

OPTIMALIZACE OBJEMOVÉ HMOTNOSTI POLYESTEROVÉ IZOLAČNÍ DESKY V ZÁVISLOSTI NA SOUČINITELI TEPELNÉ VODIVOSTI

OPTIMIZATION OF BULK DENSITY OF THE POLYESTER INSULATION BOARDS
ACCORDING TO COEFFICIENT OF THERMAL CONDUCTIVITY

Ing. Čermák Jan; prof. RNDr. Ing. Št'astník Stanislav, CSc.

ABSTRAKT

V tomto článku je popsána výroba izolačních desek z odpadních polyesterových vláken spojených bikomponentními vlákny. Při výrobě lze připravit požadovanou objemovou hmotnost vyrobené izolační desky dávkováním suroviny a jejím stlačením. Právě objemová hmotnost je jedním z důležitých faktorů, které ovlivňují hodnotu součinitele tepelné vodivosti izolační desky. Funkční závislost hodnoty součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti desky je popsána v experimentální části článku.

Klíčová slova: Polyesterová vlákna, součinitel tepelné vodivosti, objemová hmotnost, izolační deska.

ABSTRACT

This article describes the production of insulation boards of polyester fiber waste associated bicomponent fibers. In the production we can prepare the desired bulk density of insulation board made of raw material by dosing and the compression. Currently bulk density is one of the important factors that affects the value of the thermal conductivity of the insulation board. The functional dependence of the thermal conductivity on bulk density board is described in the experimental section.

Key words: Polyester fibers, thermal conductivity, bulk density, insulation board.

1 IZOLAČNÍ ROHOŽE Z ODPADNÍHO POLYESTERU

Odpadní polyesterová vlákna se jeví jako vhodná surovina pro výrobu nových izolačních materiálů. Původní polyesterové výrobky musí být nejprve rozvlákněny na jednotlivá vlákna a poté opětovně spojeny v soudržnou rohož. Pro spojení je využito technologie bikomponentních vláken, kdy jsou polyesterová a bikomponentní vlákna dokonale homogenizována v určitém poměru tak, aby se jejich struktura důkladně propojila. Využívá se bikomponentních vláken, které mají nízkou teplotu tání ($t_f \approx 140^\circ\text{C}$). Po rozdělení polyesterových vláken a jejich dokonalé homogenizaci s vlákny polyesterovými dochází k nanesení ve vrstvách na speciálně upravený rošt, který má takovou síťových otvorů, aby jím nanesená vlákna nemohla propadávat a mohl jím prostupovat horký vzduch. Právě pomocí horkého vzduchu o teplotě asi 140°C dochází ke spojení struktury bikomponentních a polyesterových vláken, kdy se bikomponentní vlákna nataví a tím se vytváří soudržná prostorová struktura rohože. Objemovou hmotnost vyráběných rohoží lze řídit množstvím nanesené směsi vláken na rošt a jejich stlačením na požadovanou tloušťku.

Polymer esteru vzniká chemickou reakcí (polykondenzací) ze dvou vstupních komponent, ze kterých je vyroben polykondenzát, který se zvláknuje z taveniny do šachty, následně dlouží, popřípadě sdužuje do kabelu, který se dále řeže na stříž nebo trhá na trhanec. Vznikají různé jemná, profilovaná,

popřípadě bikomponentní vlákna. Polyester vytváří ve srovnání s polyamidem relativně tuhá vlákna. Používá se ve směsích s bavlnou, vlnou a stříží do mykaných a česaných přízí. [1]



Obr. 1 Vzhled izolační rohože vyrobené ze směsi polyesterových a bikomponentních vláken.

1.1 Popis experimentu

Cílem experimentu bylo optimalizovat objemovou hmotnost izolační desky z polyesterových vláken tak, aby výsledná deska měla nejmenší možný součinitel tepelné vodivosti λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]. Dále byl proveden experiment, ve kterém byl zkoumán vliv vložení hliníkové fólie do struktury desky na součinitel tepelné vodivosti λ . Hliníková fólie (nadále označovaná Al fólie) má díky svému složení a barvě zcela odstranit nebo omezit přenos tepla sáláním v izolační desce a pomoci ke zmenšení hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ izolace. Tepelná vodivost λ byla měřena na deskovém stacionárním přístroji HOLOMETRIX 300 postupem podle [2].

Měření bylo rozděleno do tří etap:

1. Měření PES izolačních rohoží s různou objemovou hmotností bez Al fólie,
2. měření PES izolačních rohoží s různou objemovou hmotností s jednou Al fólií vloženou uprostřed rohože,
3. měření PES izolačních rohoží s různou objemovou hmotností se dvěma Al fóliemi umístěnými v 1/3 a ve 2/3 tloušťky rohože (viz obrázek 2).



Obr. 2 Vzhled izolační rohože s vloženými dvěma Al fóliemi v 1/3 a ve 2/3 tloušťky rohože.

1.2 Naměřené a vypočtené hodnoty

Všechny naměřené a vypočtené hodnoty byly zaznamenány přehledně do tabulek a grafů.

1.2.1 Naměřené hodnoty

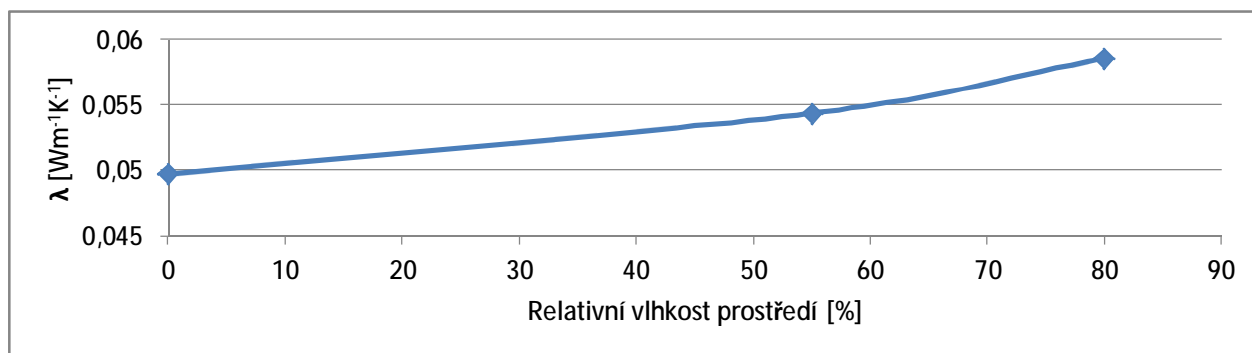
Vzorek 1	$d = 100 \text{ mm}$	$\varphi \lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Uspořádání vzorku
	$m = 168,660 \text{ g}$	0,0544	PES
	$V = 0,009 \text{ m}^3$	0,0455	PES+Al
	$\rho_d = 19 \text{ kg/m}^3$	0,0495	PES+2xAl
Vzorek 2	$d = 90 \text{ mm}$	$\varphi \lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Uspořádání vzorku
	$m = 168,660 \text{ g}$	0,0499	PES
	$V = 0,008 \text{ m}^3$	0,0446	PES+Al
	$\rho_d = 21 \text{ kg/m}^3$	0,0466	PES+2xAl
Vzorek 3	$d = 80 \text{ mm}$	$\varphi \lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Uspořádání vzorku
	$m = 168,660 \text{ g}$	0,0456	PES
	$V = 0,007 \text{ m}^3$	0,0432	PES+Al
	$\rho_d = 23 \text{ kg/m}^3$	0,0442	PES+2xAl
Vzorek 4	$d = 75 \text{ mm}$	$\varphi \lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Uspořádání vzorku
	$m = 168,660 \text{ g}$	0,0438	PES
	$V = 0,007 \text{ m}^3$	0,0420	PES+Al
	$\rho_d = 25 \text{ kg/m}^3$	0,0423	PES+2xAl
Vzorek 5	$d = 65 \text{ mm}$	$\varphi \lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Uspořádání vzorku
	$m = 168,660 \text{ g}$	0,0410	PES
	$V = 0,006 \text{ m}^3$	0,0402	PES+Al
	$\rho_d = 29 \text{ kg/m}^3$	0,0398	PES+2xAl
Vzorek 6	$d = 50 \text{ mm}$	$\varphi \lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Uspořádání vzorku
	$m = 168,660 \text{ g}$	0,0379	PES
	$V = 0,005 \text{ m}^3$	0,0383	PES+Al
	$\rho_d = 37 \text{ kg/m}^3$	0,0388	PES+2xAl
Vzorek 7	$d = 80 \text{ mm}$	$\varphi \lambda [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$	Uspořádání vzorku
	$m = 316,800 \text{ g}$	0,0395	PES
	$V = 0,007 \text{ m}^3$	0,0398	PES+Al
	$\rho_d = 44 \text{ kg/m}^3$	0,0401	PES+2xAl

Tab. 1-7 Přehled hodnot součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na objemové hmotnosti r_d .

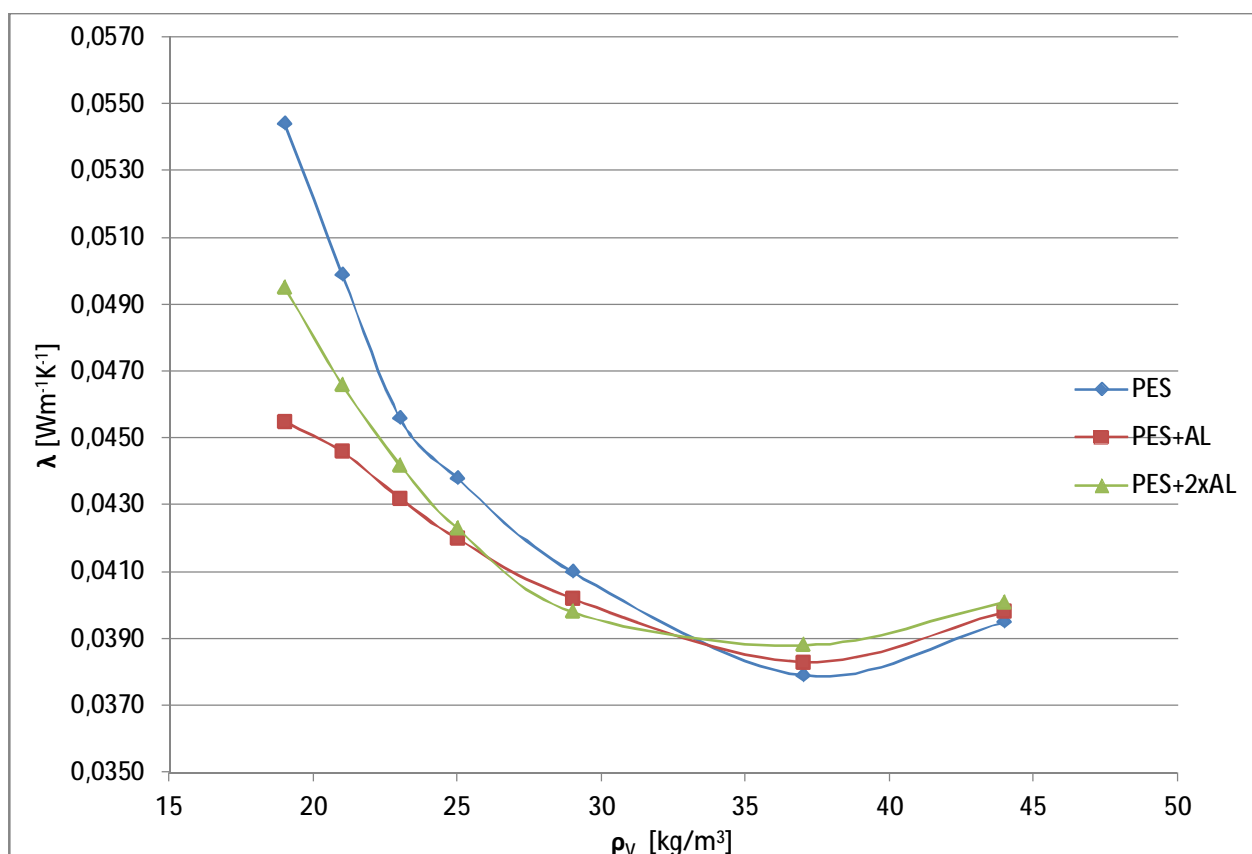
Relativní vlhkost prostředí j [%]	0	55	80
λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	0,0498	0,0544	0,0586

Tab. 8 Vliv relativní vlhkosti prostředí j na hodnotu součinitele tepelné vodivosti izolační rohože λ .

Měření bylo provedeno na vzorku polyesterové izolační rohože o tloušťce $d = 100$ mm ve vysušeném stavu, dále na tzv. vzduchosuchém vzorku dlouhodobě uloženém v laboratorním prostředí a také na vzorku, který byl kondicionován v klimatické komoře o teplotě 23°C a relativní vlhkosti 80 %.



Graf 1 Závislost relativní vlhkosti okolního prostředí j na hodnotě součinitele tepelné vodivosti λ .



Graf 2 Průběh hodnot součinitele tepelné vodivosti λ v závislosti na objemové hmotnosti izolační desky ρ_v .

1.3 Vypočtené hodnoty

Pro potřebu zjištění optimální objemové hmotnosti polyesterové rohože byla provedena aproximace naměřených hodnot metodou nejmenších čtverců. Tímto postupem byl vyčíslen polynom $g(x)$, který těsně aproximuje měřené hodnoty. Pomocí polynomické funkce $g(x)$ byla vyčíslena hodnota součinitele tepelné vodivosti pro objemové hmotnosti rohoží v rozmezí 20 až 49 kg/m³.

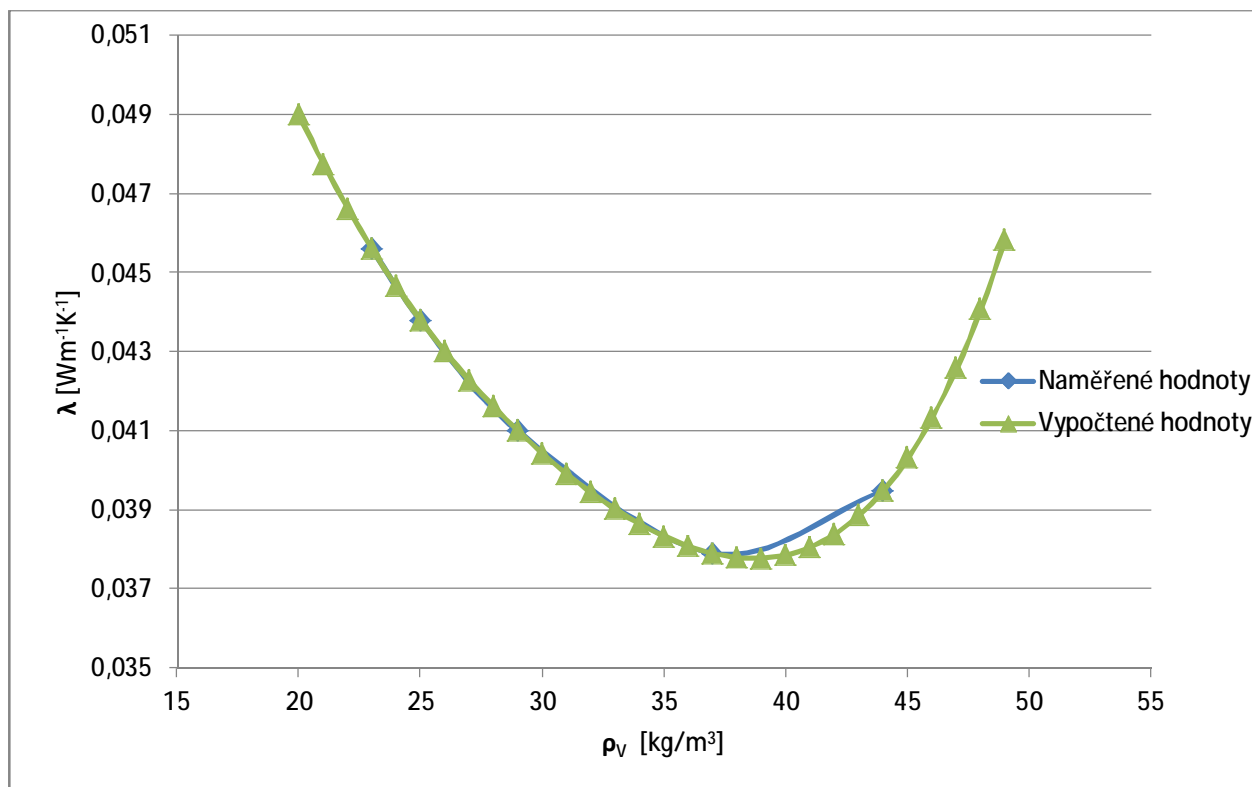
$g(x)=ax^4+bx^3+cx^2+dx+e$			
x	$f(x)$	$g(x)$	$(f(x)-g(x))^2$
23	0,0456	0,0456	$3,99699 \cdot 10^{-19}$
25	0,0438	0,0438	$1,38878 \cdot 10^{-18}$
29	0,041	0,0410	$4,82801 \cdot 10^{-19}$
37	0,0379	0,0379	$3,43914 \cdot 10^{-20}$
44	0,0395	0,0395	$1,47659 \cdot 10^{-21}$
$L_{min} =$			$2,30715 \cdot 10^{-18}$

Tab. 9 Vyčíslení funkce $g(x)$ a odchylky naměřených a aproximovaných hodnot $(f(x)-g(x))^2$.

Poznámka: Hodnota x zobrazuje objemovou hmotnost ρ_v , hodnota $f(x)$ zobrazuje naměřené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ , hodnota $g(x)$ zobrazuje vypočtené hodnoty součinitele tepelné vodivosti λ , hodnota $(f(x)-g(x))^2$ zobrazuje odchylku naměřených a aproximovaných hodnot.

$$g(x) = 6,25 \cdot 10^{-8} x^4 - 7,64 \cdot 10^{-6} x^3 + 3,74 \cdot 10^{-4} x^2 - 9,11 \cdot 10^{-3} x + 0,133$$

Tab. 10 Tvar aproximační funkce $g(x)$ závislosti součinitele tepelné vodivosti λ na objemové hmotnosti r .



Graf 3 Průběh závislosti součinitele tepelné vodivosti λ podle aproximace (metodou nejmenších čtverců) vůči experimentálním hodnotám.

1.4 Závěr

V provedeném experimentu byl sledován vliv objemové hmotnosti polyesterové izolační rohože na hodnotě součinitele tepelné vodivosti λ . Dále byl zjištěn vliv vložení jedné, respektive dvou vrstev hliníkové fólie do izolační rohože. Výsledky experimentu jsou seřazeny v tabulkách 1÷7 a v grafu 2. Z naměřených hodnot vyplývá poznatek, že hodnoty součinitele tepelné vodivosti závisí na objemové hmotnosti ρ_v . Tento experiment ověřuje vlastnosti izolačních rohoží s objemovou hmotností v rozmezí $19 \div 44 \text{ kg/m}^3$. Z grafu 2 je patrné, že hodnota součinitele tepelné vodivosti s rostoucí objemovou hmotností nejprve klesá a od hodnoty objemové hmotnosti 37 kg/m^3 se nadále zvyšuje. Cílem tohoto experimentu bylo prokázat optimální objemovou hmotnost s nejnižší možnou hodnotou součinitele tepelné vodivosti I .

Vliv vložených Al fólií je nejvíce patrný při nízkých objemových hmotnostech zkoumaného materiálu. U izolačních rohoží s nižší objemovou hmotností do 30 kg/m^3 dochází účinkem velmi lehké struktury k přenosu tepla prouděním, proto je po vložení Al fólie hodnota součinitele tepelné vodivosti λ nižší. Dochází tak k rozdělení desky pro vzduch nepropustnou fólií a tak nedochází k přenosu tepla prouděním v celé tloušťce desky, ale pouze v jednotlivých částech rozdělených Al fólií. Při vyšších objemových hmotnostech izolační rohože je vliv Al fólií nízký. Z toho lze usoudit, že daný materiál je nepropustný pro infračervené záření, proto v něm nedochází k přenosu tepla sáláním. Naopak vliv Al fólie je od hodnoty objemové hmotnosti 37 kg/m^3 nepřináší zlepšení, což je patrně způsobeno narušením struktury izolační desky a přerušením její celistvosti. Z uvedených výsledků lze prokázat, že vložení Al fólie do izolační desky nezlepšuje její hodnotu součinitele tepelné vodivosti při vyšších objemových hmotnostech.

Nejpříznivější hodnotu součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,379 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ projevuje vzorek bez vložené fólie s objemovou hmotností 37 kg/m^3 . Dále s rostoucí objemovou hmotností se zvyšuje i hodnota součinitele tepelné vodivosti. V tomto experimentu tedy byla stanovena optimální objemová hmotnost izolační rohože z polyesterových vláken 37 kg/m^3 . Dále se ukazuje, že vliv vložených Al fólií se projevuje jako zanedbatelný, u optimální objemové hmotnosti dokonce jako nepříznivý.

Vyhledáním extrému aproximační funkce se ukazuje, že optimální objemová hmotnost polyesterové rohože činí 39 kg/m^3 , kdy je hodnota součinitele tepelné vodivosti nejnižší - $\lambda = 0,3778 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Odchylka aproximované funkce od naměřených hodnot se pohybuje v řádech 10^{-21} až 10^{-18} . Lze zjistit, že je odchylka zanedbatelná a vypočtené hodnoty odpovídají reálným hodnotám naměřeným. Výpočet byl proveden pouze u vzorku PES bez vložených Al fólií, protože u tohoto vzorku byla naměřena nejmenší hodnota součinitele tepelné vodivosti.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory projektu specifického výzkumu VUT Brno s označením FAST-J-15-2797.

Použitá literatura

- [1] Polyesterová vlákna. *Škola textilu* [online]. [cit. 2015-10-27]. Dostupné z: <http://www.skolertextilu.cz/elearning/467/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Polyesterova-vlakna.html>.
- [2] ČSN 72 7306:1995 - *Stanovení součinitele tepelné vodivosti stavebních materiálů a výrobků*. Praha: ÚNMZ, 1995, 18177.