochy s termoreflexní fólií oproti podlahové otopné ploše pouze s PE fólií se úspora tepla (určova-

ná na straně vody) pohybovala v čase od cca 4 do 1 %, tj. v rámci nejistoty měření. V ustáleném stavu rozdíl vykazuje pouhé 1 %. Povrchové teploty se na změně tepelného výkonu předávaného do vytápěného prostoru neprojeví. U varianty S1 i u varianty S2 (pouze s PE fólií) byl tepelný výkon za uvedených okrajových podmínek (Tab. 1) stejný. Rozdíly v tepelných výkonech jsou tak vázány pouze na teplo přivedené do otopné plochy ve vodě a nikoli sdílené na povrchu otopné plochy směrem do vytápěného prostoru. Měrný tepelný tok, tj. i tepelný výkon sledovaných podlahových otopných ploch do vytápěného prostoru byl shodný, neboť i střední povrchová teplota obou ploch se shodovala, a to za podmínky stejné teploty vody přiváděné do obou otopných ploch. Uváděné experimentální výsledky byly dosaženy s celkovou nejistotou měření $\pm 3,5$ %.

Tepelný náběh obou podlahových otopných ploch (Obr. 8) vykazoval víceméně shodné chování. Rozdíly nejsou postřizitelné neboť se pohybují v rozsahu nejistoty měření.



Obr. 8 Dynamické chování podlahové otopné plochy – náběh v čase

LITERATURA:

- [1] EUROSISTEMY GROUP, s.r.o. TOPHEATING, Systémy podlahového vytápění [online]. Copyright © 2009–2010 [cit. 2010-04-19]. KATALOG SYSTÉMOVÉHO PŘÍSLUŠENSTVÍ TOP HEATING®. Dostupné z <http://www.topheating.cz/katalog-systemovych-prvku/>.
- [2] Bašta, J.: Otopné plochy. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2001. – 328 s. – ISBN 80-01-02365-6.
- [3] Jančík, L.; Bašta, J.: Dynamic behaviour of heating panels. 4th PhD Symposium Building Performance Simulation 2008. Praha. Květen 2008.
- [4] Bašta, J.: Regulace výkonu podlahové otopné plochy. In: VVI, 2006, roč. 15, č. 4, s. 165–168. ISSN 1210-1389.

Tab. 1 Výběr naměřených veličin u váhové metody

čas	relativní vlhkost	teplota vzduchu	teplota vody			hmotnostní průtok		výkon		rozdíl výkonů S2 – S1
			vstup	výstup S1	výstup S2	pro S1	pro S2	S1 (TRF)	S2 (PEF)	
τ	φ	t_i	t_{win}	t_{wout1}	t_{wout2}	$\dot{m}_{S1}^*$	$\dot{m}_{S2}^*$	$\dot{Q}_{S1}$	$\dot{Q}_{S2}$	ΔQ
[h:min]	[%]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[kg.h ⁻¹]	[kg.h ⁻¹]	[W]	[W]	[%]
0:03	43,0	21,4	21,0	35,4	35,2	38,22	38,61	471	485	2,83
0:36	44,0	21,4	21,0	39,4	39,2	36,20	36,56	328	340	3,47
1:52	42,8	21,5	21,2	41,6	41,4	36,87	37,24	249	260	4,29
3:12	45,5	21,8	21,2	42,6	42,6	37,88	38,26	211	214	0,99
4:22	42,0	21,8	21,2	43,0	43,0	37,88	38,26	194	196	0,99
5:42	43,0	21,9	21,2	43,2	43,2	38,22	38,61	169	171	0,99