

OSOVÁ ÚNOSNOSŤ SKRUTIEK DO DREVA POUŽÍVANÝCH V KONŠTRUKCIÁCH NÁBYTKU

AXIAL BEARING CAPACITY OF WOOD SCREWS USED IN FURNITURE CONSTRUCTIONS

Pavol Joščák – Ivana Veľká – Lukáš Poláčik

ABSTRACT

The paper is focused on experimental determination of the axial bearing capacity of wood screws with diameters 3, 4 and 6 mm, and on the suitability of using the analysis model from EC 5 to determine the characteristic resistance for use in the dimensioning of screw joints of furniture constructions. It was found that woody species have a significant influence on the bearing capacity. Bearing capacity of screw in beech wood is on average 2.5 times higher than the bearing capacity in spruce wood. Diameter of the screw has a great influence on the bearing capacity too. Bearing capacity of screws with the diameter 6 mm is 3.3 times higher than for screws with a diameter of 3 mm. The highest bearing capacity was achieved in the radial direction; lower in the tangential and the lowest in the axial direction. Model for calculating the characteristic values of the axial bearing capacity according to EN 1995-1-1 + A1 (2008) can be used directly for spruce wood for the screws of diameters 3–6 mm in all three directions. This model can be used also for beech wood, either directly or with the correction coefficients.

Keywords: axial bearing capacity, beech wood, spruce wood, furniture construction, wood screw.

ÚVOD

Skrutky do dreva sú jedným z najpoužívanějších spájacích prostriedkov v konštrukciách nábytku na spájanie konštrukčných prvkov z dreva a drevných materiálov.

Pevnostnými vlastnosťami skrutkových spojov sa zaoberali viacerí autori. Medzi najznámejších patria ECKELMAN (1988), KJUCUKOV, ENCEV (1977), SMARDZEWSKI (2005), ktorí sa zaoberali prevažne skúmaním faktorov na pevnosť a tuhosť spojov. HANSEN (2005) skúmal mechanické vlastnosti samorezných skrutiek do dreva (osová únosnosť, strihová únosnosť a pretiahnutia hlavy skrutky).

Výskumy v tomto smere boli vykonávané aj u nás. Skúmaniu pevnostných vlastností skrutkových spojov sa venovali ŠURIKOVÁ, KOSKA (1999). Tiež skúmali únosnosť na vytiahnutie, ktorá bola charakterizovaná silou potrebnou na mechanické porušenie daného spojenia.

Pre účely navrhovania drevených stavebných konštrukcií sú v norme STN EN 1995-1-1 (2008) uvedené výpočtové modely na stanovenie charakteristickej hodnoty osovej únosnosti skrutiek do dreva osadených kolmo na vlákna dreva, ktorých priemer je väčší ako 6 mm.

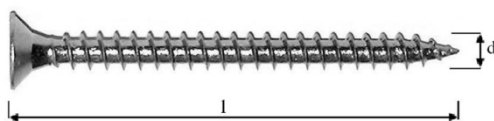
Pre skrutky do dreva, používaných v nábytkových konštrukciách, je v súčasnosti málo relevantných poznatkov o ich únosnosti, ktoré by boli vhodné na navrhovanie a dimenzovanie skrutkových spojov. Preto je práca zameraná na oblasť mechanických vlastností nábytkových skrutkových spojov. Cieľom je stanovenie charakteristických

osových únosností skrutiek do dreva s priemerom 3, 4 a 6 mm v smrekovom a bukovom dreve, ako aj posúdenie vplyvu rôznych faktorov. Ďalším cieľom je zhodnotenie vhodnosti použitia vybraného teoretického modelu na odhad charakteristickej únosnosti.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Skrutky do dreva

Pre overenie únosnosti boli vybrané samorezné skrutky do dreva so závitom po celej dĺžke drieku (obr. 1) s rozmermi $d \times l$; 3×40 mm, 4×45 mm a 6×60 mm so zápusným tvarom hlavy upraveným dvojitým krížom - pozidrive. Skrutky boli vyrobené z ocele s označením 11 350 a povrchovo upravené žltým zinkom. Priemery skrutiek boli zvolené tak, aby zahŕňali celý reálny rozsah pre nábytkové konštrukcie; minimum predstavuje priemer 3 mm a maximum priemer 6 mm (ten je zároveň minimom pre drevené stavebné konštrukcie). Pre potvrdenie skúmaných vlastností a vplyvov bol zvolený ešte jeden priemer, ktorý sa nachádza v danom intervale, t.j. priemer 4 mm.



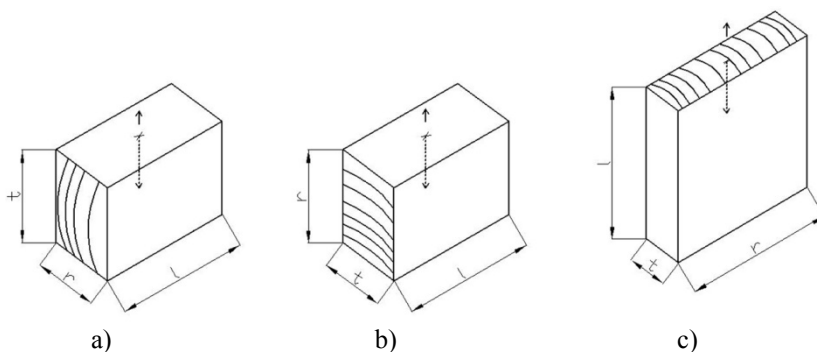
Obr. 1 Typ použitých skrutiek do dreva.
Fig. 1 Type of used wood screws.

Materiál

Na experiment boli použité drevinu buk (*Fagus Silvatica*) a smrek (*Picea Abies*), kvôli tomu, že buk predstavuje tvrdú drevinu a smrek mäkkú drevinu, čo možno využiť na dimenzovanie spojov na únosnosť aj pre iné drevinu používané vo výrobe nábytku. Telesá boli klimatizované na rovnovážnu vlhkosť 12 %.

Skúšobné telesá

Skúšobné telesá (obr. 2) boli vyrobené o rozmeroch podľa požiadaviek STN EN 1382 (1999). Podľa tejto normy boli zhotovené telesá o veľkosti 45×45 mm v priečnej rovine ($t \times r$) a v pozdĺžnom smere (l) bola ich veľkosť 120 mm pre skrutky s priemerom 3 a 4 mm. Pre skrutky s priemerom 6 mm boli zhotovené telesá 60×45 mm ($t \times r$) a dĺžky (l) 120 mm. Hĺbka zapustenia závitovej časti skrutky do dreva bola stanovená ako osemnásobok priemeru skrutky.



Obr. 2 Skúšobné telesá pre skrutky osadené v tangenciálnom (a), v radiálnom (b) a axiálnom (c) smere.

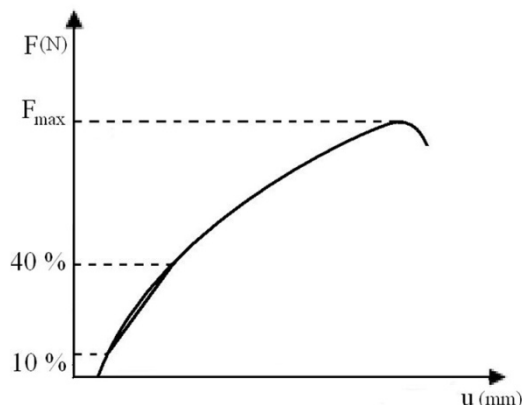
Fig. 2 Test specimens for wood screws which are embedded in tangential (a), radial (b) and axial (c) direction.

Skrutky do dreva boli do skúšobných telies zaskrutkované v troch smeroch (obr. 2); tangenciálnom, radiálnom a axiálnom. Skrutky s priemerom 3 a 4 mm boli zaskrutkované do smrekového dreva bez predvrtania, do bukového s predvrtaním. Skrutky s priemerom 6 mm sa do oboch drevín zaskrutkovali s predvrtaním podľa STN EN 1995-1-1 (2008).

Skúšky boli vykonávané na skúšobnom stroji FPZ 100/1. Namerané hodnoty boli zaznamenávané pomocou prístroja Almemo.

Postup skúšok

Postup skúšok na stanovenie únosnosti skrutkových spojov bol zvolený podľa STN EN 26891 (1995). Pre daný typ spoja sa určil odhad maximálneho zaťaženia F_{est} na základe predbežných skúšok. Statické zaťaženie sa zväčšovalo rovnomernou rýchlosťou do $0,4 F_{est}$ a na tejto hodnote sa udržovalo po dobu 30 sekúnd. Potom sa zaťaženie znížilo na $0,1 F_{est}$ a znovu udržovalo po dobu 30 sekúnd. Následne sa postupne zaťažovalo až po dosiahnutie porušenia spoja (obr. 3).



Obr. 3 Idealizovaný diagram zaťaženie – posunutie; F - osová sila, u – posunutie, F_{max} – osová únosnosť, 10% (40%) – sila veľkosti 10% (40%) z F_{est} .

Fig. 3 Theoretical diagram of the load - displacement, F - axial force, u - displacement, F_{max} - axial load capacity, 10% (40%) - a force of 10% (40%) of the F_{est} .

Zo zaznamenaných údajov každej skúšky sa stanovila osová únosnosť ako maximálna sila na vytiahnutie F_{max} . Charakteristická hodnota osovej únosnosti F_k , ako základná veličina na dimenzovanie skrutkových spojov používaných v nábytkových konštrukciách sa stanovila podľa vzťahu

$$F_k = k_1 \cdot F_x$$

kde koeficient k_1 bol stanovený na základe počtu skúšobných telies a variačného koeficienta podľa STN P ENV 1995-1-1 (2002).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Štatisticky spracované výsledky experimentálne zistených hodnôt osovej únosnosti skrutiek do dreva a charakteristických hodnôt sú pre drevinu smrek uvedené v tabuľke 1 a pre drevinu buk v tabuľke 2.

Na obrázkoch 4 a 5 sú znázornené osové únosnosti v závislosti od druhu drevinu, smeru zaťaženia a priemeru skrutky.

Tab. 1 Základné štatistické charakteristiky osovej únosnosti skrutiek do dreva pre drevinu smrek.

Tab. 1 Basic statistical characteristics of axial bearing capacity of wood screws for spruce wood.

Druh dreviny	Priemer skrutky (mm)	Smer namáhania	Osová únosnosť F_{max}				Charakt. hodnota F_k (N)
			Aritmetický priemer X (N)	Smerodajná odchýlka σ (N)	Variačný koeficient V (%)	Počet meraní n	
SM	3	T	1041,7	183,3	17,5	21	726,1
		R	1113,1	142,6	12,8	21	920,6
		A	782,3	250,0	31,9	21	388,0
	4	T	1630,1	229,1	14,0	22	1273,1
		R	1715,8	160,8	9,3	21	1503,1
		A	1272,7	241,7	18,9	21	887,1
	6	T	3022,0	319,3	10,5	15	2647,3
		R	3362,0	219,0	6,52	18	2945,2
		A	3055,8	464,3	15,1	21	2255,2

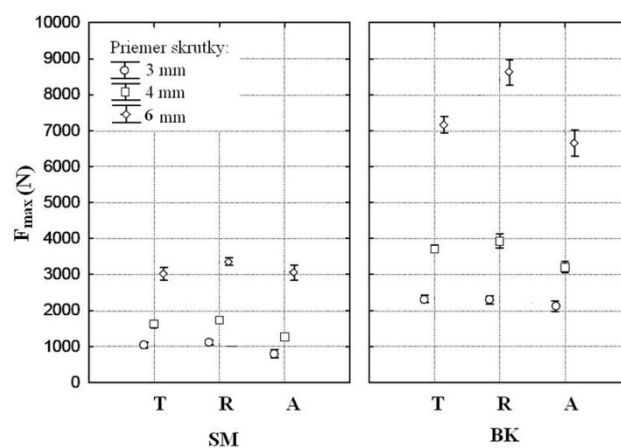
SM – smrek, T – tangenciálny, R – radiálny, A – axiálny

Tab. 2 Základné štatistické charakteristiky osovej únosnosti skrutiek do dreva pre drevinu buk.

Tab. 2 Basic statistical characteristics of axial bearing capacity of wood screws for beech wood.

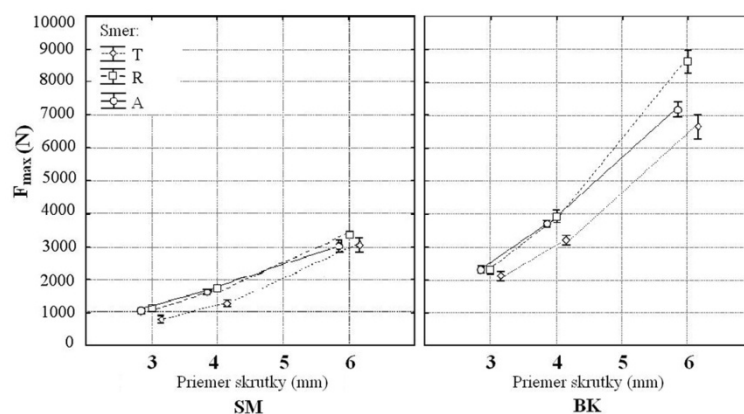
Druh dreviny	Priemer skrutky (mm)	Smer namáhania	Osová únosnosť F_{max}				Charakt. hodnota F_k (N)
			Aritmetický priemer X (N)	Smerodajná odchýlka σ (N)	Variačný koeficient V (%)	Počet meraní n	
BK	3	T	2324,9	209,3	9	20	2036,6
		R	2297,2	229,2	9,9	20	2012,4
		A	2124,1	253,6	11,9	16	1756,7
	4	T	3714,6	216,4	5,8	20	3254,0
		R	3934,3	387,8	9,8	18	3446,5
		A	3206,6	256,9	8,0	16	2809,0
	6	T	7169,9	397,4	5,5	16	6280,9
		R	8619,0	634,2	7,3	15	7550,2
		A	6647,5	705,4	10,6	17	5823,3

BK – buk, T – tangenciálny, R – radiálny, A – axiálny



Obr.4 Osová únosnosti skrutiek do dreva v závislosti od druhu dreviny a smeru ich osadenia v dreve.

Fig.4 Axial bearing capacities of wood screws, depending on the woody species and on the direction of screw embedded in wood.



Obr. 5 Osovú únosnosť skrutiek do dreva v závislosti od druhu dreveniny a priemeru skrutky.
Fig. 5 Axial bearing capacities of wood screws, depending on the woody species and on the screw diameter.

Z analýzy výsledkov vyplýva, že podstatný vplyv na osovú únosnosť skrutiek má *druh dreveniny*, resp. hustota dreva. Únosnosť skrutiek je pre dreveninu buk v priemere 2,3-krát vyššia ako pre dreveninu smrek, variačné rozpätie tohto násobku sa pohybovalo od 2,06 do 2,72. Variabilita nameraných hodnôt únosnosti, vyjadrená variačným koeficientom je vyššia pri smreku (v priemere 15 %) a nižšia pri buku (v priemere 8,6 %), čo je vyhovujúce vzhľadom na všeobecne vysokú premenlivosť mechanických vlastností spojov.

Z hľadiska *smeru osadenia skrutiek* boli najnižšie hodnoty dosiahnuté v axiálnom smere. O niečo vyššie (max. o 33 % pre smrek) boli v tangenciálnom smere a najvyššie v radiálnom smere (max. o 42 % tiež pre smrek). Pre buk sú tieto rozdiely menšie. Očakávali sme väčšie rozdiely medzi axiálnym a priečnym smerom. Rozdiely v smeroch nie sú teda z praktického hľadiska významné.

Najväčší vplyv na osovú únosnosť má však *priemer skrutky*. Rozdiel medzi únosnosťou skrutky s priemerom 3 mm a skrutky 6 mm je v priemere 3,3-násobkom (variačné rozpätie tohto násobku sa pohybovalo od 2,9 do 3,9). Platí to rovnako pre buk aj smrek.

Bolo vykonané aj porovnanie charakteristických hodnôt únosnosti zistených experimentálne (pre priečny smer boli do tabuľky zaradené nižšie hodnoty z tangenciálneho a radiálneho smeru) a hodnôt stanovených teoretickým výpočtom. Výsledky sú uvedené v tabuľke 3.

Porovnaním experimentálne zistených a vypočítaných charakteristických hodnôt osovej únosnosti skrutiek (tab. 3) sa ukázalo, že vypočítané hodnoty sú až na jeden prípad (smrek, priemer 3 mm, axiálny smer) nižšie ako experimentálne zistené hodnoty, čo je základným predpokladom pre použitie teoretického modelu. Pre dreveninu *smrek* sa tieto rozdiely pohybujú v rozpätí od -10 % do +48 % a teda možno konštatovať, že daný výpočtový model možno použiť aj pre skrutky od priemeru 3 mm do priemeru 6 mm a to aj pre pozdĺžny smer. Pre dreveninu *buk* sú rozdiely medzi experimentálnymi a teoreticky stanovenými hodnotami oveľa väčšie; v násobkoch od 1,46 do 2,59, čo možno pokladať za vysoký rozdiel. Spoje navrhnuté priamo podľa použitého výpočtového modelu by boli značne predimenzované. Navrhujeme použiť opravné koeficienty; pre priemer 3 mm koeficient 2,3; pre priemer 4 mm koeficient 1,8 a pre priemer 6 mm koeficient 1,3. Tým by boli podmienky pre dimenzovanie spojov prijateľnejšie.

Tab. 3 Porovnanie experimentálne zistených a teoreticky stanovených osových únosností skrutiek do dreva.

Tab. 3 Comparison of experimentally determined and theoretically calculated values of bearing capacity of wood screws.

Drevina	Priemer skrutky (mm)	Smer namáhania	Experimentálna únosnosť		Teoretická únosnosť
			Aritmetický priemer \bar{x} (N)	Charakteristická hodnota F_k (N)	Charakteristická hodnota $F_{ax,k,Rk}$ (N)
SM	3	⊥	1041,7	726,1	518,4
		∥	782,3	388,0	432*
	4	⊥	1630,1	1273,1	1034,1
		∥	1271,7	887,1	861,6*
	6	⊥	3055,8	2945,2	2736,4
		∥	3022,1	2255,2	1520,1*
BK	3	⊥	2297,3	2012,4	813,7
		∥	2124,2	1756,7	678*
	4	⊥	3714,7	3254,0	1623,1
		∥	3206,6	2809,0	1352,4*
	6	⊥	7169,9	6280,9	4294,9
		∥	6647,6	5823,3	3340,26*

SM – smrek, BK – buk, ⊥ - priečny, ∥ - pozdĺžny, *vo vzťahu (1) je $\alpha = 0$

Poznámka: Charakteristická hodnota odolnosti skrutky proti vytiahnutiu $F_{ax,k,Rk}$ pri namáhaní pod uhlom α k vláknám uvedená v tabuľke 3 bola stanovená podľa STN EN 1995-1-1 +A1 (2008):

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (N) \quad (1)$$

$$\text{kde: } f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} \quad (2)$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\}$$

- $f_{ax,k}$ – charakteristická pevnosť proti vytiahnutiu kolmo na smer vlákien ($N \cdot mm^{-2}$),
- k_d – súčiniteľ (v tomto prípade hodnota $d/8$),
- n_{ef} – účinný počet skrutiek (v tomto prípade hodnota 1),
- d – priemer skrutky (mm),
- l_{ef} – hĺbka vniknutia závitovej časti do dreva (mm),
- α – uhol medzi osou skrutky a smerom vlákien ($\alpha \geq 30^\circ$),
- ρ_k – charakteristická hustota dreva; smrek 371,7 a buk 652,8 ($kg \cdot m^{-3}$).

Doterajšie výskumy boli orientované na zisťovanie odporu proti vytrhnutiu skrutiek z dreva. TAJ (2009) uvádza pre buk osovú únosnosť skrutky priemeru 4,8 mm hodnotu 2690 N a pre topoľ hodnotu 1750 N. Naše hodnoty únosnosti sú pre buk a priemer skrutky 4 mm 1,4-krát väčšie. Naopak pri porovnaní s hodnotami z literatúry (EFE 2004 a HANSEN 2002) sú nami zistené únosnosti 1,7 násobne nižšie (pre skrutky priemeru 6 mm a drevo buk a smrek). Aj napriek značnému rozdielu, ktoré sú zapríčinené rozdielnymi podmienkami ich osadenia v dreve, možno považovať nami zistené hodnoty osovej únosnosti za zrovnateľné s hodnotami z literatúry.

Výsledky z literatúry, ako aj naše experimenty ukázali, že pevnosť skrutkových spojov na vytiahnutie je rôzna v závislosti od smeru zaskrutkovania, pričom najvyššie hodnoty sa dosahujú pri kolmých smeroch. Ďalej sa zistilo, že zvyšovanie hustoty a väčší priemer skrutky má priaznivý vplyv na pevnosť spoja.

ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov môžu byť vyvedené nasledovné závery:

- podstatný vplyv na osovú únosnosť skrutiek do dreva má druh dreviny; únosnosť v bukovom dreve je v priemere 2,5-krát vyššia ako únosnosť v smrekovom dreve
- veľký vplyv na únosnosť má aj priemer skrutky; únosnosť skrutky s priemerom 6 mm je v priemere 3,3-krát vyššia ako pre skrutky s priemerom 3 mm.
- rozdiely v osovej únosnosti spôsobené osadením skrutky v troch základných smeroch dreva neprekročili 50 % z únosnosti v axiálnom smere; najvyššia únosnosť bola dosiahnutá v radiálnom smere, nižšia v tangenciálnom a najnižšia v axiálnom smere.
- model pre výpočet charakteristických hodnôt osovej únosnosti podľa STN EN 1995-1-1 + A1 (2008) sa pre drevinu smrek dá použiť priamo pre priemery skrutiek od 3 mm do priemeru 6 mm pre všetky tri smery; pre drevinu buk sa daný model dá tiež použiť buď priamo (v tomto prípade budú spoje značne predimenzované), alebo s opravným koeficientom (ktorého hodnotu navrhujeme - pre priemer 3 mm 2,3; pre priemer 4 mm 1,8 a pre priemer 6 mm koeficient 1,3).

LITERATÚRA

- ECKELMAN, C.A. 1975. Screw-Holding Performance in Hardwoods and Particleboard. *Forest Products Journal* 1975. 25(6): 30–35.
- EFE, H., ERDIL, Z.Y., KASAL, A., IMIRZI, O.H. 2004. Withdrawal strength and moment resistance of screwed T-type end-to-side grain furniture joints. *Forest Products Journal*. 2004. 54: 91–97.
- HANSEN, K.F. 2002. Mechanical Properties of Self-Tapping Screws and Nails in Wood. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2002. 29: 725–733.
- KJUCUKOV, G., ENCEV, E. 1977. The Effect of Screw Dimensions on the Withdrawal Resistance in Beech Wood. *Holztechnologie*. 1977. 18(3): 149–151.
- SMARDZEWSKI, J., OŻARSKA, B. 2005. Rigidity of Cabinet Furniture with Semi-Rigid Joints of the Confirmat Type, In *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Wood Technology*, [online]. 2005, vol. 8. [cit. 2012-21-11]. Dostupné na internete: <http://www.ejpau.media.pl/articles/volume8/issue2/art-32.pdf>. ISSN 1505-0297
- STN EN 1382: 1999, Drevené konštrukcie. Skúšobné metódy. Únosnosť na vytiahnutie spájacích prostriedkov. 1999
- STN EN 1995-1-1 + A1: 2008. Eurokód 5. Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-1 Všeobecné – všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy. 2008
- STN EN 26891: 1995. Drevené konštrukcie. Spoje s mechanickými spojovacími prostriedkami. Všeobecné zásady stanovenia pevnostných a deformačných charakteristík. 1995
- STN P ENV 1995-1-1: 2002. Eurokód 5. Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby. 2002
- ŠÚRIKOVÁ, A., KOSKA, P. 1999. Drevovruty - kovové spojovacie prvky v konštrukčných spojoch. In *50 rokov vysokoškolského drevárskeho štúdia 1949–1999. Zborník referátov, Sekcia č. 2 – Nové aspekty v technológii a výskume dreva*. s. 117–121.
- TAJ, A.M., NAJAFI, K.S., EBRAHIMI, G. 2009. Withdrawal and lateral resistance of wood screw in beech, hornbeam and poplar. *Eur. J. Wood Prod.* 2009. (67): 135–140.

Adresa autorov

doc. Ing. Pavol Joščák, CSc., Ing. Ivana Veľká, Ing. Lukáš Poláčik
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra nábytku a drevárskych výrobkov
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
joscak @ vsld.tuzvo.sk

