

# Vplyv druhu dreveny na tepelnoizolačné vlastnosti okien

**Ing. Pavol PANÁČEK, PhD.**

SLOVENERGOokno, Bratislava

**Prof. Ing. Anton PUŠKÁR, PhD.**

Stavebná fakulta STU v Bratislave

**Ing. Marek POLÁŠEK, PhD.**

Mendelova univerzita v Brně,

Zkušebna STV, pracoviště Zlín

## 1. Úvod

Tepelnoizolačné vlastnosti okien sú zisťované meraním alebo výpočtom podľa európskych noriem. Meranie sa vykonáva na referenčných rozmeroch okien v klíma – komore, pričom sú simulované rôzne tepelné podmienky na vonkajšej a vnútornej strane okna. Výpočtom sa stanovuje súčiniteľ prechodu tepla okna ako vážený priemer podielu rámovej časti a presklenej časti so zohľadnením stratových súčiniteľov ovplyvnených okrajom zasklenia. Pri výpočte súčiniteľa prechodu tepla sa používajú tabuľkové alebo výpočtové hodnoty materiálových charakteristík. Tabuľkové hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti dreva významne ovplyvňujú vypočítané hodnoty celej konštrukcie. Tieto hodnoty sú v európskych normách stanovené obecné pre danú drevinu nezávisle od miesta rastu. Aplikovaním tabuľkových hodnôt súčiniteľa tepelnej vodivosti dreva sa získavajú rôzne (nevýhodnejšie) výsledky súčiniteľa prechodu tepla oproti výsledkom nameraných v klíma – komore. Pritom je možné očakávať, že pri známom vplyve podmienok na viaceré vlastnosti dreva budú namerané hodnoty ovplyvnené aj geografickými podmienkami rastu dreveny, z ktorej boli výrobky vyrobené.

Na odstránenie tohto handicapu dreva oproti iným materiálovým bázam, najmä PVC, z ktorých sú okná vyrábané, je nutné poznať hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti dreva rastúceho na území Česka a Slovenska, s cieľom možnosti úpravy vypočítaných alebo nameraných hodnôt súčiniteľa prechodu tepla okien. V tomto príspevku na príklade dreveny smrek resp. jedle, ktoré sú najviac zastúpené vo výrobe okien v SR a ČR, je dokumentovaný spôsob riešenia tohto problému, ktorý ešte čaká na svoju realizáciu.

## 2. Stav a predpoklady

Na rozdiely medzi výpočtovou a nameranou hodnotou súčiniteľa prechodu tepla okna poukazuje aj SPECHT [2005]. Ním zistené výsledky u plastových profilov sú



v neprospech vypočítaných hodnôt. Iste, ak takéto rozdiely sú zisťované u plastového profilu, ktorý je kvázi homogénny materiál, nie sú prekvapujúce podobné výsledky u dreva, anizotropného materiálu.

Tepelnoizolačné vlastnosti dreva nie sú bežne zisťovanou vlastnosťou, nachádzajúcou sa v odbornej literatúre. Známe

sú staršie a niektoré novšie práce skúmajúce závislosť medzi hustotou dreva a súčiniteľom tepelnej vodivosti [KOLLMANN 1982], [ZI-TAO a kol. 2011]. Hustota dreva je základnou charakteristikou zisťovanou pri skúmaní ktorýchkoľvek vlastností dreva alebo účinkov technologických podmienok na tieto vlastnosti. Z toho dôvodu sme sa pri riešení tohto problému zamerali najmä na doposiaľ zistené hodnoty hustoty dreveny smrek pochádzajúceho z územia terajšej SR. Najrozsiahlejším doteraz vykonaným výskumom bol výskum vykonaný koncom päťdesiatych rokov a v šesťdesiatych rokoch minulého storočia [JANOTA. a ŠKRIPENĚ 1960].

Na základe vyhodnotenia výsledkov aj tohto výskumu bolo pristúpené Štátnym drevárskym výskumným ústavom Bratislava v rokoch 1962 až 1965 k výskumu vlastností bezchybného dreva smreka, jedle a borovice, pričom sa už nesledovali vlastnosti dreva podľa lokalít. Na 73 piliarskych závodoch (v celej bývalej ČSSR) bolo odobratých 6 712 ks vzoriek reziva podľa zásad náhodného výberu. Po klimatizácii materiálu boli

Tabuľka 1 – Hustota a mechanické vlastnosti smrekového dreva [KOŽELOUH 1974]

Vlastnosť	Smrek			
	Slovensko		Čechy a Morava	
	priemerná hodnota	variačný koeficient [%]	priemerná hodnota	variačný koeficient [%]
Hustota $\gamma_{12}$ (kg/m <sup>3</sup> )	412	14,1	459	14,3
Pevnosť v ohybe [MPa]	71,5	16,2	81,0	15,2
Modul pružnosti v ohybe [MPa]	9550	17,0	10730	17,4
Pevnosť v tlaku v smere vlákien [MPa]	40,7	14,7	45,6	14,9
Pevnosť v šmyku [MPa]	8,1	15,3	8,6	15,8

Tabuľka 2 – Hustota a mechanické vlastnosti jedľového dreva [KOŽELOUH 1974]

Vlastnosť	Jedľa			
	Slovensko		Čechy a Morava	
	priemerná hodnota	variačný koeficient [%]	priemerná hodnota	variačný koeficient [%]
Hustota $\gamma_{12}$ (kg/m <sup>3</sup> )	407	13,0	443	15,0
Pevnosť v ohybe [MPa]	68,1	16,7	76,7	17,0
Modul pružnosti v ohybe [MPa]	8780	15,5	10000	16,8
Pevnosť v tlaku v smere vlákien [MPa]	38,5	13,7	43,2	14,5
Pevnosť v šmyku [MPa]	8,1	17,4	8,2	19,4

zo vzoriek vyrobené skúšobné telesá prierezu 2x2 cm na skúšky pevnosti a modulu pružnosti v ohybe, pevnosti v tlaku rovnobežne s vláknami a na stanovenie hustoty a vlhkosti [TOKOŠOVÁ 1983]. Zistené základné štatistické charakteristiky drevín smrek a jedľa sú v tabuľkách 1 a 2 [LEHOTSKÝ a kol. 1978] a rozloženie hustoty na obr. 4 [KOŽELOUH 1974].

Výsledky rozsiahleho, vecne a ekonomicky zdôvodneného výskumu fyzikálno-mechanických vlastností dreva najdôležitejších ihličnatých drevín (smrek, jedľa, borovica), získané v Štátnom drevárskom výskumnom ústave, sa stali v bývalom Československu všeobecne platné a boli podkladom pre výpočtové namáhania dreva v norme pre navrhovanie drevených stavebných konštrukcií (ČSN/STN 73 1701). Norma bola platná do prijatia Eurokódov v roku 2010. V skutočnosti bol týmto výskumom preskúmaný celý základný súbor ihličnatého dreva v ČR a SR (smrek, jedľa, borovica) [TOKOŠOVÁ 1983]. Parametre základného súboru pre skúmané dreviny smrek a jedľa boli využité aj v našej práci pri stanovení

súčiniteľa tepelnej vodivosti smrekového a jedľového dreva rastúceho na území SR.

Tepelná vodivosť je materiálou konštantou, ktorá udáva množstvo tepla, prechádzajúce jednotkou plochy a hrúbky materiálu za jednotku času pri jednotkovom tepelnom spáde. Z doterajších experimentálnych výsledkov je známe, že súčiniteľ tepelnej vodivosti tuhých látok klesá s hustotou. Medzi tepelnou vodivosťou v smere vlákien dreva a v smere kolmo na vlákna je skoro dvojnásobný rozdiel. Na tepelnú vodivosť dreva vplyva aj jeho vlhkosť. S vlhkosťou dreva sa jeho tepelná vodivosť zväčšuje [TRÁVNIK 1952]. Súčiniteľ tepelnej vodivosti je najdôležitejšou hodnotou na posúdenie tepelných vlastností daného materiálu. Kollmann [1982] uvádza pre závislosť súčiniteľa tepelnej vodivosti kolmo na vlákna dreva od hustoty rovnicu:

$$\lambda = 0,168 \cdot r_u + 0,022 \quad (1)$$

kde  $\lambda$  je súčiniteľ tepelnej vodivosti v [kcal/mh<sup>°</sup>]  
 $r_u$  hustota dreva v [g/cm<sup>3</sup>]

v jednotkách SI má rovnica (1) tvar:

$$\lambda = 0,144 \cdot 10^{-3} \cdot \rho + 0,019 \quad (2)$$

kde  $\lambda$  je súčiniteľ tepelnej vodivosti v [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]  
 $\rho$  hustota dreva v [kg.m<sup>-3</sup>]

Pre smrek hustoty 410 kg.m<sup>-3</sup> podľa Kollmanna [1982] s abs. vlhkosťou dreva 15%, po prepočte podľa rovnice (2), vychádza súčiniteľ tepelnej vodivosti  $\lambda = 0,078$  [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>].

Z novších výsledkov, Mrlík [1985] uvádza priemerné hodnoty súčiniteľa tepelnej vodivosti v tabuľke 4.

Porovnaním výsledkov podľa Kollmanna [1982] a Mrlíka [1985] je zrejmy významný rozdiel v hodnotách súčiniteľa tepelnej vodivosti smrekového dreva. Ide s veľkou pravdepodobnosťou o systémovú odchýlku zapríčinenú metódou merania alebo zariadením na meranie. Na porovnanie, výpočtová hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti podľa STN EN ISO 10077-2: 2004 (Tepelnotechnické vlastnosti okien, dverí a okeníc. Výpočet súčiniteľa prechodu tepla. Časť 2: Numerická metóda pre rámy), podľa ktorej sa počíta v súčasnosti súčiniteľ prechodu tepla drevených profilov okien (mäkké drevo) je  $\lambda = 0,13$  [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>].

### 3. Postup prác a výsledky

Platnosť vzťahu medzi hustotou dreva a súčiniteľom tepelnej vodivosti [KOLLMANN 1982] bola overená na vzorke získanej z bežnej výroby okien od výrobcu používajúceho lepené hranoly vyrobené z dreveniny SM/JD vyťaženej z lesov SR oblasti Oravy.

Merania boli realizované na vzorkách dreveniny smrek rozmeru ( 500 x 500) mm, metódou chránenej teplej dosky podľa STN EN 12 667, kde tepelný tok bol rovnobežný s prevažne tangenciálnym priebehom drevených vlákien vzorky. Abs. vlhkosť dreva vzoriek bola 10%.

Súčiniteľ tepelnej vodivosti v podmienkach ustáleného teplotného stavu je daný vzťahom:

$$\lambda = \frac{q_d \cdot d_m}{T_{hd} - T_{cd}} \quad (W/m.K) \quad (3)$$

kde  $q_d$  výpočtová hodnota hustoty tepelného toku

$d_m$  priemerná hodnota hrúbky skúšobnej vzorky

$T_{hd}$  povrchová teplota vzťažnej teplej plochy skúšobnej vzorky

$T_{cd}$  povrchová teplota vzťažnej chladnej plochy skúšobnej vzorky

Tabuľka 3 – Vplyv smeru vlákien dreva na súčiniteľ tepelnej vodivosti podľa Griffitha a Kaye [Kollmann 1982]

Druh dreva	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Obsah vlhkosti [%]	Priemerný súčiniteľ tepelnej vodivosti pri teplote 20 °C [kcal/mh <sup>°</sup> ]				
			namerané			vypočítané	
			$\lambda$	$\lambda_{\perp rad}$	$\lambda_{\perp rg}$	$\lambda/\lambda_{\perp rg}$	$\frac{\lambda_{\perp rad} + \lambda_{\perp rg}}{2}$
jaseň	0,74	15	0,2628	0,1512	0,1404	1,87	0,146
smrek	0,41	16	0,1908	0,1044	0,0900	2,12	0,097
mahagón	0,70	15	0,2664	0,1440	0,1332	2,00	0,139
vlašský orech	0,65	12	0,2844	0,1260	0,1188	2,39	0,122

Tabuľka 4 – Súčiniteľ tepelnej vodivosti dreva, priemerné hodnoty [Mrlík 1985]

Vlhkosť $u_m$ [%]	Súčiniteľ tepelnej vodivosti $\lambda$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]		
	buk	dub	smrek
0	0,140	0,123	0,080
5	0,150	0,133	0,087
10	0,159	0,144	0,094
15	0,169	0,154	0,101
20	0,180	0,165	0,108
25	0,189	0,175	0,115
30	0,200	0,186	0,122

Tabuľka 5 – Výsledky merania súčiniteľa tepelnej vodivosti na vzorkách smrekového dreva a porovnanie s vypočítanou hodnotou podľa rovnice (2)

Rastová oblasť	Hustota dreva $\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	Hrúbka $d_m$ [m]	Rozdiel teplôt $T_m$ [°C]	Tepelný odpor $R$ [m <sup>2</sup> .K/W]	$\lambda$ nameraný [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\lambda$ vypočítaný podľa (2) [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	$\lambda$ podľa [Mrlík 1985] [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
SR, Orava	418	0,070	10,44	0,7611	0,0923	0,079	0,094
SR, Rajecké Teplice	433	0,047	10,66	0,5097	0,0925	0,081	
SR, Makov	440	0,045	20,29	0,4921	0,0912	0,082	



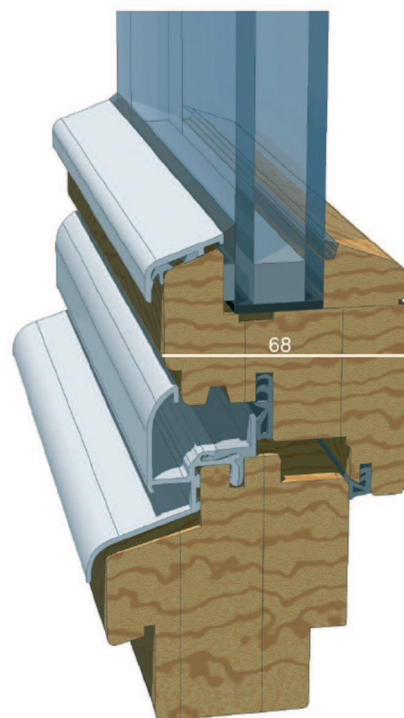
Merania súčiniteľa tepelnej vodivosti na náhodne vybraných vzorkách vykonalo akreditované laboratórium Applied Precision s.r.o. Bratislava. Namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 5. Súčasne sú v tabuľke uvedené tieto hodnoty vypočítané podľa rovníc (2 a 3).

Vypočítaná regresná rovnica z výsledkov merania v tabuľke 5 má tvar:

$$\lambda = \rho \cdot 10^{-5} + 0,0877 \quad (4)$$

kde  $\lambda$  je súčiniteľ tepelnej vodivosti v  $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$   
 $\rho$  hustota dreva v  $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$

Vypočítaná priemerná hodnota súčiniteľa tepelnej vodivosti pre drevinu smrek zo Slovenska (SR) na základe predchádzajúceho výskumu [KOŽELOUH 1974] je  $\lambda = 0,092$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ . Vypočítané hodnoty súčiniteľa prechodu tepla drevených okenných profilov reálnej konštrukcie a tvaru ( $U_f$ ) metódou konečných prvkov programom AREA 2010



Tabuľka 6 – Výsledky výpočtu súčiniteľa prechodu tepla ( $U_f$ ) metódou konečných prvkov pre drevené profily okien s použitím súčiniteľa tepelnej vodivosti pre smrek  $\lambda_{\text{SM SR}} = 0,092$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

profil	IV 68	IV 72	IV78	IV 82	IV 88	IV88 AIROTHERM
$U_f$ ostenie	1,1	1,0	0,97	0,92	0,88	0,85
$U_f$ prapet	1,2 **)	1,1	1,1	1,0	0,92	0,88
$U_f$ (priem*)	1,1	1,05	1,0	0,94	0,89	0,85

Poznámka: Číslo za označením IV znamená hrúbku profilu v mm, pozri aj STN 74 6101-1.

\*) okno (1,23x1,48) m

\*\*\*) termoodkvapnica

Tabuľka 7 – Výsledky výpočtu súčiniteľa prechodu tepla ( $U_f$ ) metódou konečných prvkov pre drevené profily okien s použitím súčiniteľa tepelnej vodivosti pre mäkké drevo  $\lambda_{\text{EÚ}} = 0,13$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$

profil	IV 68	IV 72	IV78	IV 82	IV 88	IV88 AIROTHERM
$U_f$ ostenie	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
$U_f$ prapet	1,5 **)	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
$U_f$ (priem*)	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1

\*) okno (1,23x1,48) m

\*\*\*) termoodkvapnica

Tabuľka 8 – Porovnanie nameraných hodnôt súčiniteľa prechodu tepla okna  $U_w$  v klima – komore podľa STN EN ISO 12567-1 s vypočítanými podľa STN EN ISO 10077-1.

profil	IV 68	IV78	IV 88	IV88 AIROTHERM
$U_w$ namerané	1,3 <sup>1)</sup>	0,78 <sup>2)</sup>	0,91 <sup>3)</sup>	0,79 <sup>4)</sup>
$U_w$ vypočítané s $\lambda_{\text{EÚ}} = 0,13$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	1,4	1,0	1,0	0,87
$U_w$ vypočítané s $\lambda_{\text{SM SR}} = 0,092$ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	1,3	0,86	0,83	0,80

<sup>1)</sup> AL-HAJJAR [2009] Drevené okno IV 68, IS: Planitherm Ultra-16 nerez, Ar.-F4  $U_g=1,1$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

<sup>2)</sup> PUŠKÁR [2011] Drevené okno IV 78, IS: Nitterm Plus 4-12-4-12 nerez, Ar.-F4,  $U_g=0,5$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

<sup>3)</sup> PUŠKÁR [2011] Drevené okno IV 88, IS: 4-14-4-14 nerez, Ar.-F4,  $U_g=0,6$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

<sup>4)</sup> PUŠKÁR [2011] Drevené okno IV 88<sub>AIR</sub>, IS: 4-14-4-14 Swisspacer, Ar.-F4,  $U_g=0,6$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$

s použitím  $\lambda_{\text{SM SR}}$  sú v tabuľke 6. Na porovnanie sú v tabuľke 7 uvedené hodnoty  $U_f$  vypočítané s použitím tabuľkovej hodnoty (STN EN ISO 10077-2:2004) súčiniteľa tepelnej vodivosti pre mäkké drevo  $\lambda_{\text{EÚ}} = 0,13$   $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ .

Porovnanie nameraných hodnôt súčiniteľa prechodu tepla celého okna v klima – komore metódou podľa STN EN ISO 12567-1 s vypočítanými podľa STN EN ISO 10077-1 je uvedené v tabuľke 8.

#### 4. Záver

Z výsledkov merania súčiniteľa tepelnej vodivosti uvedených v tabuľke 5 vyplýva, že nami namerané hodnoty sú bližšie hodnotám, ktoré uvádza [Mrlík 1985]. Rozdiely oproti Kollmanovi [1982] môžu byť spôsobené výberom dreva a metodikou merania. Naše merania boli vykonané na vzorkách získaných priamo od výrobcu drevených okien.

Vypočítaná regresná rovnica z výsledkov merania je dobre použiteľná aj na stanovenie súčiniteľa tepelnej vodivosti pre územie Českej republiky. Namerané hodnoty sme aplikovali priamo do výpočtu súčiniteľa prechodu tepla ( $U_f$ ) metódou konečných prvkov pre drevené profily okien tabuľka 6 a 7.

Takto vypočítané hodnoty súčiniteľa prechodu tepla drevených profilov boli ďalej aplikované do výpočtu celého okna podľa STN EN ISO 10077-1. Výsledky boli porovnané s nameranými hodnotami v klima-komore získanými skúšaním podľa STN EN ISO 12567-1 [AL-HAJJAR 2009], [PUŠKÁR

2011]. Porovnanie je uvedené v tabuľke 8. Namerané hodnoty súčiniteľa prechodu tepla drevených okien sú zhodné alebo veľmi blízke vypočítaným, za použitia nami zisteného súčiniteľa tepelnej vodivosti smrekového dreva meraním.

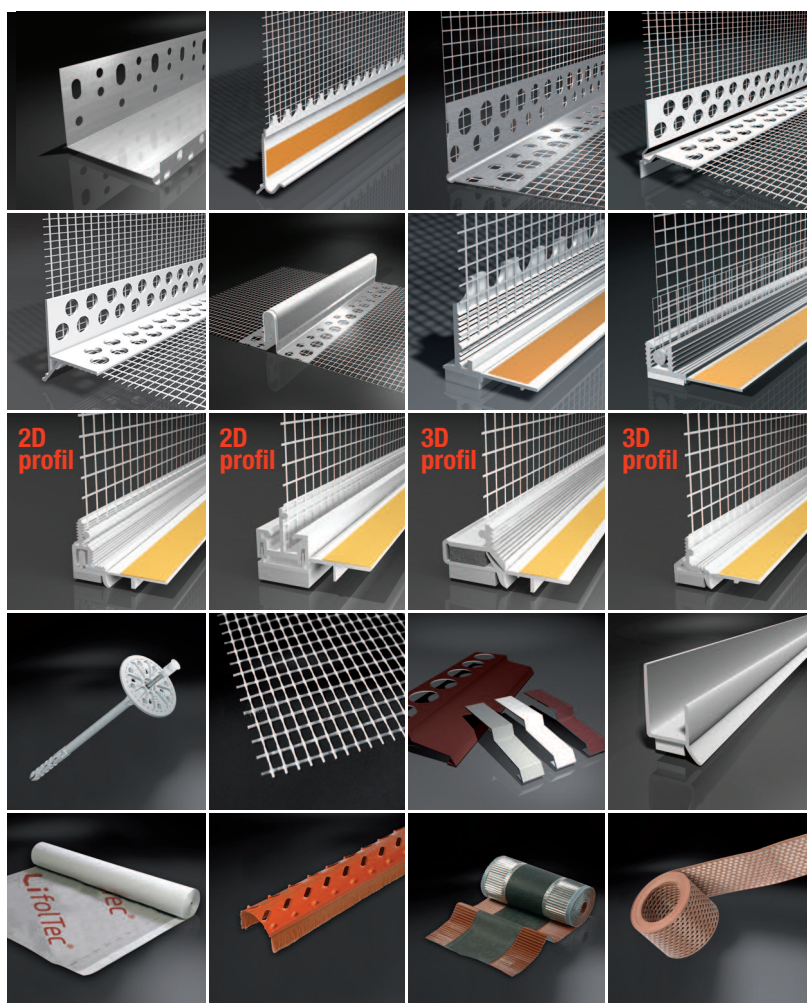
Pri hodnotení okien z dreva sú zisťované rozdiely medzi súčiniteľom prechodu tepla zisteným normovanými metódami meraním a výpočtom. Vykonaným výskumom bola potvrdená hypotéza, že normovaný súčiniteľ tepelnej vodivosti používaný vo výpočte znevýhodňuje výrobky a výrobcov drevených okien v porovnaní s výrobcami okien ostatných materiálových báz v súťaži na trhu.

Uvedený výskum je len na počiatku. Na získanie preukazných výsledkov, ktorými by mohla byť doplnená STN (ČSN) EN ISO 10077-2 na výpočet súčiniteľov prechodu tepla drevených profilov je nutné vykonať rozsiahly výskum dreva z väčšiny domácich drevín používaných na okenné konštrukcie z rôznych rastových oblastí ČR a SR. Na realizáciu uvedeného je potrebné založiť výskumnú úlohu s účasťou každej zo zainteresovaných republík a výrobných podnikov – používateľov výsledkov výskumu. Realizácia navrhovaného výskumu môže

viest k zvýšeniu konkurencieschopnosti drevených okien a v neposlednom rade aj rozvoju ich výroby spojenej so zvýšením zamestnanosti v drevárskom odbore v oboch republikách.

#### Literatúra

1. SPECHT, K.: What is „correct“ U-value, International Rosenheimer Window & Facade Conference, 2005, s. 111
2. KOLLMANN, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2. Aufl., 1. Band, 1982 s. 507–510
3. JANOTA, I. – ŠKRIPEŇ, J.: Vlastnosti jedle a smreka niektorých oblastí na Slovensku, DREVÁRSKY VÝSKUM, Zborník prác z odboru výskumu dreva, Ročník 5, číslo 1, 1960
4. TOKOŠOVÁ, M.: nepublikované materiály, 1983
5. LEHOTSKÝ, P. a kol.: Ročenka 1978 pre drevársky, celulózársky a papiernický priemysel, ALFA Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, Praha 1978, s. 59–61
6. KOŽELOUH, B.: Parametry objemové hmotnosti dreva, DREVO československý odborný drevársky časopis, ALFA, 1974, s. 356
7. TRÁVNÍK, A. a kol.: Technológia dreva, Drevársky výskumný ústav v Bratislave, 1. zväzok, 1952, s. 240
8. MRLÍK, F.: Vlhkostné problémy stavebných materiálov a konštrukcií, Alfa Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, 1985, s. 178
9. AL-HAJJAR, N.: Tepelné hodnoty otvorových výplní – prehľad noriem a posúdenie výsledkov, In: Zborník prednášok odborného seminára Drevené okná, dvere, schody, Hranice 2009, s. 76–79
10. PUŠKÁR, A.: Súčasný stav okenných konštrukcií a predpoklady vývoja, OKNOviny, 2, 2011, s. 6
11. ZI-TAO, Y. a kol.: Experimental Measurements of Thermal Conductivity of Wood Species in China: Effects of Density, Temperature, and Moisture Content, Forest Prod. J. 61(2): 130–135.



system stavebných profilů  
příslušenství pro střechy

LIKOV s.r.o.  
Blanenská 1859  
664 34 Kuřim, Česká republika  
tel.: +420 541 552 501  
fax: +420 541 552 508  
e-mail: obchod@likov.com

[www.likov.com](http://www.likov.com)



ČESKÝ VÝROBCE

