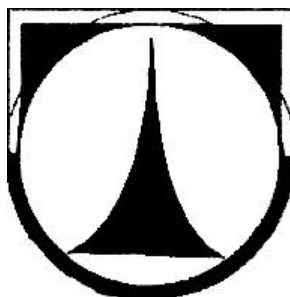


Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Bc. Dana Rambousková

„Transparentní tepelně-izolační záclony“



Diplomová práce

2009-2010

Ev. č. DP : 542 D

Technická univerzita v Liberci

Fakulta textilní

Katedra textilních materiálů

Jméno a příjmení : Dana Rambousková T 07000051

Studijní program : N3106 Textilní inženýrství

Studijní obor : Textilní materiálové inženýrství

Obor: Řízení jakosti

Název bakalářské práce :

„Transparentní tepelně-izolační záclony“

„ Transparent thermal insulating drape“

Ev. č. DP : 542 D

Vedoucí diplomové práce: Prof.Ing. Luboš Hes DrSc.

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 71

Počet tabulek : 17

Počet grafů : 9

Počet obrázků : 30

Počet příloh : 12

Počet stran příloh : 5

.

Místopřísežné prohlášení

„ Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně s pomocí pouze literatury níže uvedené.“

V Liberci dne 4. 1. 2010

Podpis:.....

Prohlášení o využití výsledků diplomové práce

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon
č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60.

Beru na vědomí, že svou diplomovou práci si mohu vyzvednout v Univerzitní
knihovně Technické univerzity v Liberci po uplynutí pěti let od obhajoby.

Jméno a příjmení : Dana Rambousková

Adresa : Rádlo 42, 46803

Podpis :

Poděkování

Chtěla bych touto cestou poděkovat panu Prof. Ing. Hesovi, DrSc. za některé informace při řešení dané problematiky a vytvoření podmínek pro zpracování této práce. Také bych chtěla poděkovat svým rodičům za svoji existenci. Dále pak katedře KOD za umožnění práce na přístrojích pro nekonvenční spojování, zvláště Ing. Bc. Kataríně Zelové, za její odborný výklad, praktickou ukázkou a pomoc při sváření ultrazvukem.

V Liberci dne 4. 1. 2010

.....

Anotace :

Diplomová práce je zaměřena na vyvinutí nového produktu v oblasti tepelných izolací oken. Tepelně izolační vlastnosti nově nalezeného typu materiálu jsou porovnány s materiály, které již na trhu existují.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí, na teoretickou a praktickou. V teoretické části jsou popsány tepelně-izolační vlastnosti a schopnosti materiálů, vzorce pro výpočty přenosu tepla a tepelných ztrát. V praktické části jsou zmíněny přístroje měřící tepelné vlastnosti, teoretické předpoklady a výpočty, výroba nových záclon, testování různých typů záclon na různých přístrojích a vlastní experiment.

Závěr je věnován vyhodnocení a porovnání výsledků měření záclon, včetně porovnání matematických modelů s výsledky v praxi.

- transparentní tepelně-izolační záclony, tepelná izolace oken, izolační fólie, součinitel přestupu tepla, tepelné ztráty, tepelný odpor, tepelná vodivost

Annotation :

This diploma thesis is based on development a new product in area of windows heat insulation. The thermal insulating characteristics of newly developed material types are compared with materials, that already exist on the world market.

Thesis is divided in two parts, a theoretic one and an experimental one. The material thermal insulating characteristics and capabilities, formulas for heat transfer coefficients and heat loss calculation experimental part. The measuring methods and instruments of a heat properties, theoretical assumptions and mathematical calculations, production of new drape, testing of different types of drape and author's experiment are described in the practical part.

The conclusion of the thesis is devoted to comparison of all tests of different drape and comparison of mathematical models with experimental results.

- transparent thermal insulating drape, thermal insulation windows, insulation foil, heat transfer coefficient, heat loss, thermal resistance, thermal conductivity.

Obsah

Úvod	9
Cíl diplomové práce	10
Seznam použitých symbolů, jednotek a zkratek	11
Teoretická část	13
1. Sdílení tepla	13
1.1 Přenos tepla	13
1.2 Přenos tepla vedením	14
1.2.1 Měrná tepelná vodivost	14
1.2.2 Vedení tepla	15
1.2.3 Ustálené vedení tepla	15
1.2.4 Neustálené vedení tepla	17
1.3 Konvekce neboli přenos tepla prouděním	19
1.3.1 Součinitele přestupu tepla, určení podle teorie podobnosti	20
1.3.2 Přestup tepla - přirozené proudění v neomezeném prostoru	21
1.3.3 Přestup tepla při volném proudění v omezeném prostoru	22
1.4 Sálání (záření, radiace)	23
1.5 Prostup tepla	25
1.5.1 Tepelný odpor	25
2. Tepelné ztráty budov a výpočet tepelné bilance místnosti	29
Praktická část	31
3. Výroba transparentních záclon	31
3.1 Úvahy a požadavky	31
3.2 Příklad tepelně-izolační jednoduché fólie na okna a skla	32
3.3 Hledání vhodné výroby prototypů nových tepelně-izolačních záclon	34
3.3.1 Požadavky kladené na materiál pro výrobu záclon	34
3.3.2 Požadavky kladené na výrobek	35
3.4 Použitá technologie výroby	36
3.5 Srovnání jednotlivých typů a tvarů termo-izolačních fólií	38
4. Měřicí zařízení a přístroje termo-izolačních vlastností jednotlivých typů fólií	41

4.1	Alambeta	41
4.2	Vertikální přístroj - Skin model	44
4.3	Válcový ("kulový") teploměr	45
5.	Výsledky měření na přístroji Alambeta	46
6.	Výsledky a předpoklady - Skin model	51
6.1	Model pro výpočet odporů a tepelného toku na Skin modelu	51
6.2	Výsledky testů na Skin modelu	52
7.	Vlastní experiment	54
7.1	Výpočet prostupu tepla stěnou	54
7.2	Teoretický předpoklad výsledků pro prostup tepla vícevrstvou stěnou	56
7.3	Teoretický předpoklad tepelných ztrát pro danou místnost budovy	58
7.3.1	Výpočet tepelných ztrát pro danou místnost s nezakrytým oknem	58
7.3.2	Výpočet tepelných ztrát místnosti s oknem s tunýlkovou izolační fólií	60
7.4	Výsledky experimentálního měření v dané místnosti.....	61
	Závěr	63
	Seznam použité literatury	66
	Přílohy	67

Úvod

Ceny energií mají v současnosti rychle stoupající tendenci vysoko až k nebesům. Podstatnou část našich výdajů za bydlení tvoří především ceny energií, přičemž z výdajů na energii má největší podíl cena za teplo. Každý člověk dnes a denně přemýšlí o tom, jak nejefektivněji ušetřit na snížení spotřeby tepelné energie a snížení "tepelných ztrát" objektů. Jedním z podstatných kritérií výběru staveb je schopnost tepelné izolace. Stále více v centru pozornosti je zateplování staveb a zvyšování tepelně-izolačních schopností materiálů použitých pro výstavbu objektů.

Technologie staveb a kvalita některých materiálů se každoročně zlepšují (tepelně-izolační vlastnosti zdiva, střech, omítek, rámců oken a jejich těsnění atd.). Nyní je možné se dočíst, že ztráta sklem okna bývá až okolo 50% z celkových ztrát tepla objektu.

Tato diplomová práce je zaměřena na vyvinutí nového produktu v oblasti tepelných izolací oken. Termo-izolační schopnosti nově nalezeného typu materiálu je nutné porovnat s materiály, které jsou v posledních letech vyhledávaným a žádaným dostupným artiklem na trhu, a přitom zdaleka nedosahují takových výsledků v tepelné izolaci jako nově vyvinutý typ s dutými izolačními prostory.

Nové tunýlkové fólie by se mohly jednou začít používat místo záclon, vnitřních žaluzií nebo jednoduchých okenních fólií jako cenově dostupná izolace oken, aniž bychom museli měnit stará špaletová okna a kupovat nová drahá plastová (*super izolační 5-ti a více komorová, nejlépe 50-ti komorová,..*). Stačilo by plastová okna vyměnit postupem času, až bude na koupi dostatek finančních prostředků. Nejen do té doby by se mohlo využít tepelně-izolačních schopností nového typu transparentních záclon - tunýlkových fólií.

Čím vyšší tepelná celková izolace budov, tím vyšší energetické úspory a snížení nákladů na vytápění objektů.

Cíl diplomové práce

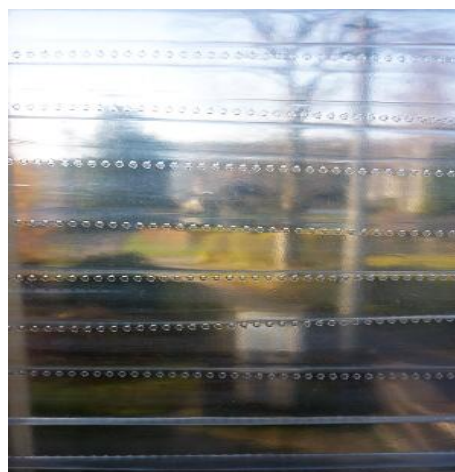
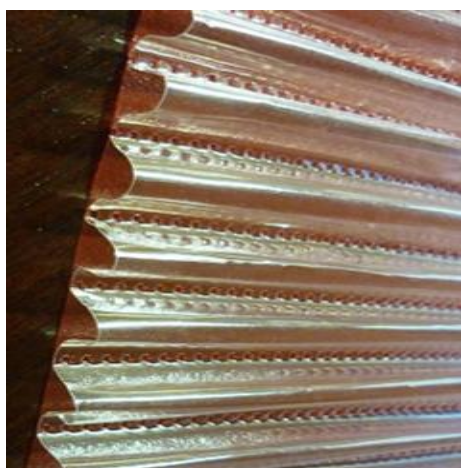
Cílem této diplomové práce bylo vytvořit nový produkt, který by zajistil zvýšení energetických úspor snížením tepelných ztrát okny, nalézt dostupnou variantu produktu s danými vlastnostmi i pro tu část obyvatelstva a firem, která si výměnu všech oken nemůže z finančního hlediska dovolit.

Bylo důležité najít nebo vytvořit materiál, který by lépe tepelně izoloval, než běžné záclony, zachovalo se prosvětlení místností přitom s určitá neprůhlednost dovnitř objektu a zároveň možnost prostupu sluneční energie pro její tepelné využití *"zdarma"*.

Při hledání nových materiálů nebo polotovarů, z nichž by se daný produkt mohl vyrábět, je nutné přihlídnout k cenové relaci, dostupné výrobní technologii a splnění všech požadovaných tepelných vlastností.



Současná špaletová okna s textilní klasickou záclonou



Budoucnost tepelné izolace ve foliích s dutými prostory

Seznam použitých symbolů, jednotek a zkratek

q	tepelný tok	$[\text{Wm}^{-2}], [\text{Js}^{-1}\text{m}^{-2}]$
λ	měrná tepelná vodivost	$[\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$
R, r	plošný odpor vedení tepla	$[\text{W}^{-1}\text{Km}^2]$
α	součinitel přestupu tepla	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
k	součinitel prostupu tepla	$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$
c	měrná tepelná kapacita	$[\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}]$
h	tloušťka materiálu	$[\text{m}]$
a	měrná teplotní vodivost	$[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$
p	poměr maximálního a ustáleného tepelného toku	$[1]$
b	tepelná jímavost	$[\text{Wm}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}]$
S	plocha	$[\text{m}^2]$
ρ	objemová hmotnost (hustota materiálu)	$[\text{kgm}^{-3}]$
θ, grad	gradient teploty	$[\text{°Cm}^{-1}]$
l	charakteristický geometrický rozměr respektující zkoumaný jev	$[\text{m}]$
ν	kinematická viskozita	$[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$
C, m	konstanty tvaru tělesa a jeho polohy v prostoru	
β	součinitel objemové roztažnosti	$[\text{K}^{-1}]$
g	tíhové zrychlení	$[\text{ms}^{-2}]$
τ	čas	$[\text{s}]$
T, t	teplota	$[\text{K}]$
Q	teplo	$[\text{J}]$
	Bezrozměrná podobnostní čísla:	
Nu	Nusseltovo číslo	$[1]$
Pr	Prandtlovo číslo	$[1]$
Gr	Grashoffovo číslo	$[1]$
Ra	Rayleighovo číslo	$[1]$

	Statistické charakteristiky polohy a rozptylové charakteristiky :	
$\bar{x}$	výběrový průměr $\bar{x} = \Sigma x_i/n$	
s^2	výběrový rozptyl $s^2 = \Sigma (x_i - \bar{x})^2/n-1$	
v	výběrový variační koeficient $v = s/x \cdot 100$	[%]
s	směrodatná odchylka $s = \sqrt{s^2}$	
L_D, L_H	meze intervalu spolehlivosti $L_{D,H} = \bar{x} \pm t_{\alpha(n-1)} \cdot s/\sqrt{n}$	
Jednotky:	Název:	Veličina:
K	Kelvin (Kelvinova stupnice) 0 K = -273,15 °C	teplota
°C	stupeň Celsia (Celsiova stupnice)	teplota
kg	Kilogram	váha
m	Metr	délka
W	Watt $W = J/s = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$	výkon
J	Joule $J = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$	teplo
	Význam dolních indexů:	
• i	dolní index i znamená, že se jedná o vnitřní prostředí	
• e	jedná se o vnější prostředí	
• BEZ	bez použití tepelné izolace, např. okno bez záclon	
• mv	týkající se: mezní vrstvy	
• vzd	vzduchové mezery	
• tnl	tepelně-izolační fólie tunýlkového typu	
• OK	týkající se : okna	
• IR	jednoduché fólie IR typu	
• $zácl$	běžných textilních záclon	
• sam	černého bavlněného sametu	
• TOT	totální	
• c_{celk}	celkový	

Teoretická část

1. Sdílení tepla

1.1 Teplo

Sdílení tepla lze vysvětlit jako předávání vnitřní energie, kterou vymění systém (přijme nebo odevzdá) při styku s jiným systémem. Teplo je fyzikální veličinou popisující změnu termodynamického stavu systému, nikoli stav samotný. Teplo popisuje procesy, v nichž se odehrávají srážky jednotlivých částic, které přímo nelze sledovat ani měřit.

Teplo se předává třemi základními způsoby a to vedením, sáláním nebo prouděním. Proudění tepla ovlivňuje cirkulace vzduchu, tedy tvar a rozměry dutých částí (samovolné proudění), případně vítr apod. Vyzařování neboli sálání tepla je závislé na vlastnostech povrchu sálavého tělesa. V běžné praxi se jedná vždy o kombinaci všech tří způsobů, kterou popisuje naměřený celkový součinitel prostupu tepla k . Tepelné ztráty jsou pak násobkem jeho hodnoty, plochy okna ve čtverečních metrech a rozdílu teplot uvnitř a vně budovy. Protože součinitel prostupu tepla všech typů oken bývá vyšší než obvodových stěn, má uváděná hodnota k (neboli U) velký význam pro celkovou energetickou bilanci budovy, a tak i pro finanční ztráty.

Množství tepla, které projde za čas τ plochou S z látky o teplotě t_1 do stěny o teplotě t_2 je možné vyjádřit vztahem:

$$Q = k \cdot S \cdot \tau \cdot (t_1 - t_2) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Teplo popisuje změnu stavu tělesa, teplota popisuje stav tělesa. Znaménko hodnoty tepla informuje o faktu, zda se jedná o teplo přijaté nebo vydané.

Na rozhraní plynu (kapaliny) a pevné látky se vytváří tzv. mezní vrstva, v níž dochází k prudké změně teploty, tzv. teplotnímu skoku.

1.2 Přenos tepla vedením

1.2.1 Měrná tepelná vodivost

Měrná tepelná vodivost λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$] je vlastnost materiálu závisující na jeho teplotě i na jeho vlhkosti, tvaru a čistotě. Součinitel λ představuje množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času a vytvoří rozdíl teplot 1K. S rostoucí teplotou teplotní vodivost klesá.

Materiály, které mají vysokou hodnotu λ se označují jako vodiče, materiály s nízkou hodnotou λ jako izolátory. Např. vysoce izolační materiály mají $\lambda=0,03$ až $0,12$ s měrnou hmotností $\rho=150$ až 400 , normální stavební materiály mají $\lambda=0,7$ až $1,45$ s $\rho=1400$ až 2400 , velmi hutné izotropní materiály $\lambda>4$.

Se zvýšením teploty nebo vlhkosti součinitel tepelné vodivosti vzrůstá. Se zvýšením objemové vlhkosti např. na 10% se λ zvýší na dvojnásobek než ve stavu za sucha. Vlhkost v ustáleném stavu závisí i na relativní vlhkosti vzduchu, která bude různá u stěn místností vytápěných trvale nebo jen někdy. [5]

Materiál:	t [°C]	λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	h[m]→ 0,01 R ↓	0,05	0,1
kovy - měď	20	384	0,000026	0,00013	0,00026
kovy - bronz	20	65	0,000154	0,0078	0,00154
kámen - žula		3,3	0,003	0,015	0,03
kámen - břidlice		2	0,005	0,025	0,05
cihla plná	20	0,3	0,0333	0,167	0,333
voda	20	0,192	0,052	0,26	0,52
dřevo - jedle	20	0,14	0,0714	0,357	0,714
tunýlková fólie	20	0,0604	0,166	0,83	
polystyren	20	0,05	0,2	1	2
minerální vata	0	0,03	0,333	0,167	3,33
vzduch	0	0,024	0,4167	0,284	4,167

Tab.1.2.1 Srovnání tepelného odporu některých materiálů (uvedené hodnoty jsou přibližné) [7]

1.2.2 Vedení tepla

Vedení tepla je materiálovou vlastností závisající na nárazech molekul na sebe. [10]
Částice se přitom nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

Vedení tepla je nejčastější způsob šíření tepla v pevných tělesech, jejichž různé části mají různé teploty. Teplo se vedením šíří také v kapalinách a plynech, kde se však uplatňuje také přenos tepla prouděním.

Rychlost vedení tepla určuje tzv. tepelnou vodivost. Můžeme porovnat látky podle jejich tepelné vodivosti a rozdělit je na:

vodiče - látky s vysokou rychlostí vedení tepla a velkou tepelnou vodivostí,

např. měď $\lambda=384 \text{ [W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$, ocel $\lambda\approx 50$,

izolátory - látky s nízkou rychlostí vedení tepla a nízkou tepelnou vodivostí,

např. vzduch $\lambda\approx 0,026$ a skelná vata $\lambda\approx 0,034$.

Vedení tepla lze rozdělit na:

- ustálené vedení tepla (stacionární děj) - teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa se v čase nemění,
- neustálené vedení tepla (nestacionární děj) - teplotní rozdíly mezi jednotlivými částmi tělesa, mezi nimiž se teplo přenáší, se postupně vyrovnávají.

1.2.3 Ustálené vedení tepla

Ustálené vedení tepla lze demonstrovat např. na stěně o tloušťce h , jejíž jedna strana je udržována na teplotě t_1 a druhá na teplotě t_2 . Teplotní rozdíl $t_2 - t_1$ je tedy stálý, teplota klesá rovnoměrně od teplejší strany k chladnější. Teplo procházející plochou určuje tzv. tepelný tok. Jako hustota tepelného toku q se označuje množství tepla Q , které projde stěnou o ploše S za čas τ .

$$Q = q \cdot S \cdot \tau = \frac{\Delta t}{R} \cdot S \cdot \tau \quad (2)$$

Teplotní spád (gradient) pro jednorozměrný případ

$$\text{grad } t = \frac{t_2 - t_1}{h} \quad [\text{Km}^{-1}] \quad (3).$$

Vztah pro hustotu tepelného toku můžeme tedy přepsat

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \text{grad } t = -\frac{\Delta t}{h} \cdot \lambda \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (4).$$

Z tohoto vztahu je vidět, že průběh teploty v rovinné desce je při ustáleném proudění tepla lineární. Předchozí vztahy lze využít při řešení problému průchodu tepla rozhraním.

Fouriérův zákon sdílení tepla vedením:

$$\dot{Q} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dt}{dh} \cdot \tau \quad [\text{W}] \quad (5)$$

Pokud se objekt (stěna), kterým teplo prostupuje skládá z více vrstev o různé tepelné vodivosti λ a tloušťce h pro n -tou vrstvu, pak v ustáleném stavu musí být hustota tepelného toku ve všech vrstvách stejná, tzn.

$$\dot{q} = \lambda_1 \frac{t_1 - t_2}{h_1} = \lambda_2 \frac{t_2 - t_3}{h_2} = \dots = \lambda_n \frac{t_n - t_{n+1}}{h_n} \quad (6)$$

Hustotu tepelného toku takovou stěnou lze tedy vyjádřit jako

$$\dot{q} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{k=1}^n \frac{h_k}{\lambda_k}} \quad (7)$$

1.2.4 Neustálené vedení tepla

Při neustáleném vedení tepla dochází ke změně teplot v jednotlivých částech tělesa. Uvažujme případ vedení tepla stěnou, které nastane při náhlém zvýšení teploty na jedné ze stran stěny. Pokud stěnu rozdělíme na vrstvy o tloušťce dx , nebude hustota tepelného toku ve všech vrstvách stejná jako při ustáleném vedení tepla. Důvodem je, že část tepla, které do vrstvy vstoupí se spotřebuje na ohřátí vrstvy. O tuto část tepla je pak tok v následující vrstvě ochuzen.

Nechť tedy do vrstvy o tloušťce dx a ploše S vstoupí za čas τ teplo $Q_1 = q_1 \cdot S \cdot \tau$ a ze stejné vrstvy vystoupí za stejný čas teplo $Q_2 = q_2 \cdot S \cdot \tau$, kde $q_{1,2}$ jsou hustoty tepelného toku na vstupní a výstupní ploše. Teplota vrstvy se tedy zvýší o teplo, které je rozdílem těchto tepel, tzn.

$$Q_1 - Q_2 = (q_1 - q_2) \cdot S \cdot \tau = -\Delta q S \tau \quad (8)$$

Pokud je měrná tepelná kapacita vrstvy c a její hmotnost $m = \rho \cdot S \cdot dx$, kde ρ je měrná hmotnost vrstvy, pak platí:

$$Q_1 - Q_2 = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (9)$$

Z předchozích vztahů pak dostaneme

$$-q \cdot S \cdot \tau = c \cdot \Delta t \cdot \rho \cdot S \cdot dx \quad (10)$$

$$\text{Derivací vztahu } q = -\lambda \frac{dt}{dx} \text{ získáme } \frac{\partial q}{\partial x} = -\lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (11)$$

Pro časovou změnu střední teploty vrstvy dostaneme z těchto vztahů (v limitě pro $\Delta x \rightarrow 0$ a $\Delta \tau \rightarrow 0$ získáme jednorozměrnou diferenciální rovnici vedení tepla.

Tuto rovnici lze jednoduše zobecnit na trojrozměrný případ

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (12)$$

Matematická formulace nestacionárního vedení tepla umožňuje obecné vyjádření diferenciální rovnice vedení tepla. Jedná se o pravděpodobně nejznámější příklad parciální diferenciální rovnice parabolického typu, která je označovaná jako rovnice vedení tepla.

V obecném vyjádření se zapisuje jako

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2} + f(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (13)$$

Tato rovnice popisuje vedení tepla v n -rozměrném prostoru s časem t .

Ve speciálním případě pro $n = 3$ dostaneme

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + f(x, y, z, t) \quad (14)$$

Pokud v rovnici vedení tepla platí $f = 0$, pak dostaneme homogenní rovnici vedení tepla.

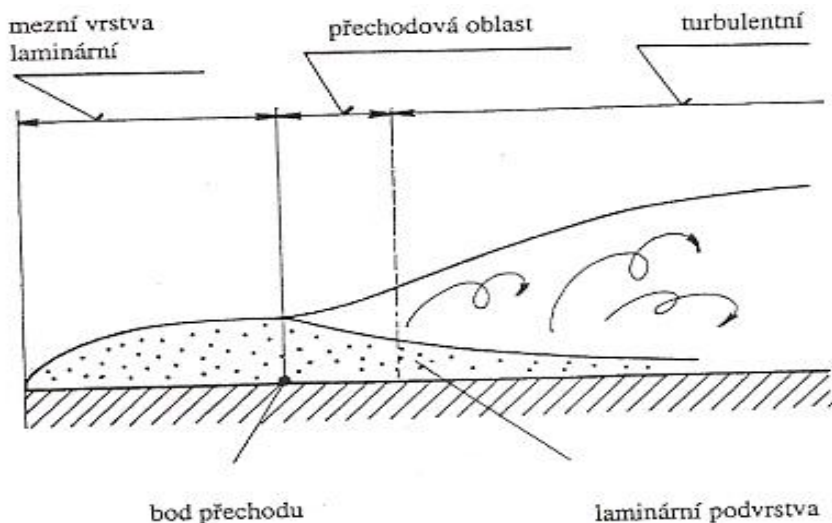
$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2} \quad (15)$$

Z fyzikálního hlediska se jedná o případ, kdy se ve vyšetřované oblasti nenachází žádné zdroje tepla.

1.3 Konvekce neboli přenos tepla prouděním

Pohybem molekul, jejich přemísťováním a nárazy - mezi kapalinou (plynem) a stěnou, dochází ke konvekci. [10]

Mezní vrstva je úzká vrstva na rozhraní dvou materiálů působící z hlediska sdílení tepla jako izolace.



Obr. 1.3/1. Mezní vrstva

Tepelný tok prouděním:

$$\dot{q} = \alpha \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{Wm}^{-2}], \quad (16).$$

$$\dot{q} = \Delta t \cdot Nu \quad \text{tvar vztahu pro výpočet } q \text{ pomocí podobnostního čísla} \quad (17).$$

$$\alpha \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$$

Součinitel (koeficient) přestupu tepla α je funkcí λ , ρ , c , t , p , ...

Součinitel přestupu tepla α se může určit velmi složitě. Na určení existují 3 metody:

1. řešení soustavy parciálních diferenciálních rovnic,
2. integrální rovnice přenosu tepla,
3. řešení pomocí podobnostních čísel - zobecnění experimentu.

Velikost koeficientu ovlivňuje typ proudění, nucené nebo přirozené.

Podle [3] lze pro textilie použít zjednodušené vztahy:

$$\alpha = 2,38 \cdot \Delta t^{1/4} \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-1}\text{]} \quad \text{pro volné proudění} \quad (18),$$

$$\alpha = 3,5 + 5,2v \quad \text{pro nucenou konvekci s rychlostí 0-1 m/s} \quad (19),$$

$$\alpha = 8,7 \cdot v^{0,6} \quad \text{při vyšších rychlostech proudění} \quad (20).$$

Podle [5] empirický vztah pro volnou konvekci pro vertikální desku je:

$$\alpha = 1,97 \cdot \Delta t^{1/4} \quad (21).$$

Mezi okolním prostředím a objektem je tzv. tepelná mezní vrstva o tloušťce h , v níž dochází k teplotnímu spádu. Důsledkem vnějšího tepelného odporu vzniká teplotní spád na tepelné mezní vrstvě při přestupu tepla prouděním. [3]

Hodnoty součinitele přestupu tepla α závisí na mnoha okolnostech, proto je u nich velký rozptyl. Hodnota α se pohybuje:

- na rozhraní pevné látky a plynu s přirozeným prouděním mezi: 5 - 35 Wm⁻²K⁻¹,
- na rozhraní pevné látky a plynu s nuceným prouděním: 10 - 140 Wm⁻²K⁻¹,
- na rozhraní pevné látky a kapaliny s přirozeným prouděním: 100 - 1000 Wm⁻²K⁻¹,
na rozhraní pevné látky a kapaliny s nuceným prouděním: 600 - 10.000 Wm⁻²K⁻¹.

1.3.1 Součinitelé přestupu tepla, určení podle teorie podobnosti

Podobnostní čísla:

$$\text{Prandtlovo číslo} \quad \text{Pr} = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_p}{\lambda} \quad (22)$$

$$\text{Grashoffovo číslo} \quad \text{Gr} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^3}{\nu^2} \quad (23)$$

$$\text{Rayleighovo číslo} \quad \text{Ra} = \text{Gr} \cdot \text{Pr} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \frac{\nu}{a} \quad (24)$$

$$\text{Nusseltovo číslo} \quad \text{Nu} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (25)$$

1.3.2 Součinitel přestupu tepla - přirozené proudění v neomezeném prostoru

Pro výpočet podobnostního čísla Nusseltova lze použít rovnice podle [11] pro volné proudění v tomto tvaru

$$C \cdot (Gr \cdot Pr)^m = Nu, \quad (26)$$

kde hodnoty C a m najdeme v tabulce pro příslušné Ra:

$Ra = Gr \cdot Pr$	m	C
do 10^3	0	0,45
$10^3 - 5 \cdot 10^3$	1/8	1,18
$5 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^7$	1/4	0,54
$2 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^{13}$	1/3	0,135

Tab.1.3.2 Hodnoty C a m pro neomezený prostor

Určující teplota pro fyzikální vlastnosti je teplota mezní vrstvy. $t_{urč} = \frac{t_p + t_x}{2}$ (27)

Výpočet Nusseltova čísla podle [11] pro přirozené proudění pro vysoká Pr a $Ra > 10^5$

$$\bar{Nu}_L = 0,678 Ra_L^{1/4} \cdot \left(\frac{Pr}{0,952 Pr} \right)^{1/4}. \quad (28)$$

Výpočet Nu pro experimentální data

$$\bar{Nu}_L = 0,68 + 0,67 Ra_L^{1/4} \cdot \left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{-4/9}. \quad (29)$$

Výpočet Nusseltova čísla podle [5] pro $Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$ a pro rychlosti 5-30 m.s⁻¹ je $\alpha = 7,53 \cdot w^{0,78}$ a $Nu = 0,135 (Gr \cdot Pr)^{1/3}$

(Např. pro vzduch o $t = 20^\circ\text{C}$ se $Pr = 0,713$; $c_p = 1004$; $\lambda = 0,0257$; $\mu \cdot 10^{-6} = 18,2$; $\nu \cdot 10^{-6} = 15,11$.)

1.3.3 Přestup tepla při volném proudění v omezeném prostoru

Sdílení tepla při volném proudění v tenké mezeře o tloušťce h při teplotách omezujících stěn t_1 a t_2 se počítá zjednodušeně jako vedení tepla zavedením ekvivalentní tepelné vodivosti λ_{ekv} . Tepelný výkon je pak dán Fouriérovým zákonem:

$$Q = \frac{\lambda_{ekv}}{h} S \cdot \tau \cdot \Delta t, \quad (30)$$

součinitel korelace

$$\varepsilon_k = \frac{\lambda_{ekv}}{\lambda} = C \cdot Ra^m \quad (31).$$

Hodnoty C a m najdeme v tabulce pro omezený prostor.

$Ra = Gr \cdot Pr$	m	C
do 10^3	0	1
$10^3 - 10^6$	0,3	0,125
$10^6 - 10^{10}$	0,2	0,4

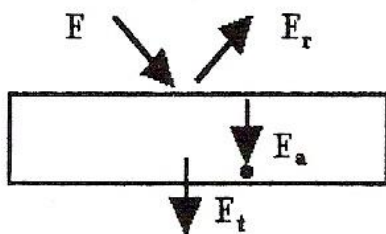
Tab.1.3.3 Hodnoty C a m pro omezený prostor

1.4 Sálání (záření, radiace)

Záření představující elektromagnetické vlnění s délkou vlny λ o frekvenci f se prostorem šíří rychlostí 300mil.m/s.

Podle vlnových délek se rozlišuje záření na: gama, rentgenové, ultrafialové, světelné ($\lambda=350-750\text{nm}$), tepelné ($\lambda=100\text{nm}-1\text{mm}$), infračervené ($\lambda=0,75-1000\mu\text{m}$), submilimetrové, mikrovlnné a rádiové. [3]

Sálání neboli radiace vzniká přenosem tepla emisním infračerveným zářením, které při dopadu na stěnu nebo povrch objektu je absorbováno a přeměňuje se v teplo.



Radiace se skládá ze tří dílčích složek, přičemž platí : $A+D+R=1$

- pohltivost A (absorbance) - množství pohlcené světelné energie dovnitř stěny (objektu)
- průteplivost T (transmittance) - světlo procházející stěnou (objektem)
- odrazivost R (reflektance) - množství světelné energie odražené od povrchu objektu

Energetickou bilanci radiace můžeme vyjádřit:

$$\frac{E_A}{E_C} + \frac{E_T}{E_C} + \frac{E_R}{E_C} = 1 \quad (32)$$

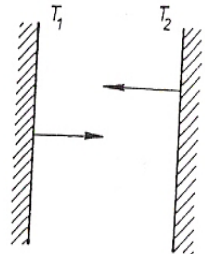
kde E_C je celkové množství dopadající energie na povrch

$E_{A,T,R}$ - hustoty zářivého toku energie dílčích složek záření. [3]

- Pokud $A=1$, $T=0$, $R=0$, pak se jedná o absolutně černé těleso všechnu energii pohlcující.
- Když $A=0$, $T=0$, $R=1$, jde o absolutní zrcadlo odrážející všechnu energii.
- Když $A=0$, $T=1$, $R=0$, jde o transparentní objekt. [10]

Sálání popisují zákony:

- Wienův posunovací zákon - Se zvyšováním teploty se maximum vyzařené energie posunuje k menším vlnovým délkám.
- Lambertův zákon - energie ubývá v závislosti na $\cos$ úhlu dopadu
- Planckův zákon vyzařování - Vyzařování a pohlcování se děje po kvantech. Popisuje závislost vlnové délky a tepelného toku přenášeného zářením.
- Kirchhoffův a Stefan-Boltzmanův zákon pro sdílení tepla sáláním našel uplatnění v praxi při výpočtech množství tepla přenášeného infračerveným zářením, např. výměna tepla mezi dvěma nekonečnými rovnoběžnými stěnami je podle [1] :

$$Q_{1,2} = q_{1,2} \cdot S = \varepsilon_{1,2} \cdot c_0 \cdot S \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ [W]}, \quad (33),$$


kde $c_0 = 5,775 \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-4}] = 10^8 \cdot \sigma_0$ (konstanta sálání absolutně černého tělesa).

S ... plocha

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad [1] \text{ poměrná pohltivost (zářivost) stěny (34),}$$

ε je funkcí materiálu, teploty, ...

$$\alpha_s = c \cdot \frac{\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4}{t_1 - t_2} \quad \text{součinitel přestupu tepla sáláním} \quad (35),$$

$$C_{1,2} = C_0 \cdot \varepsilon_{1,2} \quad [\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-4}] \quad \text{součinitel vzájemného sálání} \quad (36).$$

1.5 Prostup tepla

1.5.1 Tepelný odpor R (r) [$K m^2 W^{-1}$]

Pro vedení tepla rovinnou stěnou je tepelný odpor materiálu závislý na tloušťce materiálu stěny) a jeho tepelné vodivosti

$$R_{1,2} = \frac{h_{1,2}}{\lambda_{1,2}} [K m^2 W^{-1}] \quad \dots \text{kondukční plošný odpor} \quad (37),$$

$$R_{si,se} = \frac{1}{\alpha_{si,se}} \quad \dots \text{konvekční odpor mezní vrstvy} \quad (38),$$

$$R_{celk} = R_1 + R_2 + \dots \quad \dots \text{celkový tepelný odpor více vrstev} \quad (39),$$

$$R_{tot} = R_{si} + R_{celk} + R_{se} \quad \dots \text{totální odpor} \quad (40)$$

R_{si} ... tepelný odpor mezi vnitřní stranou stěny a vzduchem v interiéru. Jedná se o odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce (neuvažujeme pokud konstrukce přiléhá např. k zemině).

		$R_{si} [m^2 K W^{-1}]$ pro zimní i letní období.
svislá konstrukce (dle ČSN 730540-2 a ČSN EN ISO 13788)		0.25 (pro neprůsvitné konstrukce) 0.13 (pro výplně otvorů)
vodorovná konstrukce	tepelný tok nahoru	0.10
	tepelný tok dolů	0.17

Tab. 1.5/1. Přibližné hodnoty R_{se} běžně používané pro výpočet prostupu tepla pro některé případy

R_{se} ... tepelný odpor mezi vnější stranou stěny a vzduchem venku . Jedná se o odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce (neuvažujeme pokud konstrukce přiléhá např. k zemině). V otevřené, slabě větrané, vzduchové vrstvě (např. dvouplášťová obvodová konstrukce) uvažujeme tepelný odpor při přestupu tepla jako polovinu z odpovídající hodnoty pro uzavřenou vzduchovou vrstvu a tepelný odpor vrstev vně odvětrané se započte nejvýše hodnotou 0.15 m²K/W. U konstrukcí se silně větranou vzduchovou vrstvou se vrstvy vně větrané zanedbávají a odpor při přestupu se uvažuje hodnotou pro vnitřní stranu konstrukce (podrobněji viz ČSN EN ISO 6946). [14]

	R_{se} [m ² KW ⁻¹]
zimní období	0.04
zimní období (nadmořská výška ≥ 1000 m. n. m.)	0.03
letní období	0.07

Tab. 1.5/2. Přibližné hodnoty R_{si} běžně používané

Poloha		Tloušťka vzduchové vrstvy v mm								
		0	5	7	10	15	25	50	100	300
		Tepelný odpor								
vodorovná	tepelný tok zdola nahoru	0.00	0.11	0.13	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
	tepelný tok shora dolů	0.00	0.11	0.13	0.15	0.15	0.19	0.21	0.22	0.23
Svislá		0.00	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18

Tab. 1.5/3. Hodnoty tepelného odporu uzavřené vzduchové vrstvy (zimní období)

Prostup tepla je předávání vnitřních energií mezi dvěma prostředími, které jsou odděleny stěnou. Jedná se o kombinaci sdílení tepla vedením - sáláním - prouděním. [1]

Prochází-li tepelný tok určitou překážkou, hovoří se o prostupu tepla. Základní obecnou rovnicí prostupu tepla je

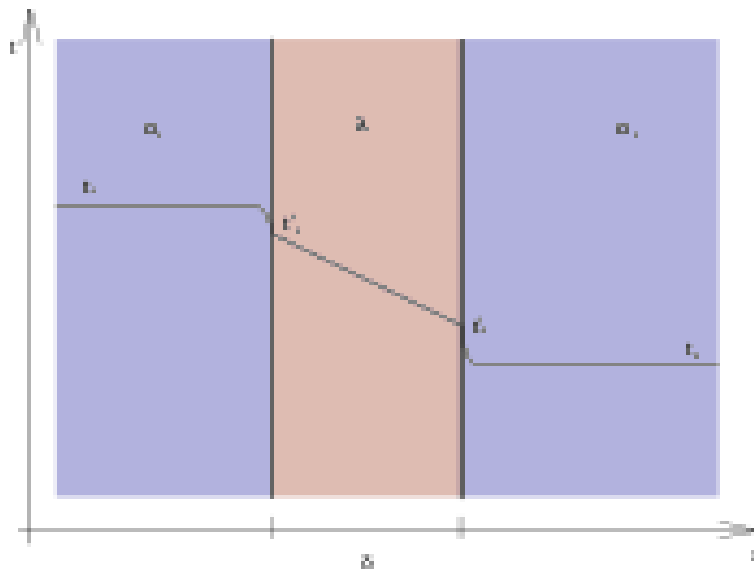
$$\dot{Q} = \frac{1}{R} \cdot S \cdot \Delta t \quad [\text{W}] \quad (41)$$

Součinitel prostupu tepla k (U) $[\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}]$. (42),

$$k = \frac{1}{R_{TOT}} \quad \text{obecný vztah pro výpočet součinitele přestupu tepla} \quad (43),$$

Vzorec podle [1] pro prostup tepla skrze homogenní rovinnou stěnou o tloušťce h :

$$k = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{h}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad [\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}] \quad (44a),$$



Obr. 1.5/2. Ukázka - průchod tepla rovinnou stěnou

$$k = \frac{1}{R_{si} + \sum R + R_{se}} \quad \text{vzorec pro prostup tepla skrze sendvičovou stěnu.} \quad (44b)$$

ΣR .. součet všech jednotlivých vrstev zdi

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\Delta r}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{S_1}{S_2}} \quad \text{pro válcovou stěnu} \quad (45).$$

Druh okna	Součinitel prostupu tepla k (U) [W/m ² .K]
špaletové okno s obyčejným jednoduchým zasklením	2,7
dřevěné okno s dvojitým obyčejným zasklením	2,8
"eurookno" s běžným izolačním dvojsklem	2,8
"eurookno" s izolačním dvojsklem s mezerou mezi skly plněnou argonem a s pokovením	1,8 - 1,3
repasované špaletové okno, zasklení s pokovením	1,9 - 2,1

Tab.1.5/4. Porovnání přibližných hodnot koeficientu prostupu tepla u některých typů oken[14]

Hustota tepelného toku

$$\dot{q} = k \cdot \Delta t = \frac{\Delta t}{R} \quad [\text{Wm}^{-2}] \quad (46)$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad [\text{K}] \quad (47)$$

Celkový tepelný tok

$$\dot{Q} = k \cdot S \cdot (t_i - t_e) \quad [\text{W}] \quad (48)$$

Tepelný výkon

$$Q = \frac{S \cdot \tau \cdot \Delta t}{R_{tot}} \quad [\text{J}] \quad (49)$$

2. Tepelné ztráty a výpočet tepelné bilance místnosti

Tepelné ztráty budov jsou způsobeny sáláním a konvekcí z vnějších povrchů budov, větráním, infiltrací, ...

- Celková tepelná ztráta místnosti $\dot{Q}_{celk}$ je dána součtem tepelné ztráty prostupem Q_p a větráním Q_v .
- Tepelná ztráta prostupem je součin základní tepelné ztráty vynásobené přírážkovým součinitelem, který se stanoví pro každou místnost samostatně. Je složen z přírážky na zátop, vyrovnání vlivu chladných stěn, přírážky na světovou stranu.
- Základní tepelnou ztrátu $\dot{Q}_z$ tvoří součet tepelných ztrát jednotlivých stěn $\sum q_i \cdot S_i$. Prostup tepla rovinnými stěnami místnosti v ustáleném stavu se počítá podle obvyklé rovnice (41), kde hustotu tepelného toku vypočteme podle rovnice (46). Pro vedení tepla dle (4) a proudění dle (16).
- Pro výpočet ploch stěn S se používají vnitřní rozměry stěn.
- Součinitel prostupu tepla k se určuje pomocí obecného tvaru vztahu (43) - pro přímou stěnu.
- Hodnoty součinitelů přestupu tepla α musí být zahrnut i vliv sálání, tzn. výsledné α je součtem součinitelů přestupu tepla konvekcí a sáláním.
- Součinitel přestupu tepla sáláním mezi povrchy stěn se počítá podle obvyklého vztahu (35). Poněkud jiné jsou ale poměry při oslání stěny sluncem, pak je nutné počítat také s intenzitou oslání sluncem. Prostup tepla oknem při slunečním oslání je značně komplikované, velikost tepla odraženého, pohlceného a prostupujícího závisí na druhu a tloušťce skla okna, jakosti povrchu a úhlu dopadu paprsků. Pohlcováním sdíleného tepla sáláním stoupá teplota skla a ovlivňuje tím konvekci.

V praxi se ale tento fakt nerespektuje a počítá se samostatně prostup tepla konvekcí a prostup sáláním.

- Při volném proudění závisí podmínky jevu na součinu $Gr.Pr$, tzn. na Ra , kde Ra se vypočítá podle (21). Jako hodnotu součinitele přestupu tepla konvekcí použijeme podobnostní čísla Nu pro volnou konvekci podle rovnice (28).
- Tepelné odpory pro jednotlivé vrstvy stěn se vypočítají podle rovnice (37), odpor mezní vrstvy dle (38), celkový odpor podle (39), totální dle (40).
- Prostup tepla je také možno řešit tak, že podle tepelné bilance se určí teplota osálaného povrchu a dále se řeší vedení tepla stěnou.
- Přibližný hrubý odhad rovnice tepelné bilance dané místnosti, i když ve skutečnosti je velmi nepřesný, mohl by mít tento tvar:

$$\frac{S}{R}(t_2 - t_e) + \frac{S_0}{R_{TOT}}(t_i - t_e) = 0$$

S ... celková plocha místnosti bez okna

R ... průměrný tepelný odpor všech okolních stěn

S_0 ... plocha okna v m^2

R_{TOT} ... totální tepelný odpor okna (= součet odporu okna a dalších vrstev zakrytí)

Praktická část

3. Výroba transparentních záclon

3.1 Úvahy a požadavky

V prvotní úvaze pro výrobu záclon se objevily textilní termo-záclony - vytvořené spojením dvou textilních klasických záclon šitím, mezi nimiž byly duté izolační prostory. V další úvaze se polemizovalo o výměně pletenin za tkaniny, které mají nižší tepelnou propustnost než běžně používané záclonové polyesterové pleteniny.

Výhody: vzhled nebyl až tak moc vzdálen od dosud používaných záclon, na něž jsou lidé už zvyklí.

Nevýhody: průsvitnost se snížila a termo-izolační vlastnosti se zvýšily o minimum než u obyčejných jednoduchých textilních záclon.

Bylo nutné změnit materiál vláken tak, aby propustnost světla byla zachována, ale propustnost tepla byla co nejvíce snížena. Příze, z nichž jsou textilie vyrobeny, se vyměnily za nekonečně dlouhá vlákna monofilového hedvábí, ale propustnost světla byla stále nízká. Vytvořené vzorky byly neforemné a stále se skýtala otázka rychlé a snadné údržby.

Vzhledem k tomu, že na trhu už jsou nyní běžně dostupné produkty typu "IR izolační fólie na okna", bylo by neprofesionální se nad tímto faktem nepozastavit a nevyzkoušet jejich termo-izolační schopnosti přímo v praxi. Poslední kroky vedly k myšlence: "Proč nezkusit vyrobit záclonu s dutými prostory právě z těchto polyesterových fólií?" I stalo se, léta páně tohoto. Jelikož vzduch má malou tepelnou vodivost a v uzavřeném prostoru nemůže samovolně proudit, pak v dutých prostorech tunýlkové fólie se příliš nezvýší hodnota celkového součinitele prostupu tepla oproti klidnému vzduchu.

Bylo vytvořeno několik variant prototypů termo-izolačních záclon z dostupných fólií pomocí nekonvenčního spojování ultrazvukem.

3.2 Příklad tepelně-izolační jednoduché fólie na okna a skla



Obr. 3.2/1. Velkoplošná skla pokrytá IR fólií

V současnosti je už na trhu dostupných mnoho fólií na skla a okna s názvem termo-izolační fólie. Většinou se jedná o jednoduché fólie o tloušťce 0,1- 0,35 mm.

Reklamní upoutávka zní: "Použitím fólie IR můžete tepelné ztráty skly oken snížit až o 25%.

Tepelně-izolační fólie IR:

- jsou nejuniverzálnější systém, který lze instalovat na všechny typy klasického prosklení
- jsou nejlevnější způsob, který nevyžaduje výměnu proskleného systému
- nevyžaduje žádné mechanické ovládání
- jsou praktické, nemění přirozené osvětlení interiéru – přímé světlo příjemně rozptylují
- snižují možnost úrazu při rozbití prosklené plochy
- instalace pro snížení úniku tepla se provádí vždy na vnitřní sklo zevnitř interiéru
- jsou určeny pro veškeré skleněné plochy a okna, kde dochází v zimních měsících k značnému úniku tepla.
- snižují tepelné ztráty okny až o 30%
- snižují průchod sluneční energie v létě až o 60%

- zadržují 99% škodlivého UV záření
- zachovává vysoký prostup světla - 70% [8]
- ceny fólií se pohybují od 610,- Kč bez DPH za 1 m² fólie
+ ceny instalace fólií 170,- Kč bez DPH za 1 m²



Obr. 3.2/2. IR fólie instalované na sklech budov

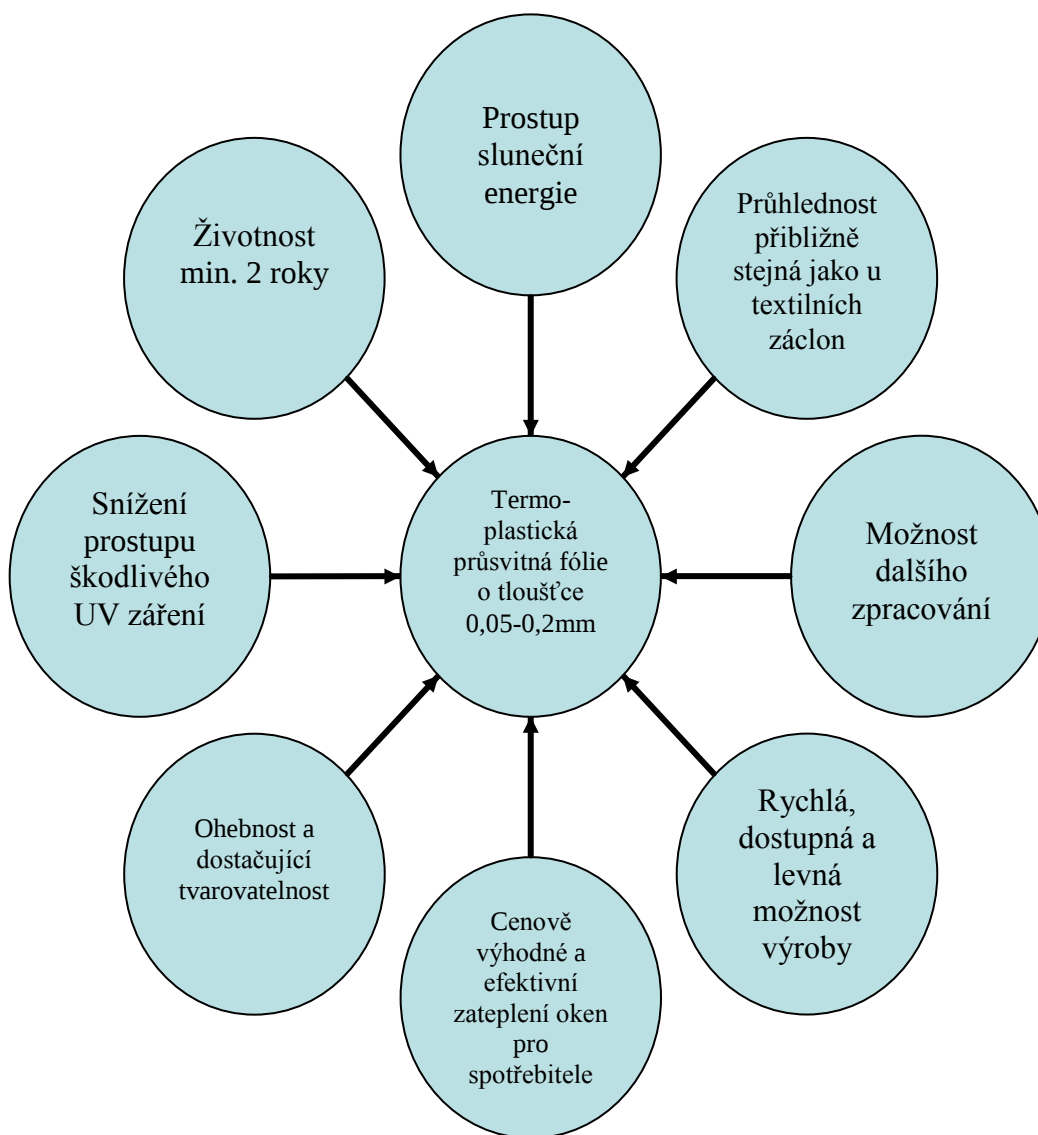
Instalace tepelně-izolační fólie IR: IR fólie se instalují na skla a okna rodinných domů, bytů (balkónů), kanceláří, výrobních prostor, střešních oken, zimních zahrad atd.

Fólie je vybavena zdvojenou proti-otěrovou vrstvou, která je chrání před nechtěným poškrábáním. Lze je aplikovat kdykoli dodatečně na stávající skleněné plochy, bez toho abychom nadměrně zatěžovali nosné prvky okna tj. rámy, závěsy ráků atd. (váha fólie je cca 150g/m²). Nová generace tepelně izolačních IR fólií disponuje při vysokém prostupu světla výborným proti-slunečním výkonem (při instalaci na vnější sklo zevnitř).“ [6]

3.3 Hledání vhodné výroby prototypů nových tepelně-izolačních záclon

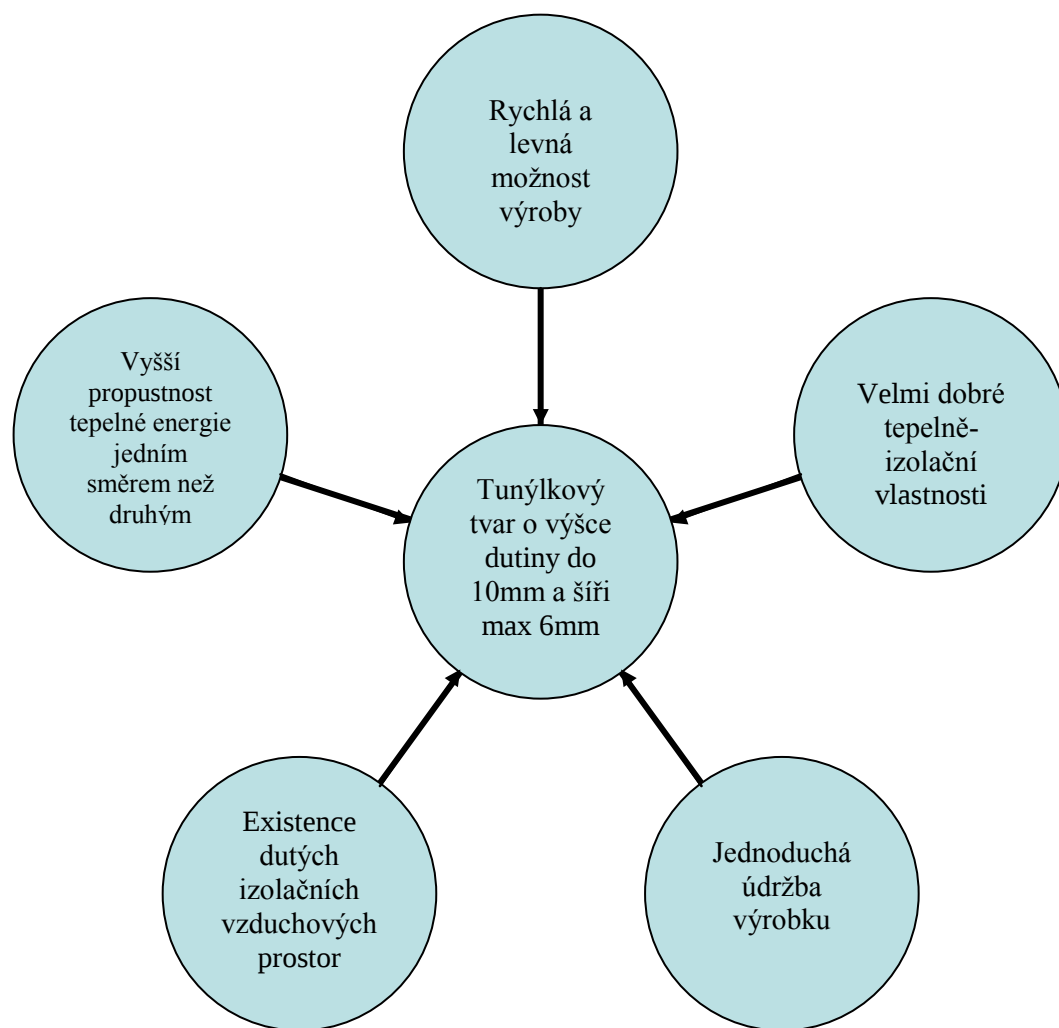
Hledaný materiál pro výrobu " termo-izolačních záclon" musí splňovat určité požadované vlastnosti a schopnosti.

3.3.1 Požadavky kladené na materiál (polotovar) pro výrobu termo-izolačních záclon:

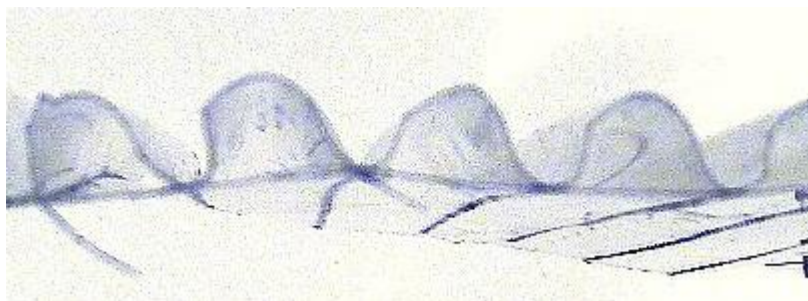


Obr. 3.3/1. Diagram - Požadavky na materiál

3.3.2 Požadavky kladené na výrobek :



Obr.3.3/2. Diagram - Požadavky kladené na výrobek



Obr. 3.3/3. Tunýlkový tvar s dutými vzduchovými prostory

3.4 Použitá technologie výroby

Jako efektivní, dostupná, levná a rychlá se ukázalo být ultrazvukové svařování termoplastických hmot pomocí přístroje PFAFF 8310.



Obr. 3.4/1. Přístroj na svařování ultrazvukem PFAFF 8310

Při ultrazvukovém svařování se mechanické kmity přenášely pod tlakem na termoplastické fólie. Vlivem molekulárního tření a tření na styčných plochách vznikalo teplo, které způsobilo nárůst tlumicích koeficientů materiálu. Fólie začala místně měknout. Tato reakce se začala urychlovat, protože se stále větší podíl vibrační energie přeměňoval na teplo vlivem přírůstku tlumících faktorů materiálu. Ultrazvukový svařovací proces se spustil pomocí soustavy zdroje kmitů.

Soustava přístroje se skládá z piezoelektrického měniče (konvertoru), amplitudového transformačního dílu a svařovacího nástroje (sonotroda).



Obr. 3.4/2. Ukázka sonotrody

Při výrobě prototypů vzorků bylo použito nastavení PFAFF 8310:

- tlak čelistí při svařování: 0,3 - 1,8 bar
- rychlost podávání: 4,5m / 1min
- vzdálenost čelistí: 0,1 - 0,7 mm
- výkon: 60 %
- stopa sonotrody ve tvaru:

.....



Obr. 3.4/3. Ukázka stopy sonotrody při svařování dvou fólií ultrazvukem

3.5 Srovnání jednotlivých typů a tvarů termo-izolačních záclon-fólií ze stejného materiálu:

a) Fólie jednoduchá - rovinná fólie



Obr. 3.5/1. Fólie jednoduchá IR typ

Výhody: průsvitnost, ohebnost, nyní průmyslově vyráběné - lehce dostupné

Nevýhody: průhlednost, fólie je přímo nalepena na sklo okna, tzn. bez existence dutých izolačních prostor, proto velmi nízký odpor vedení tepla, vysoká tepelná vodivost, zakrývá pouze sklo, mezi sklem a fólií není žádná vzduchová izolační mezera, neřeší zakrytí a izolaci celého skla včetně rámu.

b) Tunýlková fólie - vytvořená ze dvou rovinných fólií



Obr. 3.5/2. Tunýlková fólie

Výhody: poměrně vysoký odpor vedení tepla, nízká tepelná vodivost, zakrývá a izoluje celý okenní prostor, formovatelnost s možností rolování, průsvitná, ale neprůhledná, tepelný tok přes fólii je nižší u typu **a)**, poměrně jednoduchá a nenáročná technologie výroby. Efekt existence dutých tepelně-izolačních prostor.

Vzduch má malou tepelnou vodivost a v uzavřeném prostoru tunýlků nedochází k nucené konvekci, snižuje se hodnota celkového součinitele prostupu tepla.

Vzhledem k tomu, že jedna strana je rovinná, je umožněn prostup tepelné sluneční energie dovnitř budovy, únik tepla ven je snížen pomocí vlněného tvaru povrchu.

Nevýhody: nelze kdykoli snadno rozhrnout na stranu jako textilní typ záclon, bude nutná existence určitého prostoru nad oknem pro případné srolování nebo případná možnost připevnění na rám okna.

c) Termo-izolační tvar s dutými prostory ve tvaru přibližným rovnostrannému trojúhelníku, použity tři rovinné fólie typu a)

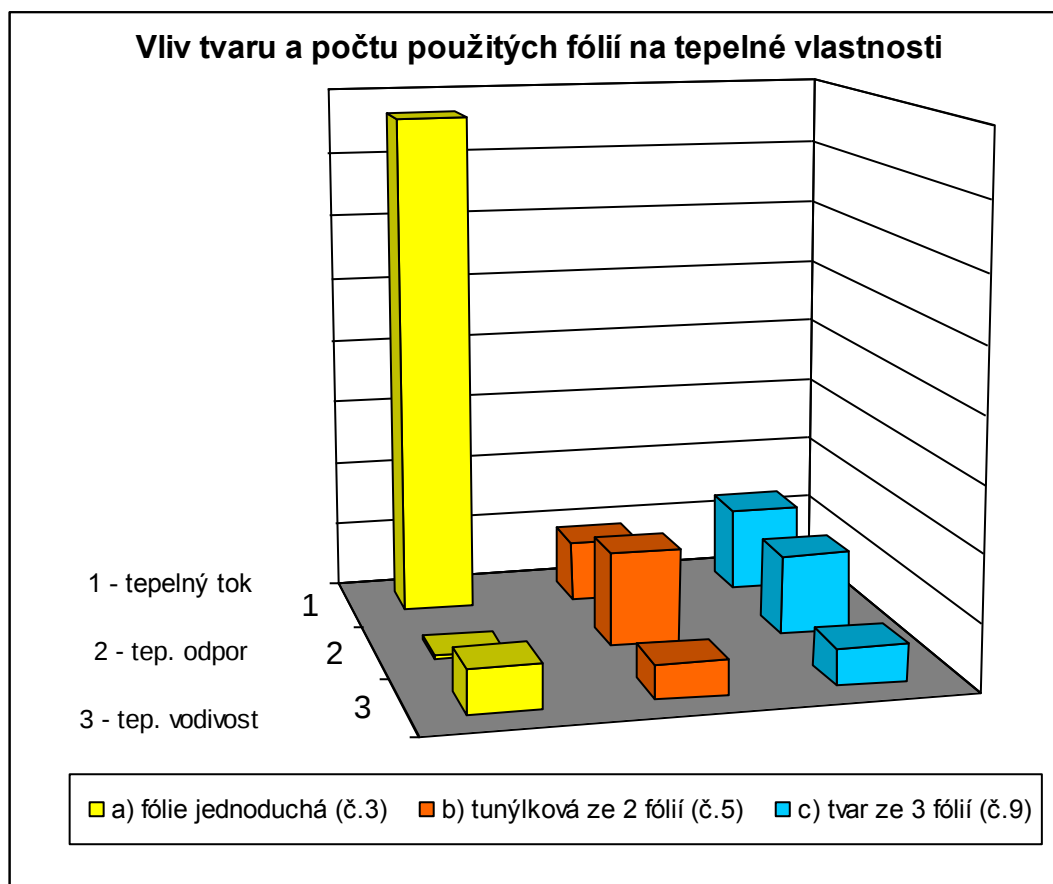


Obr. 3.5/3. Záclona složená ze tří jednoduchých fólií

Výhody: mnohem vyšší tepelně-izolační schopnosti než u typu **a)** nebo **b)**.

Nevýhody: tuhá a neforemná- nelze ji rolovat ani jinak ohýbat, složitější a náročnější technologie výroby. Předpoklad tepelného toku : bude prakticky stejný jedním i druhým směrem.

Závěr srovnání: Typ **c)** má nejlepší tepelně izolační schopnosti, ale vzhledem k jeho nevýhodám by byl v praxi pro dané účely téměř nepoužitelný, proto další vývoj transparentních tepelně-izolačních záclon v této diplomové práci se zaměří na tunýlkové fólie typu **b)**.



Graf 3.5/1. Porovnání tepelných vlastností typů fólií a), b), c)

4. Měřicí zařízení a přístroje termo-izolačních vlastností jednotlivých typů fólií

4.1 Alambeta



Obr. 4.1/1. Přístroj Alambeta

Alambeta je přístroj, který měří některé tepelné vlastnosti daných vzorků.

Podstatou zkoušky na přístroji ALAMBETA je měření tepelných vlastností. Spočívá v průchodu tepelných toků q_1 a q_2 povrchy vzorku od neustáleného stavu k ustálenému (t_1 - teplota měřící hlavice, t_2 - teplota vzorku, základny přístroje).

Přístroj ALAMBETA je počítačem řízený poloautomat, který vypočítá všechny statistické parametry měření a obsahuje autodiagnostický program, který zabráňuje chybným operacím přístroje. (2)

Postup zkoušky:

Na základnu přístroje, který je vyhříván na teplotu okolí, se položí měřený vzorek. Hlavice, která je vyhřívána na teplotu o cca 10°C vyšší (obvykle 33°C, tj. teplota kůže lidského těla), než je teplota okolí, se spustí a snímače tepelného toku a měří tepelné toky mezi jednotlivými povrchy. Současně je změřena i tloušťka materiálu h , jako vzdálenost měřících hlav. Součástí základny přístroje je termostat a teploměr, součástí měřící hlavice je teploměr, topné těleso, termostat a tepelná izolace.

Nastavení přístroje a podmínky pro zkoušení:

přítlak hlavice zkušebního zařízení: měnitelný 100-1000 Pa, běžný je přítlak 200 Pa,

rozměr vzorku: min. 10×10 mm,

dobu měření jednoho vzorku: 10 – 100 sec.,

ovzduší pro klimatizování a zkoušení musí odpovídat normě ČSN EN 20139.

Na přístroji Alambeta je možné změřit tyto veličiny:

h ... tloušťka materiálu [mm],

q ... tepelný tok [W m^{-2}],

λ ... měrná tepelná vodivost [$\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$],

b ... koeficient tepelné aktivity - tepelná jímavost [$\text{W m}^{-2}\text{s}^{1/2}\text{K}^{-1}$],

r ... plošný odpor vedení tepla [W^{-1}Km^2],

a ... měrná teplotní vodivost [m^2s^{-1}],

- **Tepelný tok na Alambetě**

Tepelný tok q je množství tepla šířící se z ruky (hlavice přístroje) o teplotě t_1 do textilie o počáteční teplotě t_0 za jednotku času. Pro krátkou dobu kontaktu přibližně platí:

$$q = b \cdot \frac{t_1 - t_0}{\sqrt{\pi \cdot \tau}} \quad (40),$$

kde b je tepelná jímavost, která charakterizuje tepelný omak a představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu.

$$b = \sqrt{c \cdot \lambda \cdot \rho} = \frac{\lambda}{\sqrt{a}} \quad (41)$$

- **Plošný odpor vedení tepla**

Plošný odpor vedení tepla r je dán poměrem tloušťky materiálu a měrné tepelné vodivosti. Udává, jaký odpor klade materiál proti průchodu tepla textilií. Čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. Nízká tepelná vodivost a vysoký tepelný odpor charakterizují tepelnou izolaci.

$$r = \frac{h}{\lambda} \quad (42)$$

- **Měrná teplotní vodivost**

Měrná teplotní vodivost $a[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$ vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotu. Čím je její hodnota vyšší, tím látka rychleji vyrovnává teplotu (při nestacionárním procesu). (2)

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad , \text{ kde } c \text{ je měrná tepelná kapacita materiálu } [\text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}], \quad (43)$$

- **Měrná tepelná vodivost**

$$\lambda = \frac{q}{|\text{grad } t|} \quad (44)$$

4.2 Vertikální přístroj - Skin model



Obr. 4.2/1. Skin model

Vertikální Skin model je přístroj, který zaznamenává graficky tepelný tok do modelu stěny místnosti udržované na konstantní teplotě. Součástí přístroje je nádoba naplněna vodou simulující danou místnost, ta je zahřívána na konstantní teplotu, nejlépe 40°C , tj. min. o 15°C více než je teplota okolního prostředí. Měděné čidlo je pokryto černým sametem o $\lambda = 0,0424 [\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}]$, $r = 0,0219 [\text{W}^{-1} \text{Km}^2]$.

Součástí přístroje je termostat, teploměr, zařízení pro grafické zpracování výsledků měření. Výsledky graficky zapsané je možno převést na číselné vyjádření téhož. Přepočet lze provést pomocí daného koeficientu. Konečné hodnoty tepelného toku jsou uvedeny ve $[\text{W m}^{-2}]$.



Obr. 4.2/2. Příklad grafického zobrazení snímání tepelného toku

4.3 Kulový teploměr

Tepelný stav prostředí lze hodnotit tzv. výslednou teplotou, která se měří kulovým teploměrem a zohledňuje vliv teploty vzduchu i sálání okolních povrchů.

Teplota kulového teploměru hodnotí teplotu vzduchu a sálavou teplotu, nebere v úvahu vlhkost vzduchu a pouze minimálně rychlost proudění vzduchu. Proto se používá pojem operativní teplota. Operativní teplota t_{op} (°C) je vypočtená hodnota. Je to teplota uzavřeného černého prostoru, v němž by tělo sdílelo radiaci a konvekci stejně tepla jako ve skutečně teplotně nehomogenním prostředí. Při známé střední radiační teplotě t_r (°C) a teplotě vzduchu t_a (°C) se určí ze vztahu:

$$t_{op} = t_r + A (t_a - t_r) \quad (45),$$

kde A je funkcí rychlosti proudění vzduchu. Při nižších rychlostech vzduchu v daném případě lze operativní teplotu t_{op} nahradit výslednou teplotou kulového teploměru. [9]

Kulový teploměr vzhledem ke své vysoké ceně by mohl být pro daný experiment nahrazen měděným válcem o průměru 24 mm a délce 40 mm zakončený tzv. zátkou připojenou svařením.

Povrch válce i zátky je pokryt černým sametem, válec naplněn vodou, do níž je ponořeno tepelné čidlo digitálního teploměru. Tento "*válcovo-kulový teploměr*" může být zavěšen přímo v prostoru místností tak, aby se ničeho nedotýkal a nebyla jeho výsledná teplota ovlivňována přestupem tepla z okolních předmětů a na konečnou teplotu mělo vliv i sálání okolí.



Obr. 4.3/1. Válcový ("kulový") teploměr

5. Výsledky měření na přístroji Alambeta

Datum zkoušek: 12.10. 2009, 20.10. 2009.

Teplota v laboratoři: 25 °C .

Vlhkost vzduchu v laboratoři: 63 %.

Počet měření: 10.

Odchyly od běžného postupu: u materiálů č.1-3 nelze zapsat tepelný tok dle displeje,

protože přístroj jej počítá pomocí tloušťky materiálu - ta je menší než jsou dovolené meze pro měření.

Měřené vlastnosti: měrná tepelná vodivost, tepelný odpor, tloušťka materiálu, tepelný tok.

Velikost vzorků: 0,2 x 0,2 m.

Materiál vzorků: (foto viz Přílohy).

č.1 - textilní klasická záclona

č.2 - polyesterová IR fólie

č.3 až10 - polypropylenové fólie různého typu

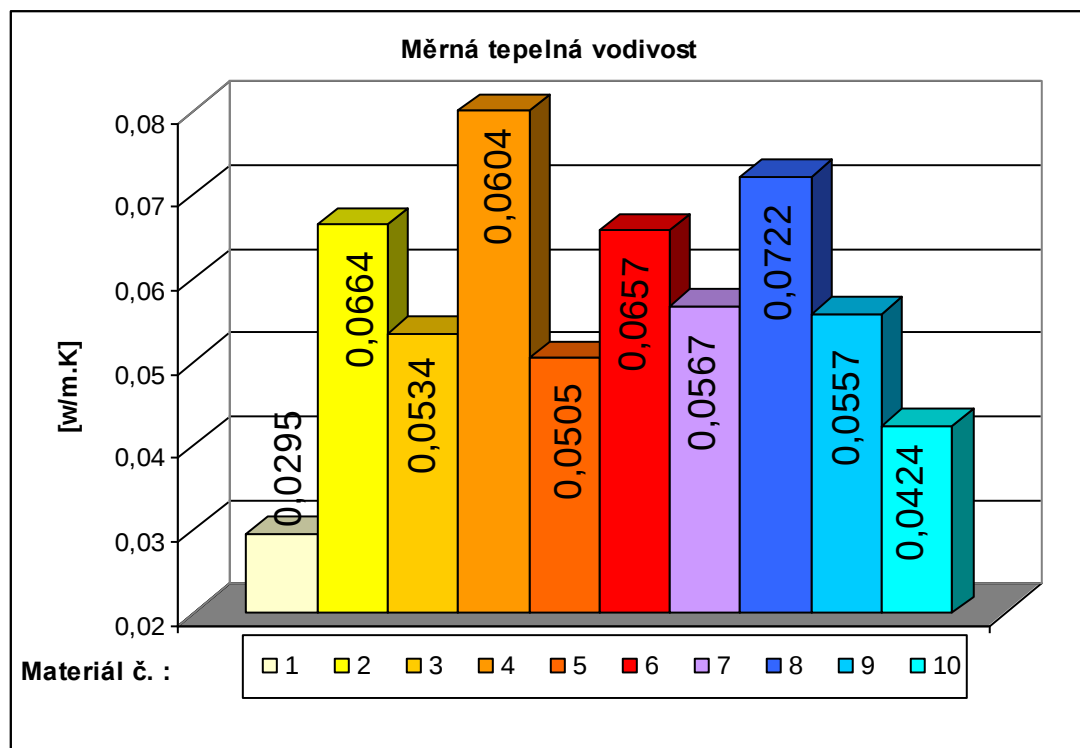
č.11 - bavlna: černý samet



Obr. 5./1. Měření tunýlkové fólie na Alambetě

Číslo měřeného materiálu	Měrná tepelná vodivost λ [W/m.K]				
	$\bar{\lambda}$	s	v	IS: Ld	Lh
1	0,0295	0,000708	2,4	0,065602	0,067198
2	0,0664	0,001262	1,9	0,052826	0,053974
3	0,0534	0,000908	1,7	0,059865	0,060935
4	0,0604	0,000846	1,4	0,049414	0,051586
5	0,0505	0,001717	3,4	0,065409	0,065991
6	0,0657	0,00046	0,7	0,05609	0,05731
7	0,0567	0,000964	1,7	0,070602	0,073798
8	0,0722	0,002527	3,5	0,055207	0,056193
9	0,0557	0,00078	1,4	0,041193	0,043607
10	0,0424	0,001908	4,5	0,065602	0,067198

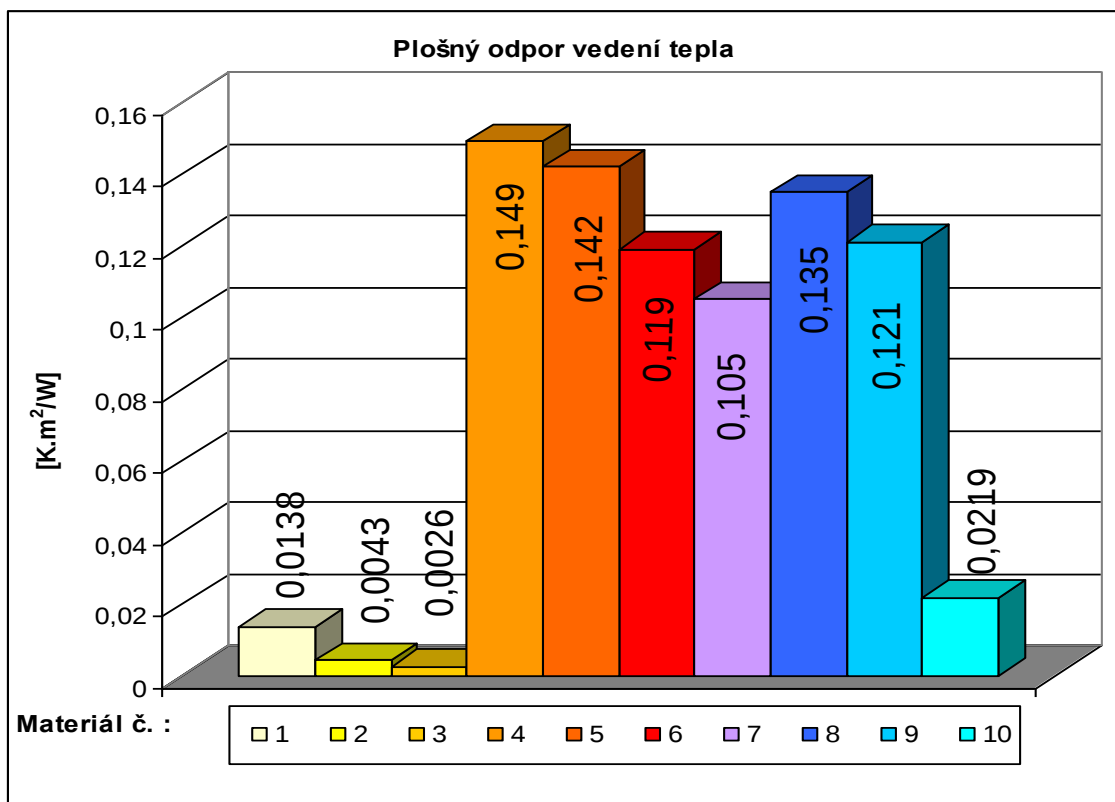
Tab. 5./1. Měrná tepelná vodivost



Graf 5./1. Měrná tepelná vodivost

Číslo měřeného materiálu	plošný odpor vedení tepla $r(R) [m^2 KW^{-1}]$				
	$\bar{r}$	s_r	v_r	IS: L_d	L_h
1	0,0138	0,0000552	0,4	0,01377	0,01383
2	0,0043	0,0000129	0,3	0,00429	0,00431
3	0,0026	0,0000104	0,4	0,00259	0,00261
4	0,149	0,001788	1,2	0,14787	0,15013
5	0,142	0,004544	3,2	0,13913	0,14487
6	0,119	0,001666	1,4	0,11795	0,12005
7	0,105	0,00126	1,2	0,1042	0,1058
8	0,135	0,006075	4,5	0,13116	0,13884
9	0,121	0,000121	0,1	0,12092	0,12108
10	0,0219	0,0007665	3,5	0,02142	0,02238

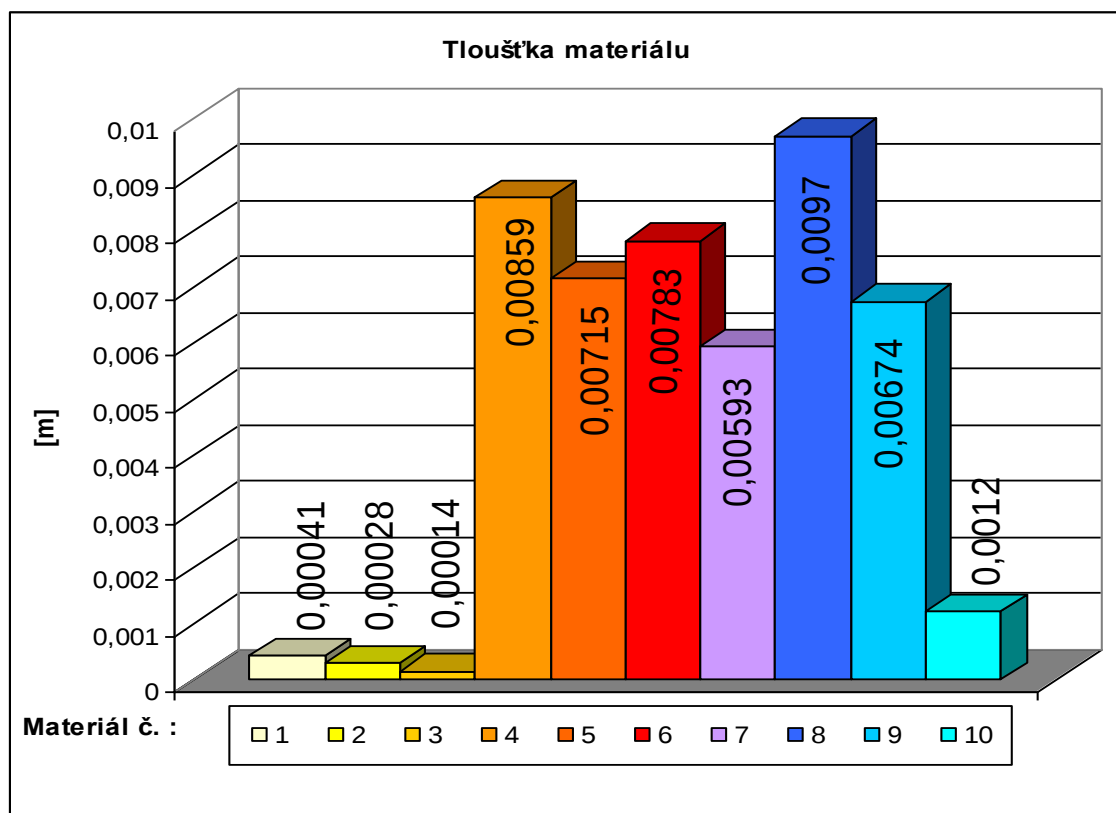
Tab. 5./2. Plošný odpor vedení tepla



Graf 5./2. Plošný odpor vedení tepla

Číslo měřeného materiálu	tloušťka materiálu h [mm]				
	$\bar{h}$	s_h	v_h	IS: Ld	Lh
1	0,41	0,00492	1,2	0,01377	0,41311
2	0,28	0,000756	0,27	0,27952	0,28048
3	0,14	0,00518	3,7	0,13672	0,14328
4	8,59	0,03436	0,4	8,56827	8,61173
5	7,15	0,35035	4,9	6,92842	7,37158
6	7,83	0,06264	0,8	7,79038	7,86962
7	5,93	0,02965	0,5	5,91125	5,94875
8	9,7	0,4268	4,4	9,43007	9,96993
9	6,74	0,08762	1,3	6,68458	6,79542
10	1,2	0,03	2,5	1,18103	1,21897

Tab. 5./3. Tloušťka materiálu



Graf 5./3. Tloušťka materiálu

Číslo měřeného materiálu	Tep.tok vypočítaný pro Alambetu s $\Delta t=11K$	z displeje Alambety:	
		Tepelný tok $\bar{q}$ [W/m^2]	R_{tot} [$m^2 KW^{-1}$]
1	435	396	0,0253
2	696	758	0,0158
3	780	855	0,0141
4	74	75	0,149
5	78	84	0,142
6	93	107	0,119
7	105	116	0,105
8	81	75	0,135
9	91	97	0,121
10	329	320	0,0219

Tab. 5./4. Hustota tepelného toku

Výpočet tepelného toku je proveden podle vztahů (37), (38), (39), (40). (Při výpočtu R_{tot} u materiálů: 1, 2, 3, 10 bylo nutné připočíst i odpor vzduchové vrstvy mezi čelistmi měřicího aparátu a to $R = 0,0115 [m^2 KW^{-1}]$.)

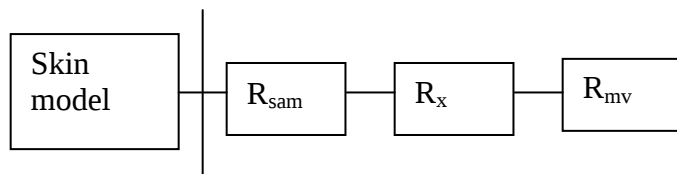
(Hodnoty u materiálů 1, 2, 3, 10 uvedeny modrou barvou jsou velmi nepřesné a mohou být i chybné, jelikož tyto materiály nesplňují kritéria pro měření na Alambetě.)

U výpočtů mohou být nepřesnosti a mírné odchylky způsobeny zaokrouhlováním číselných hodnot.

Důvodem některých nepřesných údajů a vybočujících dat může být nerovnoměrný povrch tunýlkových fólií, jelikož duté prostory nebyly vytvořeny strojově, ale ručně, přičemž bylo velmi obtížné vytvořit všechny duté prostory s přibližně stejnými rozměry.

6. Výsledky a předpoklady - Skin model

6.1 Model pro výpočet odporů a tepelného toku na Skin modelu



$$q = \frac{\Delta t}{R_{TOT}}$$

x ... pro materiály č. 1-9 $R_x = \frac{h_x}{\lambda_x}$

$R_{TOT} = R_{BEZ} = R_{sam} + R_{mv1}$ pro materiál č.10 - samotný samet (skin model nezakrytý žádnou fólií)

$R_{mv1,2}$... vypočteny dle vztahů str.29.,

$$R_{TOT} = R_{BEZ} + R_x \text{ pro Skin model pro materiály č.4-9}$$

tedy platí $R_{mv1} = 0,023414 \text{ m}^2 \text{ KW}^{-1}$,

$$R_{TOT} = R_{BEZ} + R_x + R_{mv2}$$

pro materiály 1-3 ještě nutno připočítat $R_{mv2} = 0,07184 \text{ m}^2 \text{ KW}^{-1}$,

Výpočet tepelného odporu a tepelného toku pro materiály pro Skin model

<i>Materiál č:</i>	R_{TOT} $[m^2 KW^{-1}]$	$U(k)$ $[Wm^{-2} K^{-1}]$	<i>Vypočítaná hustota tep.toku q [Wm⁻²]</i>
1	0,1307	7,6511	114,8
2	0,1212	8,251	123,8
3	0,1195	8,368	125,5
4	0,19432	5,1465	77,2
5	0,18732	5,3386	80
6	0,16432	6,086	91,3
7	0,15032	6,6528	99,8
8	0,18032	5,5459	83,2
9	0,16632	6,0127	90,2
10	0,1169	8,5543	128,32

Tab. 6.1/1. Předpokládaný tepelný tok u jednotlivých typů záclon - Skin Model

6.2 Výsledky testů na Skin modelu

Předpokládané možné odchylky a chyby měření:

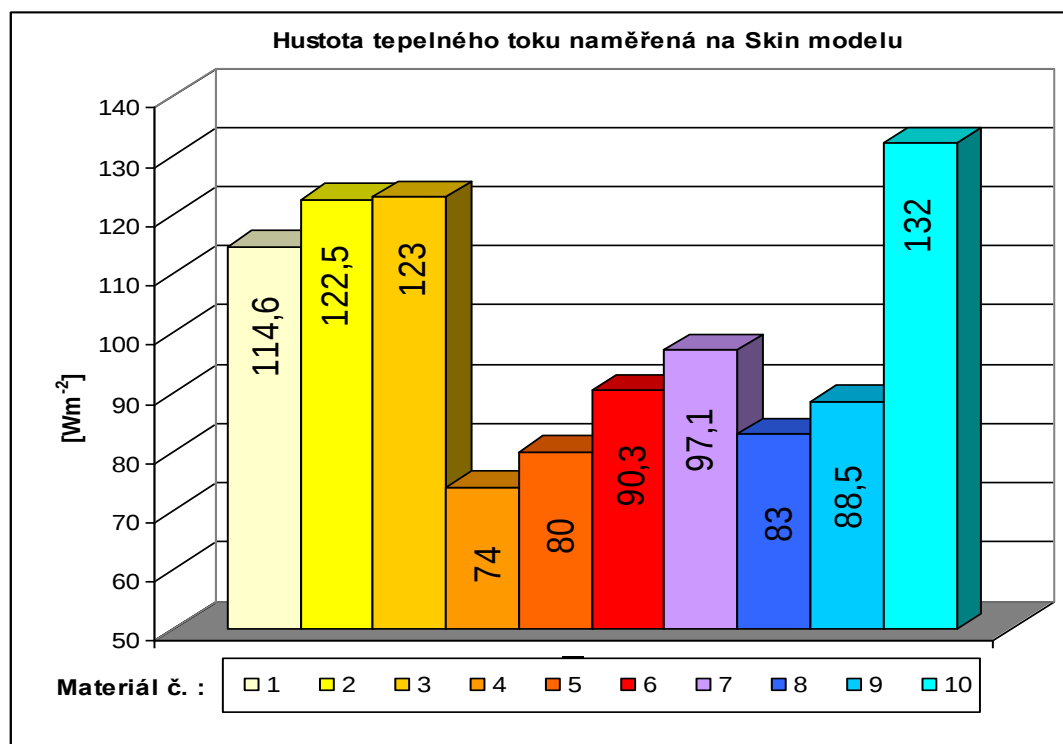
- kolísání teploty v laboratoři během celého měření $\pm 0,1^\circ\text{C}$
- kolísání teploty uvnitř nádoby Skin modelu $\pm 0,1^\circ\text{C}$
- kolísání hodnoty relativní vlhkosti uvnitř laboratoře $\pm 1 \%$
- lidský faktor při přepočítávání hodnot z grafu

Materiál č.:	Hustota tep.toku q vypočítaná [Wm ⁻²]	Hustota tep.toku $\bar{q}$ naměřená [Wm ⁻²]	s_q [Wm ⁻²]
1	114,8	114,6	3,08
2	123,8	122,5	2,8
3	125,5	123	2,6
4	77,2	74	4,28
5	80	80	2,52
6	91,3	90,3	2,5
7	99,8	97,1	1,12
8	83,2	83,0	2,8
9	90,2	88,5	4,2
10	128,32	132	2,8

Tab. 6.2/1. Předpokládaný tepelný tok u jednotlivých typů záclon - Skin Model

Kde s_q .. směrodatná odchylka naměřené hustoty tepelného toku, pro naměřené $\Delta t = 15^\circ\text{C}$.

Tepelný tok se při zakrytí dané plochy přístroje tunýlkovou fólií č.5 se snížil cca o 44 %.

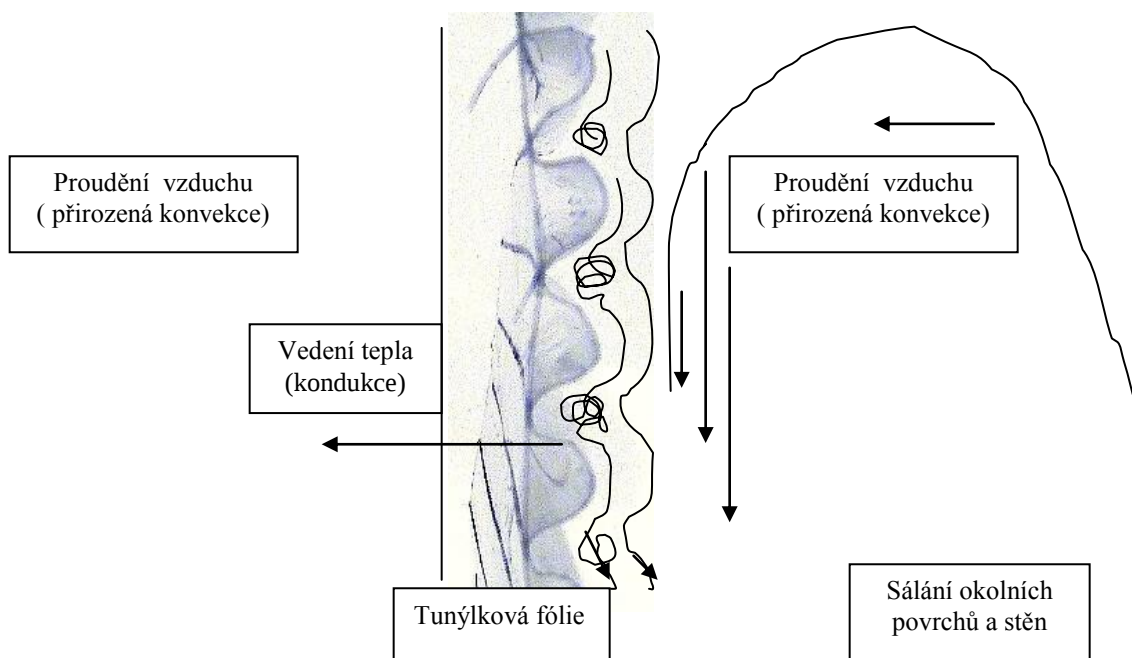


Graf 6.2/1. Naměřený tepelný tok u jednotlivých typů záclon - Skin Model

7. Vlastní experiment

7.1 Výpočet prostupu tepla stěnou

Model místnosti pro daný experiment



Obr.7.1/1. Model pro sdílení tepla v místnosti

Různé typy zakrytí okna

Měřeno bylo postupně:

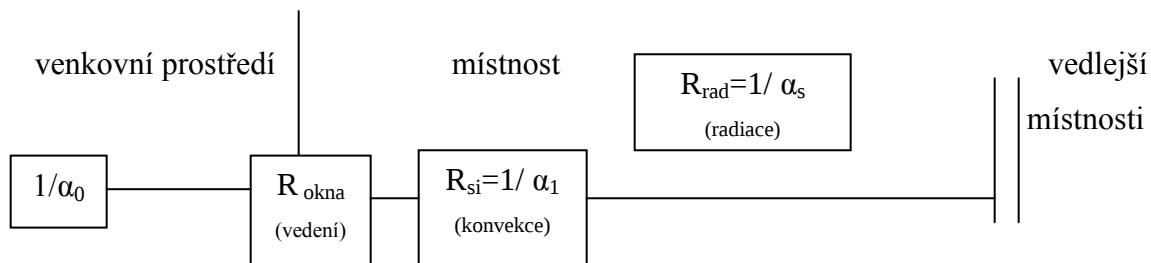
- 1. okno bez zakrytí,
- 2. okno se záclonou klasickou textilní 20 mm od skla okna,
- 3. okno s jednoduchou IR fólií přímo na skle,
- 4. okno zakryté tunýlkovou fólií 20 mm od skla okna.

AD 1. Okno bez zakrytí

$$R_{BEZ} = R_{se} + R_{ok} + R_{si} + \sum R_{rad}$$

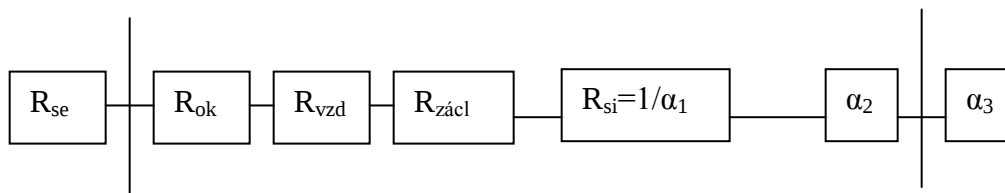
kde hodnoty R_{si} , R_{se} jsou vypočteny dle vztahů str.29.

$$q = \frac{\Delta t}{R_{BEZ}} \quad (R_{TOT} = R_{BEZ})$$



AD 2. Okno zakryté textilní záclonou

Schematický model místnosti pro matematický výpočet tepelného odporu u okna zakrytého běžnou textilní záclonou.



$$R_{celk} = R_{vzd} + R_{zácl}$$

$$R_{TOT} = R_{BEZ} + R_{celk} \quad , \text{ pak } q = \frac{\Delta t}{R_{TOT}}$$

AD 3. Okno pokryté jednoduchou IR fólií přímo na skle

$$R_{celk} = R_{IR}$$

$$R_{TOT} = R_{BEZ} + R_{celk}$$

$$q = \frac{\Delta t}{R_{BEZ} + R_{IR}}$$

AD 4. Okno zakryté tunýlkovou fólií

$$R_{celk} = R_{vzd} + R_{tnl}$$

$$R_{TOT} = R_{bez} + R_{celk}$$



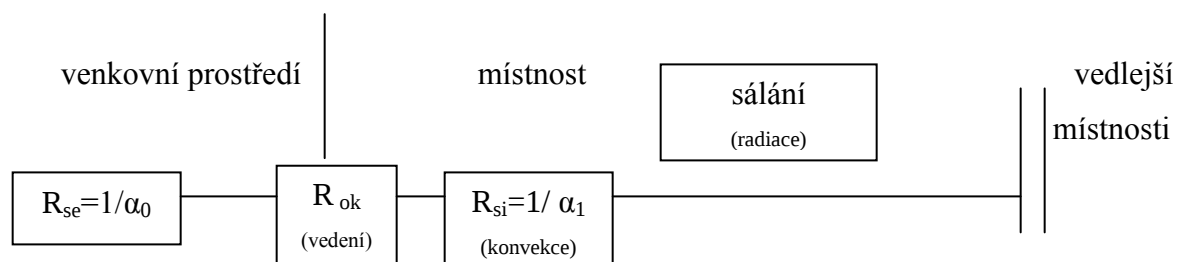
Obr.7.1/1. Sklo okna pokryté IR fólií č.2



Obr.7.1/2. Okno zakryté tunýlkovou fólií č.5

7.2 Teoretický předpoklad výsledků odporu při prostupu tepla oknem

Model místnosti:



$$R_{BEZ} = R_{se} + R_{OK} + R_{si} \quad \dots \text{ odpor bez zakrytí}$$

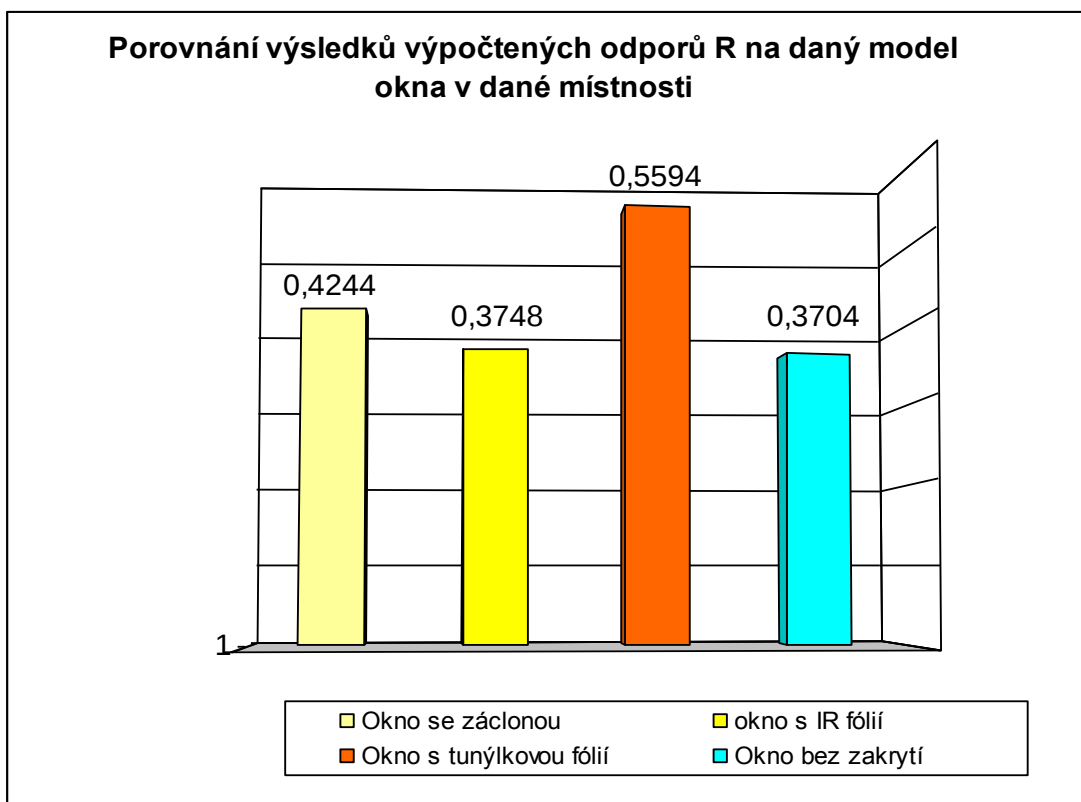
$$R_{TOT} = R_{bez} + R_{celk} \quad , \quad R_{celk} = R_{vzd} + R_{tnl} \quad \dots \text{ se zakrytím fólií}$$

hodnota λ pro vzduch je dle tab.1.2.1

a ostatní hodnoty jsou vypočítány podle kap.1.6, str.29.

Veličina:	$U(k)$	R_{TOT}
Materiál :	$[W/m^2 K]$	$[m^2 KW^{-1}]$
okno samotné bez zakrytí	2,7	0,3704
č.2	2,67	0,3748
č.1	2,36	0,4244
č.5	1,79	0,5594

Tab. 7.2/1. Přibližný odhad předpokládaných výsledků k, R



Graf 7.2/1. Porovnání odhadu tepelného odporu pro okno nezakryté a zakryté různými druhy záclon

7.3 Teoretický předpoklad tepelných ztrát pro danou místnost budovy

Pro výpočet předpokládaných tepelných ztrát jsou uvedeny teploty projektované s maximálními hodnotami pro danou budovu.

7.3.1 Výpočet tepelných ztrát pro danou místnost s nezakrytým oknem

Místnost: půdorys o stranách: 1,8m a 2,6m, výška 2,2m.

Rozměr okna : 1,2 x 1,2 m.

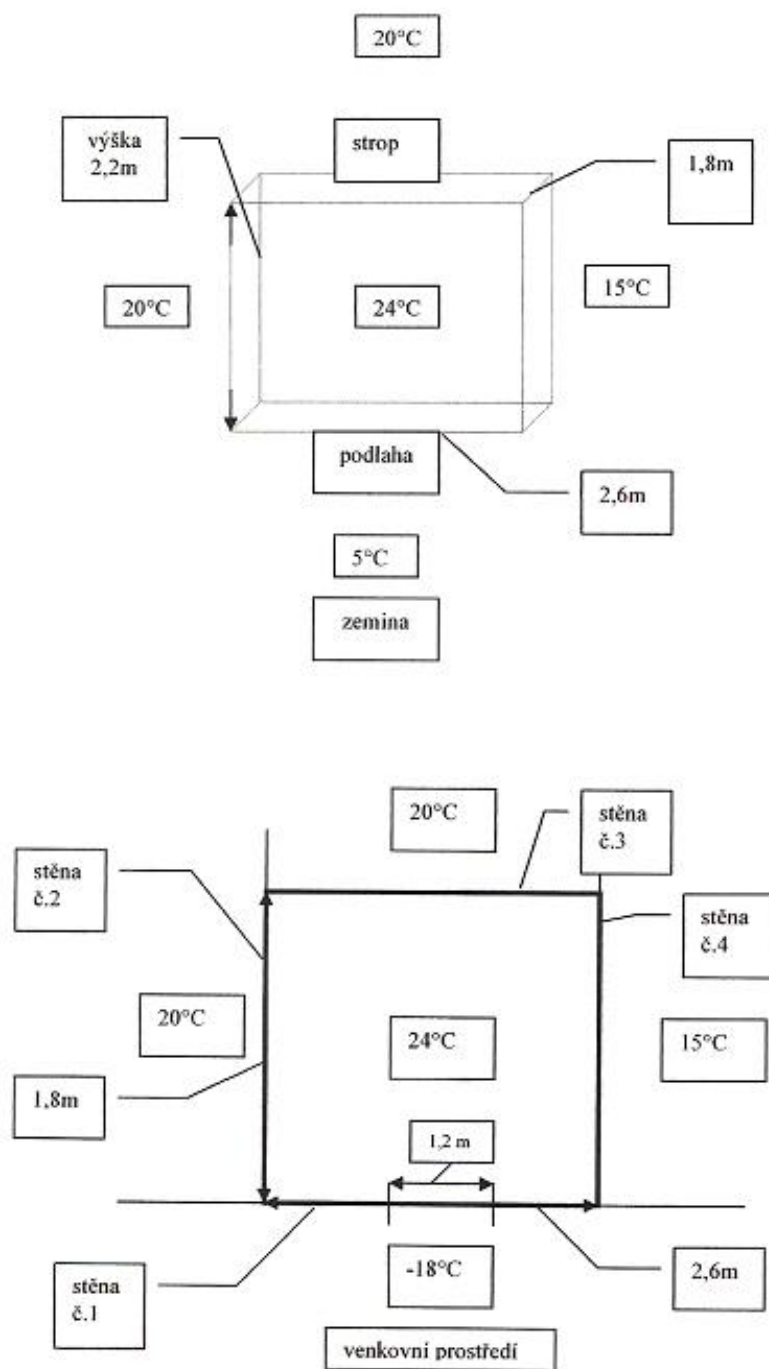
Poměr okna a ostatních ploch místnosti: 1 : 19

Následující výsledky výpočtů jsou podle postupu v kap.1.6, str. 29.

Q_z ... základní tepelné ztráty při maximálním (projektovaném) rozdílu teplot Δt , teplota venkovního prostředí -18°C , teplota v místnostech 20°C .

	<i>Plocha (m^2)</i>	<i>k</i>	Δt (K)	Q_z (W)
okno(1,2x1,2m)	1,44	2,7	$24 - (-18) = 42$	163,3
ostatní plochy stěn místnosti	27,28			385,84
ΣS	28,72 m^2			$\Sigma Q_z =$ 549,14W
Q_c	747,2 W			

Tab. 7.3/1. Výpočet tepelných ztrát místnosti s nezakrytým oknem (zkrácený výpis Tab.Př.1)

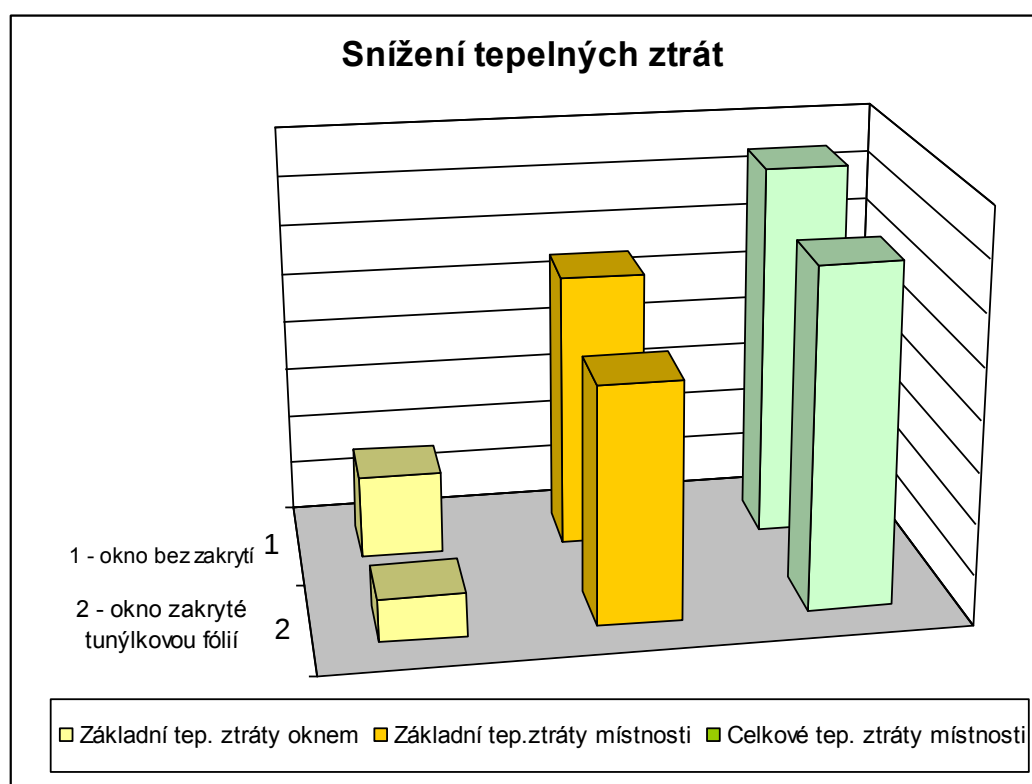


Obr.7.3/1. Model místnosti s projektovými maximálními teplotami

7.3.2 Výpočet tepelných ztrát místnosti s oknem s tunýlkovou izolační fólií

	<i>plocha</i> [m ²]	<i>k</i>	$\Delta t = t_e - t_i$ [K]	<i>Q_z</i> [W]
okno(1,2x1,2m)	1,44	1,39	42	84
ostatní stěny	27,28			385,84
ΣS	28,72 m ²			$\Sigma Q_z = 469,84 \text{ W}$
<i>Q_c</i>	672 W			

Tab. 7.3/2. Výpočet tepelných ztrát místnosti s oknem s tunýlkovou fólií (zkrácený výpis Tab. Př.2)



Graf 7.3/1. Teoretický předpoklad snížení základních tepelných ztrát

Předpoklad snížení tepelných ztrát při použití zakrytí skel oken tunýlkovou fólií

- Základní tepelné ztráty Q_z tímto jedním daným oknem se sníží o 48,6 %.
- Základní ztráty této malé místnosti se celkem sníží o 14,44 %.
- Celkové tepelné ztráty Q_c o 10,6 %.

7.4 Výsledky experimentálního měření v dané místnosti

Na okno v malé místnosti byly instalovány postupně 3 typy zakrytí oken.

Místnost nebyla v době měření vytápěná, ustálený stav byl zaznamenáván až po deseti dnech. Teploty byly měřeny uvnitř místnosti denně ve stejnou hodinu večerní, celkem vždy pro konkrétní případ 10 dní.

Podmínky měření teploty:

- teplota okolních místností byla konstantní po celou dobu měření,
- teploty byly měřeny každý den ve stejnou denní hodinu,
- po celou dobu měření nebyla měřená místnosti ani vytápěna, ani větrána,
- na sálání v místnosti neměla skoro žádný vliv přítomnost lidí, výsledné teploty byly vždy zapsány během půl minuty, sálání člověka tudíž nemohlo příliš ovlivnit výslednou tepelnou bilanci místnosti

Veličina:	R_{TOT} $[m^2 KW^{-1}]$	Reálný rozdíl Δt naměřených hodnot okolních vytápěných místností a teploty uvnitř měřené místnosti ($^{\circ}C$)	Naměřená průměrné hodnoty teploty uvnitř měřené místnosti ($^{\circ}C$)
Materiál :			
Okno bez zakrytí	0,3704	9,8	12,2
č.2	0,3748	8,9	13,1
č.1	0,4244	6,9	15,1
č.5	0,5594	4,2	17,8

Tab.7.4/1. Výsledky zjištěných hodnot experimentu

Výsledky v Tab.7.4/1. platí pro:

- dané materiály
- danou místnost
- venkovní teploty v rozmezí -5 až $3^{\circ}C$
- vnitřní teploty v místnosti 10 až $20^{\circ}C$
- relativní vlhkost v místnosti 40 až 50%

Rovnice tepelné bilance okna bez zakrytí (velmi hrubý přibližný odhad):

$$\frac{S}{R}(22-1) + \frac{S_0}{R_0}(12,2-1) = 0$$

Rovnice tepelné bilance okna zakrytého tunýlkovou fólií:

$$\frac{S}{R}(22-1) + A \cdot \frac{S_0}{R_0 + R_{tnl}}(17,8-1) = 0$$

Předpokládá se pro zjednodušení jevu u těchto rovnic tepelné bilance, že tepelné ztráty (zisky) stěn budou stejné před zakrytím i po zakrytí okna tunýlkem, což není pravda. Proto do této rovnice uvádím vyrovnávací koeficient A, který předpokládá změny tepelných ztrát.

S.. celková plocha místnosti bez okna 27,28 m²

S₀ ... plocha okna 2,44 m²

R ... průměrný tepelný odpor všech okolních stěn (S/R(22-1)= 43,5456)

R₀ ... tepelný odpor okna bez zakrytí 0,3704

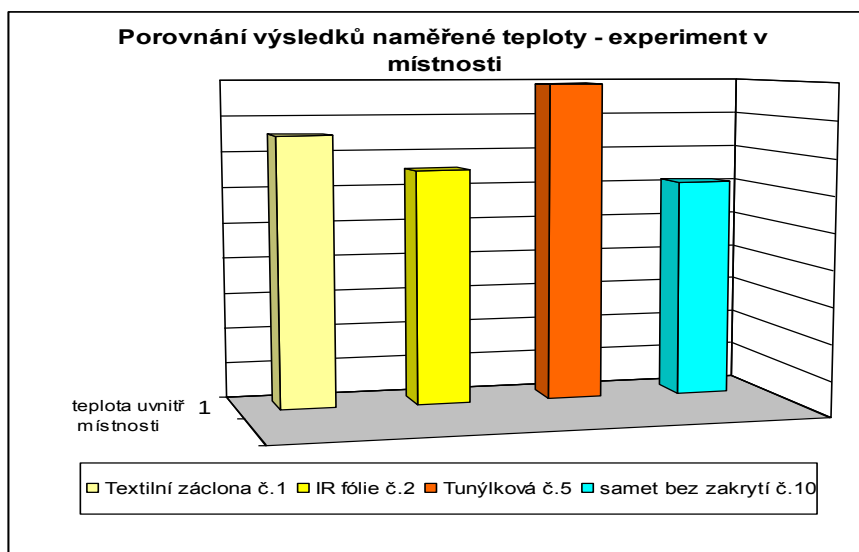
R_{tnl} ... tepelný odpor tunýlkové fólie č.5 (R_{tnl} = 0,926)

1°C ... venkovní teplota

12,2 ... teplota u okna uvnitř měřené místnosti bez zakrytí okna

22 ... teplota uvnitř okolních vytápěných místností

17,8 ... teplota u okna uvnitř měřené místnosti s oknem zakrytým tunýlkovou fólií



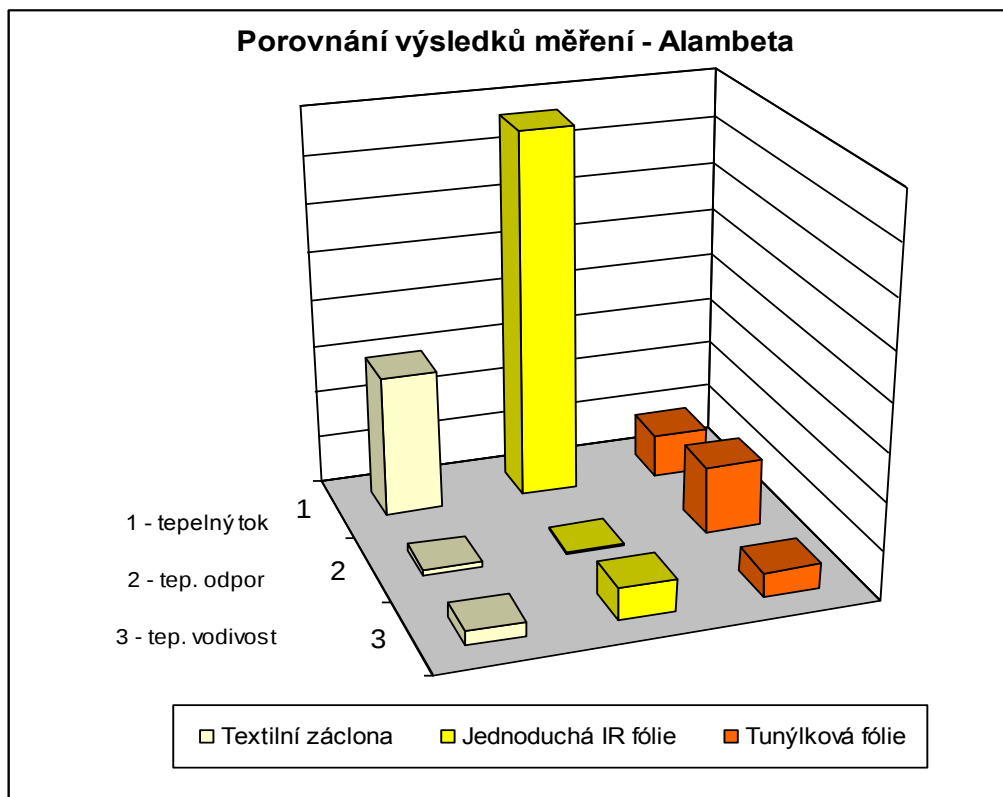
Graf 7.4/1. Porovnání naměřených hodnot teploty

Závěr:

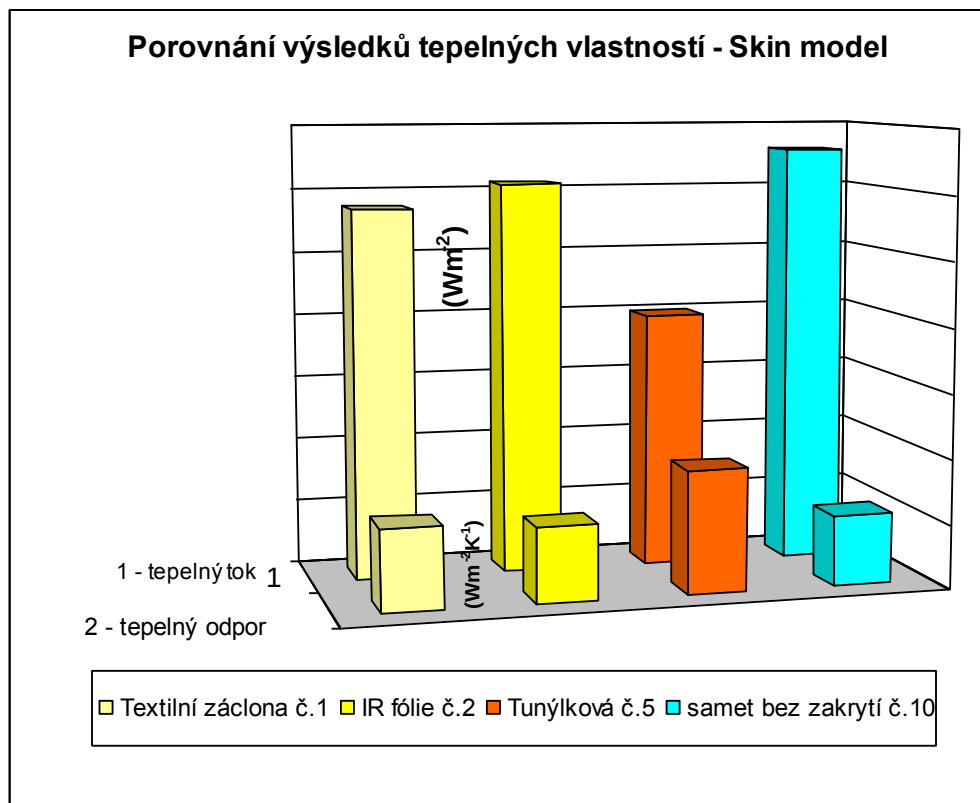
Pro výpočet tepelných ztrát budov se používají velmi složité a komplikované výpočty a rovnice. Přesto se během zkoumání, měření a počítání podařilo zjistit, že nově vyvinuté tunýlkové transparentní termo-izolační fólie s dutými prostory propustí přes okno méně tepelné energie ven než dosud běžně používané textilní záclony nebo méně známé IR izolační fólie. Přitom nové tunýlkové fólie propustí díky své vysoké míře průhlednosti dostatek sluneční energie dovnitř místnosti. Dále bylo zjištěno, že právě IR izolační fólie, které přilnou přímo na skla oken, nemají ani zdaleka tak dobré izolační vlastnosti, jak je udávají prodejci na svých webových stránkách. Podle výsledků měření má nízké tepelně-izolační schopnosti (relativně vysokou měrnou tepelnou vodivost a nízký odpor vedení tepla) a neosvědčila se ani při experimentu v praxi.

Nutno uvést, že investice do těchto drahých IR izolačních fólií se jen tak nevrátí.

Pomocí přístroje Alambeta se podařilo zjistit tepelné vlastnosti všech zkoumaných materiálů, které se dají porovnat:



Na přístroji Skin model bylo zjištěno, že hustota tepelného toku se snížila při zakrytí plochy čidla přístroje tunýlkovou fólií č.5 o cca 44 %.



Experimentem bylo zjištěno, že za stejných okolních podmínek byly průměrné naměřené hodnoty teploty uvnitř dané místnosti s nezakrytým oknem $12,2^{\circ}\text{C}$, se zakrytým oknem tunýlkovou fólií $17,8^{\circ}\text{C}$, tzn. tunýlek na okně za daných podmínek udržel o 32% vyšší teplotu.

Lze předpokládat podle výpočtu odhadů, že se tepelné ztráty sníží při zakrytím skel oken tunýlkovou fólií.

Základní tepelné ztráty tímto jedním daným oknem (poměr plochy okna a ostatních stěn 1:19) se mohou snížit cca o 48,6 % (vypočítáno pro maximální projektované rozdíly teplot), přičemž záleží na mnoha faktorech: na vlhkosti, na venkovní teplotě, velikosti plochy oken, vlastnostech materiálů stěn, celkovém zateplení budovy, na osálení sluncem stěn, Základní ztráty dané konkrétní místnosti (o rozměrech $1,8 \times 2,6 \times 2,2\text{m}$) se mohou

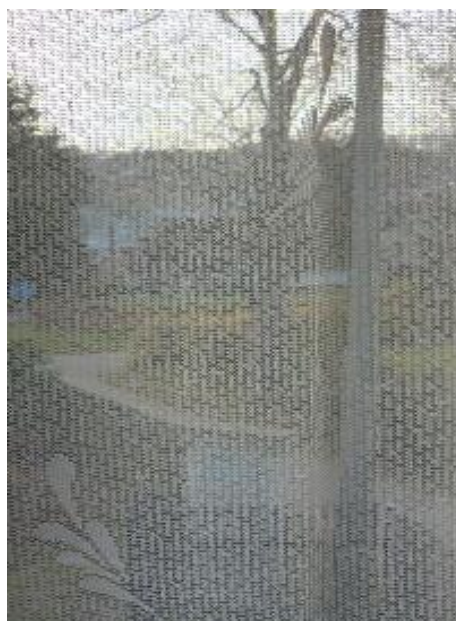
celkem snížit o cca 14,44 % a celkové tepelné ztráty o min. cca 10,6 % (záleží nejen na vytápění okolních místností).

Z výsledků měření lze předpokládat, že materiál zajistí za určitých podmínek dostatečně vysokou tepelnou izolaci oken a tím se několikanásobně sníží celkové tepelné ztráty budov, což se nejvíce projeví u velkoplošných zasklených stěn.

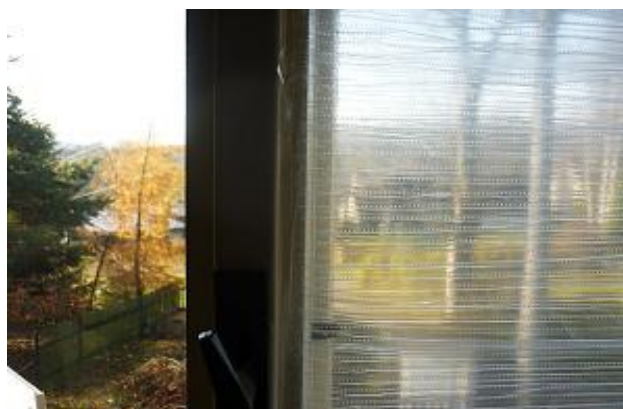
Nejjednodušší a nejlevnější způsob výroby tunýlkového tvaru, s dutými izolačními prostory, by mohlo být strojové automaticky řízené spojování ultrazvukem polyesterových fólií.

Ukázky celkového vzhledu oken s různými typy záclon a fólií:

Pohled z okna zakrytým běžnou textilní záclonou / z okna zakrytým tunýlkovou fólií



Pohled z okna přes čiré čisté průhledné 3mm sklo / sklo zakryté tunýlkovou fólií č.5



Seznam použité literatury:

- [1] Termomechanika a mechanika tekutin - Ing. Jan Urbášek, CSc., Liberec, 2005
- [2] Interní norma - č. 23-304-02/01 Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta
- [3] Úvod do komfortu textilií - Hes L., Sluka P., Skriptum TUL-FT, 2005
- [4] Tepelné bariéry - Kuneš J. a kol., Academia 2003
- [5] Technika prostředí - Smolík J. kol, SNTL/ALFA 1970
- [6] www.pucalka.cz
- [7] <http://tzb.fsv.cvut.cz/veda/>
- [8] www.ewf.cz/tepelne-izolacni-folie.php
- [9] www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2896
- [10] Vlastní poznatky a zápisky ze studentských let
- [11] A heat transfer textbook III. - Prof. John Lienhard IV a V., Cambridge, Massachusetts, U.S.A., 2005
- [12] Termomechanika - Doc. Ing. Josef Olehla, CSc., Liberec, TUL-FS, 1992
- [13] www.next.cz
- [14] www.izolace.cz

Přílohy

Obrázky :

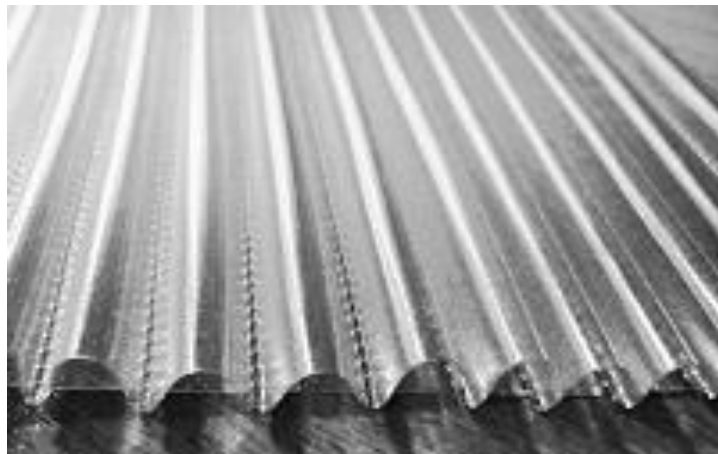
Obr. Př.1 Materiál č.1- klasická textilní záclona



Obr.Př.2 Materiál č.2 - IR fólie



Obr.Př.3 Materiál č.3 - jednoduchá fólie



Obr.Př.4 Materiál č.4 - Tunýlková fólie (*modré3+3*)



Obr.Př.5 Materiál č.5 (*5+5*)



Obr.Př.6 Materiál č.6 (*Červená 6+7*)



Obr.Př.7 Materiál č.7 (*1+7menšíΦ*)



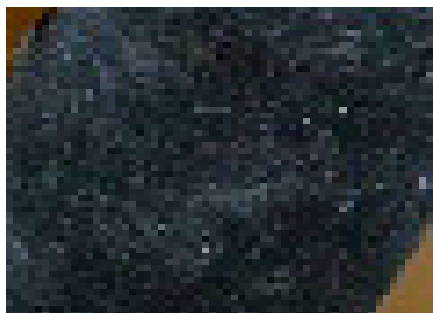
Obr.Př.8 Materiál č.8 (*vvvvv*)



Obr.Př.9 Materiál č.9 (*trojsystém (c)*)



Obr.Př.10 Materiál č.10 - černý samet



Tabulky

Tab. Př.1. Výpočet tepelných ztrát dané místnosti bez zakrytí okna

	<i>plocha bez otvoru</i> m^2	k	Δt (K)	Q_z (W)
stěna č.1	2,52	0,68	42	71,8
2	5,72	1,81	9	93,29
3	2,76	2,73	4	30,18
4	5,72	2,73	4	62,56
podlaha	4,68	1,21	19	107,42
strop	4,68	0,51	4	9,55
okno(1,2x1,2m)	1,44	2,7	42	163,3
dveře	1,2	2,3	4	11,04
ΣS	28,72 m^2			$\Sigma Q_z = 549,14W$
Q_p	přirážka 1,06 . Q_z = 582,09 W			
Q_v	165,11 W			
Q_c	747,2 W			

Tab.Př.2. Výpočet tepelných ztrát dané místnosti s oknem zakrytým tunýlkovou izolační fólií

	<i>plocha bez otvoru</i> m^2	k	Δt (K)	Q_z (W)
stěna č.1	2,52	0,68	42	71,8
2	5,72	1,81	9	93,29
3	2,76	2,73	4	30,18
4	5,72	2,73	4	62,56
podlaha	4,68	1,21	19	107,42
strop	4,68	0,51	4	78,48
okno(1,2x1,2m)	1,44	1,39	42	84
dveře	1,2	2,3	4	11,04
ΣS	28,72 m^2			$\Sigma Q_z = 469,84$ W
Q_c	672 W			