

VLASTNOSTI A TRIEDENIE KONŠTRUKČNÉHO SMREKOVÉHO DREVA Z PRIZMY

PROPERTIES AND GRADING OF STRUCTURAL SPRUCE TIMBER FROM PRISM

Alena Rohanová - Vladimír Vacek – Erika Nunez

ABSTRACT

High strength structural timber is used for production of the load bearing structural members. The quality of the structural timber is categorized into strength classes determined by an appropriate grading method. A higher accuracy and reliability of timber quality assessment can also be attained by considering the timber position in a prism. The present contribution deals with quality grading of $side_{prism}$ and $core_{prism}$ using the destructive bending test and three non-destructive methods. The experiments were carried out on Norway spruce (*Picea abies*, L. Karst.) wood from Slovakia. The timber specimens were divided into two sets for the purpose of applying different testing methods. The first set of timber was tested by using the destructive bending test (STN EN 408). The expected differences in wood quality parameters such as modulus of elasticity, bending strength and density were quantified and confirmed along with the differences between $side_{prism}$ and $core_{prism}$ timber quality. The strength graded sawn timber has been allocated to the strength class “C”. The other set of timber was tested by using 3 non-destructive methods (flatwise bending (C_{CB}), vibration (C_{MTG}) and visual (C_{VIZ})). The results were evaluated by mathematical and statistical methods.

The destructive bending test revealed significantly higher mean values of quality parameters for $side_{prism}$ timber (wood density +6%, modulus of elasticity in bending +17%, bending strength +30%). During the grading process, the strength class C30 was represented by 31%, out of which $side_{prism}$ timber represented 21% and $core_{prism}$ timber 10%. The non-destructive grading methods also confirmed a higher representation of the highest strength class C30 among $side_{prism}$ timber specimens. The bending method C_{CB} is the most reliable one, correctly determining the strength class rank and exhibiting the highest representation of the best quality $side_{prism}$ timber. The visual grading method determined the smallest amount of the good quality timber. The obtained results have shown that the individual grading of $side_{prism}$ and $core_{prism}$ timber is justified. This differentiation allows obtaining timber of high quality grade (C30) more accurately and reliably, which also results in a positive economic effect.

Keywords: $core_{prism}$ timber, grading method, prism, $side_{prism}$ timber, strength class

ÚVOD

Stavebné rezivo patrí medzi komoditu, ktorá má z hľadiska produkcie spracovania drevnej hmoty dominantné zastúpenie. V súčasnosti je nedostatok ihličnatej guľatiny a deficit kvalitného konštrukčného dreva, ktoré požadujú projektanti a výrobcovia drevených konštrukcií. Významné je, že národné i európske predpisy na kvalitu konštrukčného dreva sa harmonizujú. Ešte stále však pretrváva nejednotnosť v spôsoboch triedenia a kritérií kvality (triedy pevnosti). Spôsobujú to rozdielne požiadavky na kvalitu reziva (vzhl'adové, pevnostné).

Súčasťou efektívneho spôsobu zhodnocovania drevnej suroviny na stavebné rezivo je *kritérium kvality dreva*, určené na základe fyzikálnych a mechanických vlastností dreva. Najobjektívnejšie hodnotenie sa získava vtedy, ak je kvalita sledovaná počas celého reťazca spracovania (od výrezov, reziva až po stavebný prvok). Tento zložitý postup si vyžaduje verifikáciu hodnotenia kvality dreva na teoretickej i experimentálnej úrovni a ich implementáciu v praktickom použití, napr. pri triedení stavebného reziva. Má to aj ekonomický efekt – čo je kvalitnejšie je aj drahšie. Príkladom je napr. zohľadnenie polohy reziva pri prizmovom poreze – centrálna zóna výrezu okolo stržňa, nazývaná aj juvenilné – mladé drevo, vonkajšia zóna – staršie drevo.

Pri smrekových výrezoch, z ktorých sa vyrába rezivo pre stavebné konštrukcie, je v každom kmeni (výreze) potvrdený výskyt juvenilného (mladého) dreva. Vytvára sa v okolí stržňa (5–20 ročných kruhov). Toto drevo sa svojimi vlastnosťami významne líši od vekovo staršieho dreva (obvod kmeňa). Za významný parameter sa považuje hustota dreva, ktorá pri juvenilnom smrekovom dreve je nižšia o 15–22 % oproti staršiemu drevu. Aj pri mechanických vlastnostiach (pevnosť v ohybe, modul pružnosti a i.) boli zistené výrazne nižšie hodnoty oproti staršiemu drevu. Tento poznatok je významný pri kvalitatívnom hodnotení reziva, a to z pohľadu pevnostných a pružnostných charakteristík dreva (ČUNDERLÍK a RAČKO 2007, ROHANOVÁ a DETVAJ 2011). Vplyv polohy reziva vo výreze na mechanické vlastnosti popisuje GLOS 1999. Uvádza vysoké rozdielne pevnosti v ohybe a modulov pružnosti (až 30 %) medzi juvenilným a starším drevom.

Cieľom príspevku bolo hodnotiť kvalitu konštrukčného reziva z pohľadu jeho polohy v prizme : stredové_{prizma} a bočné_{prizma} rezivo. Prvá časť experimentov bola zameraná na deštruktívnu ohybovú skúšku, ktorá mala nielen potvrdiť ale hlavne kvantifikovať predpokladané rozdielne hodnoty parametrov kvality dreva: modul pružnosti, pevnosť a hustotu medzi stredovým_{prizma} a bočným_{prizma} rezivom.

Tieto poznatky overiť pri triedení konštrukčného dreva do tried pevností „C“ tromi nedeštruktívnymi metódami: ohybovou flat wise (C_{CB}), vibračnou (C_{MTG}) a vizuálnou (C_{viz}). Výsledky porovnať s referenčnou deštruktívnou ohybovou skúškou. Presnosť a spoľahlivosť jednotlivých metód vyhodnotiť štatistickými metódami. Špecifikovať najobjektívnejšiu nedeštruktívnu metódu triedenia zohľadňujúcu polohu reziva v prizme (stredové_{prizma} a bočné_{prizma}).

Metódy zisťovania kvality konštrukčného dreva

V súčasnosti sa kvalita konštrukčného dreva stanovuje:

- **deštruktívnou metódou**, pri ktorej dochádza k poškodeniu dreva. Základ tvorí „*ohybová skúška*“, ktorá sa používa pri preukazovaní zhody hodnotených parametrov. Metóda zisťuje vybrané fyzikálne a mechanické vlastnosti podľa STN EN 408. Z pohľadu hodnotenia kvality konštrukčného dreva za najdôležitejšie parametre sa považujú: pevnosť v ohybe, modul pružnosti v ohybe a hustota dreva. Umožňuje vytvárať databázu výsledkov

fyzikálnych a mechanických vlastností pre druh dreva, krajinu pôvodu, účel použitia ako aj ich spoľahlivé porovnanie medzi jednotlivými krajinami (GÜNTEKIN *et al.* 2011, MIŠEIKYTE *et al.* 2008, SRPČIČ *et al.* 2010, WEIDENHILLER a DENZLER 2009). Táto metóda tvorí základ pre stanovenie tried pevností, ktoré sa využívajú v nedeštruktívnych metódach triedenia na rôznych princípoch.

- **nedeštruktívnymi metódami**, kde nedochádza k poškodeniu dreva a jeho kvalita sa určuje na základe nameraných vlastností špecifických pre danú metódu triedenia. Majú prevažne aplikačný výstup a využívajú sa v praxi pri spracovaní dreva a projektovaní. Výsledným efektom každej triediacej metódy sú triedy pevnosti „C“ a k nim priradené charakteristické hodnoty. Tieto hodnoty sú podkladom pre dimenzovanie drevených stavebných prvkov (STN EN 338). V tab.1 sú uvedené vybrané charakteristiky (pevnosť v ohybe, modul pružnosti v ohybe a hustota), triedy pevnosti (C16 až C50) a k nim priradené charakteristické hodnoty. Z veľkého počtu tried sa v praxi zvyčajne využívajú len tri. Tento výber tried v jednotlivých krajinách si vyžaduje prijať predpisy, ktoré definujú ich počty a medzinárodné ekvivalenty podľa EN. Na Slovensku sú platné tri triedy pevnosti: C30 (S0), C24 (SI) a C16 (SII). V tab. 1 sú uvedené triedy pevnosti používané v niektorých krajinách.

Tab. 1 Triedy pevnosti a požiadavky na charakteristické hodnoty pevnosti v ohybe $f_{m,k}$ [MPa], modulov pružnosti $E_{0,mean}$ [MPa] a hustoty ρ_{mean} [kg·m⁻³] podľa STN EN 338, STN 49 1531, ČSN 49 1531-1, PN – 82/D-94021 a DIN 1052.

Tab. 1 Strength classes and requirements for characteristic values of modulus of rupture $f_{m,k}$ [MPa], modulus of elasticity $E_{0,mean}$ [MPa] and wood density ρ_{mean} [kg·m⁻³] according to STN EN 338, STN 49 1531, ČSN 49 1531-1, PN – 82/D-94021 a DIN 1052.

Predpis		Triedy pevnosti – charakteristické hodnoty (topoľové drevo a ihličnaté druhy dreva)									
trieda		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C50
STN EN 338	$f_{m,k}$ [MPa]	14	16	18	22	24	27	30	35	40	50
	$E_{0,mean}$ [MPa]	7000	8000	9000	10000	11000	11000	12000	13000	14000	16000
	ρ_{mean} [kg·m ⁻³]	350	370	380	410	420	450	460	480	500	550
STN 49 1531 (SK)		-	SII	-	-	SI	-	S0	-	-	-
ČSN 49 1531-1 (ČR)			S7			S10		S13			
PN – 82/D 94021 (PL)		-	-	KG	-	KS	-	KW	-	-	-
DIN 1052:2004 (SRN)		-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	-

Na hodnotenie kvality konštrukčného dreva sa využívajú metódy:

Vizuálna - je rýchla a jednoduchá ale nie dostatočne objektívna a spoľahlivá. Konštrukčné drevo sa hodnotí na základe výskytu chýb dreva (hrče, trhliny, a i.). Nestanovuje priamo charakteristické hodnoty pevnosti, pružnosti a hustoty, ale vychádza z poznatkov o korelácii medzi chybami dreva a ich vlastnosťami. Limitné hodnoty dovolených chýb dreva uvádza STN 49 1531. Najvýraznejší vplyv majú hrče. Posudzujú sa dvoma spôsobmi:

1. cez pomerné rozmery hrč (pomer súčtu rozmerov hrč na ploche a hrane k dvojnásobku šírky reziva),
2. podľa prierezového podielu hrč (pomer prierezových plôch všetkých hrč k prierezu celkovej plochy reziva) – KAR metóda.

Okrem hč sa zohľadňujú aj trhliny, stržeň, hniloba, a i. Vizuálnym triedením sa nedá presne stanoviť pevnosť reziva, ale dá sa predpovedať na základe výskytu chýb dreva. Na Slovensku sa rezivo na stavebné konštrukcie triedi prevažne vizuálne.

Strojová - využíva zariadenie, ktoré na základe nastavovacích parametrov stanovuje triedy pevnosti. Experimentálne i priemyselne sa využívajú zariadenia na rôznych princípoch. Strojové nedeštruktívne metódy triedia konštrukčné drevo:

- na princípe ohybu (flat wise),
- na rôznych princípoch (ultrazvuk, vibračný, radiačný a i.)

(ROHANOVÁ *et al.* 2009, PAZLAR *et al.* 2011, ROHANOVÁ a KÚDELA 2011, BALTRUŠAITIS-MIŠEIKYTE 2011).

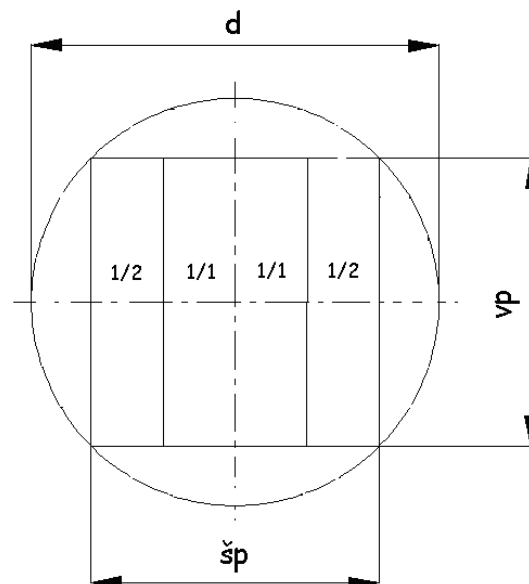
Metodický postup ako aj konkrétne využitie výsledkov uvádzajú predpisy STN EN 408, STN EN 384, STN EN 14081-2, 3 a 4. Pre obidve metódy je platná STN EN 338.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Na experimenty bolo použité drevo smreka obyčajného (*Picea abies*, Karst.) zo Slovenska. Skúšobný materiál bol získaný z výrezov kvalitatívnej triedy III.A (6 kusov) a triedy III.B (7 kusov). Z jednotlivých výrezov sa vymanipulovala najprv prizma. Porezom na rámovej pile sa získali 4 kusy neopracovaného reziva o rozmeroch $55 \times 200 \times 5000$ mm. Pri poreze sa označovala poloha reziva v prizme: stredové_{prizma} - 1/1, bočné_{prizma} - 1/2 (obr.1). Rezivo dĺžky 5 m bolo rozmanipulované na dve polovice, z ktorých sa zhotovili 2 skúšobné telesá o rozmeroch:

- $50 \times 120 \times 2360$ mm (deštruktívna ohybová skúška),
- $50 \times 185 \times 2360$ mm (3 nedeštruktívne metódy).

Počet skúšobných telies - 52 kusov, z toho: 26 ks stredové_{prizma} (1/1), 26 ks bočné_{prizma} (1/2).



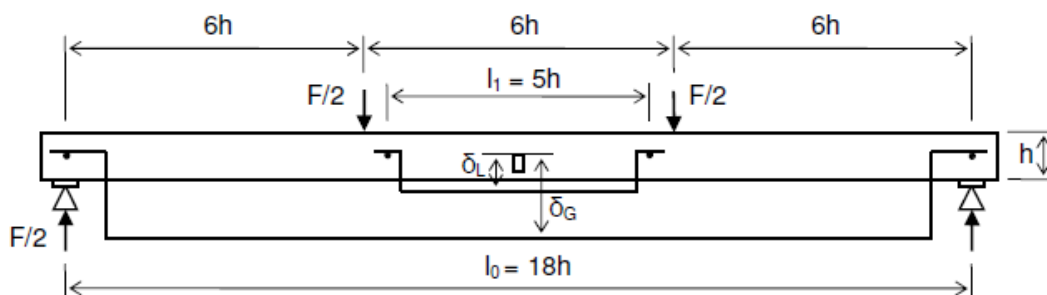
Obr.1. Porezová schéma (prizma: bočné_{prizma} - 1/2 + stredové_{prizma} 1/1), (d - priemer výrezu, v_p - výška prizmy, $š_p$ - šírka prizmy).

Fig. 1 Square slab sawing (prism: side_{prism} - 1/2 + core_{prism} - 1/1), (d- diameter of sawn log, h_p - height of the prism, w_p - width of the prism).

Na hodnotenie kvality konštrukčného dreva sa použili nasledovné metódy:

- a) deštruktívna ohybová skúška podľa STN EN 408 (4-bodový ohyb),
b) 3 nedeštruktívne metódy, ktorých výstupom sú triedy pevnosti „C“:
- ohybová CB flat wise, (C_{CB}),
 - vibračná MTG (C_{MTG}),
 - vizuálna (C_{viz}).

Deštruktívna ohybová skúška - postup a usporiadanie skúšky boli vykonané podľa STN EN 408 (obr. 2).



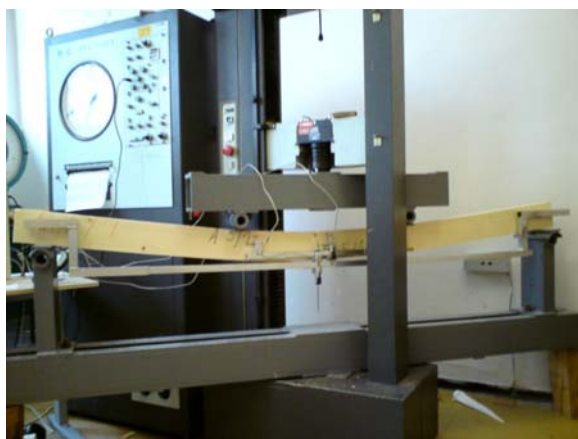
Obr. 2 Experimentálna schéma zaťaženia pre určovanie modulu pružnosti a pevnosti v ohybe podľa STN EN 408 (l_0 - rozpätie, l_1 - dĺžka rozpätia pre modul pružnosti (lokálny), h - výška priečneho rezu, F - zaťaženie, δ - priehyb).

Fig. 2 Experimental scheme for determination of modulus of elasticity and modulus of rupture according to EN 408 (l_0 - span, l_1 - length for modulus of elasticity (local), h - depth of cross section, F - load, δ - deformation).

Pre každé skúšobné teleso (stredové_{prizma}, bočné_{prizma}) boli zisťované parametre:

- globálny modul pružnosti v ohybe ($E_{m,g}$),
- pevnosť v ohybe (f_m),
- hustota dreva (ρ).

Všetky parametre boli upravené na referenčné podmienky ($w = 12\%$). Výsledky sa ďalej vyhodnotili podľa STN EN 384 (charakteristické hodnoty) a stanovili tri triedy pevnosti „C₄₀₈“.

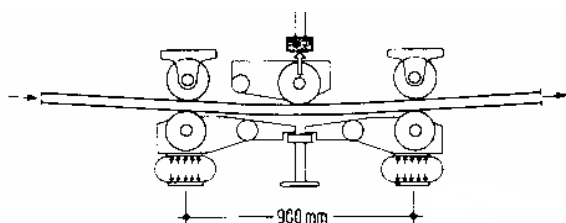


Obr. 3 Testovanie drevených skúšobných telies deštruktívnou ohybovou skúškou.

Fig.3 Testing of wooden specimens by destructive bending method.

Nedeštruktívne metódy triedenia - princípy, prístroje

1. *Ohybová metóda CB flat wise, 3-bodový ohyb.* Zaťažovacie a snímacie parametre sú navrhnuté podľa STN EN 14 081-4, tab.1-2 - Cook Bolinder (obr.4). Vzďialenosť podpier je $l = 900$ mm, interval zaťažovania: 100 mm po dĺžke skúšobného telesa, pracovný priehyb $a_n = \text{konš.}$ (6,89 mm). Na skúšobnom telese sa identifikovalo miesto s minimálnym modulom pružnosti ($MOE_{CB,min}$), ku ktorému sa priradila trieda pevnosti C_{CB} . Hustota dreva sa stanoví priamou metódou podľa STN 49 0108. Všetky namerané hodnoty parametrov sa počítali na $w = 12\%$.



Obr. 4 Cook Bolinders SG-AF - trojbodové ohybové zaťaženia.

Fig. 4 Cook Bolinders SG-AF - three points bending load.



Obr. 5 Prístroj Timber Grader MTG.
Fig. 5 Timber Grader MTG device.

2. *Vibračná metóda* - meranie sa uskutočňuje pomocou prístroja MTG Timber Grader (obr. 5). Prístroj zaznamenáva dynamický modul pružnosti (MOE_{MTG}), prirodzenú frekvenciu (f) a hustotu dreva (ρ_{12}). Výsledkom merania sú triedy pevnosti „ C_{MTG} “.
3. *Vizuálna metóda* - aplikovala sa metóda cez pomerné rozmery hĺč (pomer súčtu veľkosti hĺč na ploche a hrane k dvojnásobku šírky reziva). Ďalej sa zohľadňovali trhliny, stržeň, hniloba, a i. Telesám boli priradené triedy pevnosti: S0, SI a SII.

Namerané hodnoty z deštruktívnej ohybovej skúšky a nedeštruktívnych metód určovania tried pevností sa vyhodnotili pomocou programov Statistica 7, Excel 2007 (CLAUSS – EBNER 1988, TRIOLA 1989).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Deštruktívna ohybová skúška (STN EN 408)

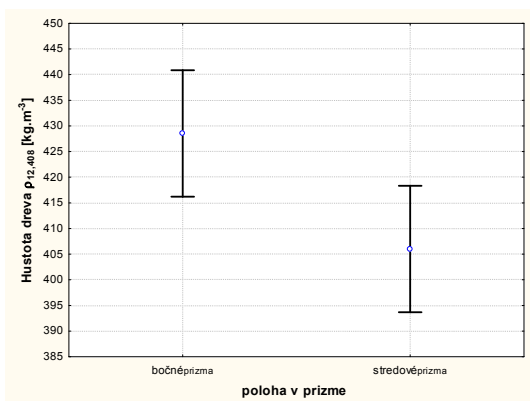
Výsledky (tab.2) boli vyhodnotené samostatne pre:

- parametre kvality dreva (modul pružnosti, pevnosť v ohybe, hustota dreva) cez lineárne regresné priamky a analýzu rozptylu,
- stanovenie tried pevnosti “C” podľa STN EN 384 a STN EN 338.

Tab. 2 Štatistické charakteristiky základných parametrov kvality (hustota dreva, modul pružnosti a pevnosť v ohybe) bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva.

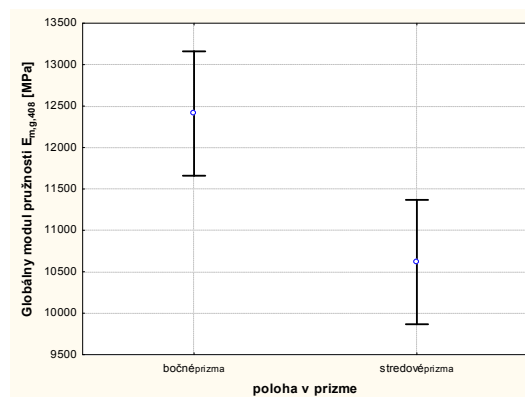
Tab. 2 Statistic characteristics of basic quality parameters (wood density, modulus of elasticity and modulus of rupture) of side_{prism} and core_{prism} structural timber.

Poloha reziva v prizme	Štatistické charakteristiky	Parametre kvality (deštruktívna ohybová skúška - STN EN 408)		
		Hustota dreva ρ_{12} [kg·m ⁻³]	Modul pružnosti $E_{m,g}$ [MPa]	Pevnosť v ohybe f_m [MPa]
bočné _{prizma} + stredové _{prizma}	<i>n</i>	52		
	ϕ	417	11514	42
	<i>min</i>	350	7107	16
	<i>max</i>	496	17318	63
	<i>V%</i>	8	18	28
bočné _{prizma}	<i>n</i>	26		
	ϕ	429	12410	47
	<i>min</i>	375	7107	16
	<i>max</i>	496	17318	63
	<i>V%</i>	8	18	22
stredové _{prizma}	<i>n</i>	26		
	ϕ	406	10618	36
	<i>min</i>	350	8181	17
	<i>max</i>	456	13761	56
	<i>V%</i>	8	15	27



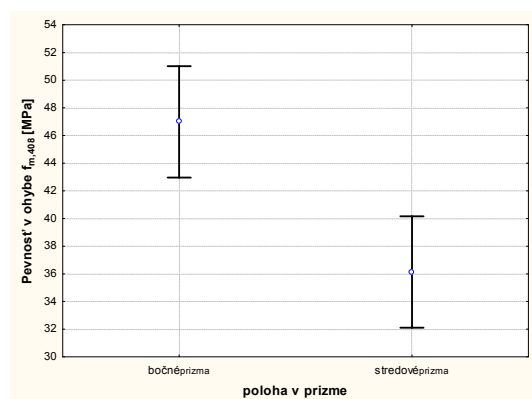
Obr. 6 Porovnanie hustoty dreva bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva.

Fig. 6 Comparison side_{prism} and core_{prism} wood density.



Obr. 7 Porovnanie modulu pružnosti bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva.

Fig. 7 Comparison side_{prism} and core_{prism} modulus of elasticity.



Obr. 8 Porovnanie pevnosti v ohybe bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva.

Fig. 8 Comparison of side_{prism} and core_{prism} modulus of rupture.

Hodnoty základných charakteristík pre rezivo zohľadňujúcich polohu v prizme sa hodnotili pomocou analýzy rozptylu a Duncanovho testu. Dvojvýberový Studentov test signalizuje, že medzi priemernými:

- *hustotami* bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva je štatisticky stredne významný rozdiel ($p=0,012$), obr. 6,
- *modulmi pružnosti* bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva je štatisticky veľmi významný rozdiel ($p=0,001$), obr. 7,
- *pevnosťami v ohybe* bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva je tiež štatisticky veľmi významný rozdiel ($p=0,0004$), obr. 8.

Obrázky zobrazujú 95%-né intervaly spoľahlivosti pre stredné hodnoty kvantifikovaných veličín.

Na základe Duncanových testov a analýz rozptylu sa zaznamenali rozdiely medzi bočným_{prizma} a stredovým_{prizma} rezivom. Bočné_{prizma} rezivo má *štatisticky významne vyššie* priemerné hodnoty hodnotených parametrov ako stredové_{prizma} rezivo. Zvýšenie je nasledovné:

- hustota dreva (ρ_{12}) o **6 %**,
- modul pružnosti v ohybe ($E_{m,g,408}$) o **17 %**,
- pevnosť v ohybe (f_m) o **30 %**.

Výsledky potvrdili rozdielne vlastnosti smrekového dreva medzi stržňom a starším drevom nielen pri malých normalizovaných telesách ale aj pri telesách konštrukčných rozmerov (rezive), pričom výraznejšie rozdiely boli zistené pri rezive.

Zistené poznatky sú významné aj z hľadiska praktického využitia. Bočné_{prizma} rezivo s vyššími pevnosťami a modulmi pružnosti je zaradené do vyšších tried pevnosti (napr. C 30). Takéto rezivo je najefektívnejšie využitie v **nosných** stavebných prvkoch, v ktorých sa požaduje vysoká pevnosť. Najobjektívnejší spôsob stanovenia takýchto tried pevností poskytuje *deštruktívna ohybová skúška*.

Porovnanie výsledkov cez početnosť v triedach pevnosti uvádza tab.4. Špecifikuje triedenie do tried pevností zvlášť pre bočné_{prizma} a stredové_{prizma} rezivo:

- deštruktívnu ohybovou skúškou (C_{408}) a
- 3 nedeštruktívnymi metódami: ohybovou flat wise (C_{CB}), vibračnou (C_{MTG}) a vizuálnou (C_{viz}).

Na vyjadrenie sily zhody medzi metódami (C_{408} a C_{CB} , C_{MTG} a C_{viz}) sa použili nasledovné štatistické charakteristiky:

- „p“ - hladina významnosti,
- „c“ - kontingenčný koeficient, miera závislosti medzi dvoma kvalitatívnymi veličinami (nadobúda iba kladné hodnoty menšie ako 1). Tá istá hodnota „c“ môže znamenať aj menej signifikantnú závislosť pri nižšom stupni voľnosti.
- „df“ - stupeň voľnosti (pomocný parameter).

Tab. 3 Porovnanie spoľahlivosti (p) a presnosti (c, df) nedeštruktívnych metód.
Tab. 3 Reliability (p) and validity (c, df) of non-destructive methods comparison.

Rezivo v prizme - triedy pevnosti, štatistické charakteristiky			Metódy triedenia			
			deštruktívna ohybová skúška C_{408} (ks)	nedeštruktívne		
				C_{CB} (ks)	C_{MTG} (ks)	C_{viz} (ks)
bočné _{prizma} (26 ks)	trieda pevnosti	C30	11	11	10	5
		C24	9	2	14	13
		C16	5	11	2	7
		odpad	1	2	0	1
		nadhodnotené	2	8	4	
		zhoda	15	13	9	
		podhodnotené	9	5	13	
	štat. char.	<i>p</i>		0,001***	0,007**	0,000***
		<i>c</i>		0,631	0,399	0,351
		<i>df</i>		9	6	9
stredové _{prizma} (26 ks)	trieda pevnosti	C30	5	0	1	0
		C24	6	2	12	9
		C16	14	14	11	11
		odpad	1	10	2	6
		nadhodnotené	0	6	3	
		zhoda	7	11	10	
		podhodnotené	19	9	13	
	štat. char.	<i>p</i>		0,037*	0,147	0,175
		<i>c</i>		0,559	0,418	0,439
		<i>df</i>		6	9	6
bočné _{prizma} + stredové _{prizma} (52 ks)	trieda pevnosti	C30	16	11	11	5
		C24	15	4	26	22
		C16	19	25	13	18
		odpad	2	12	2	7
		nadhodnotené	2	14	7	
		zhoda	22	24	19	
		podhodnotené	28	14	26	
	štat. char.	<i>p</i>		0,000***	0,007**	0,000***
		<i>c</i>		0,508	0,380	0,438
		<i>df</i>		9	9	9

Hodnotenie závislostí:

- | | |
|---|--------------------------|
| *** $p < 0,001$ veľmi významná, | $c < 0,1$ slabá, |
| ** $0,001 < p < 0,01$ stredne významná, | $0,1 < c < 0,3$ stredná, |
| * $0,01 < p < 0,05$ málo významná, | $c > 0,3$ silná. |
| $p > 0,05$ nie je významná. | |

Pri analýze výsledkov sa potvrdili poznatky, že zvolená metóda triedenia má významný vplyv na identifikáciu triedy pevnosti. Základ tvoria triedy pevnosti z deštruktívnej ohybovej skúšky (C_{408}), s ktorou sa porovnávajú rôzne nedeštruktívne metódy. Medzi nimi sa posudzuje korelácia (sila závislosti). Hodnotenie výsledkov z tab.4 je nasledovné:

- najvyššia zhoda (sila závislosti) bola zistená medzi C_{408} a C_{CB} (pri bočnom_{prizma} ako aj pri stredovom_{prizma} rezive),
- stredná zhoda bola pri C_{408} a C_{viz} , a najnižšia pri C_{408} a C_{MTG} .

Skutočnosť, že medzi hodnotením C_{408} a C_{CB} je najsilnejšia závislosť je spôsobené tým, že metódou C_{CB} dostávame zanedbateľný počet nadhodnotených dosák. Tam, kde nie je zhoda medzi C_{408} a C_{CB} , dochádza k podhodnoteniu C_{CB} , t.j. medzi nimi je najsilnejšia

zhoda, aj keď metóda C_{CB} systematicky podhodnocuje zatriedenie. Pri ďalších dvoch metódach (C_{MTG} a C_{viz}) je zhoda slabšia z dôvodu, že jednotlivé rezivo je striedavo nadhodnotené, príp. podhodnotené.

Porovnanie nedeštruktívnych metód s deštruktívnou ohybovou skúškou bolo vykonané pomocou kontingenčného koeficienta „c“ a zhodou zatriedenia. Výsledky z tab. 3 sú nasledovné:

- *bočné rezivo*, najpresnejšia a najspoľahlivejšia je metóda CB, ďalej metóda MTG a najmenej presná je vizuálna metóda,
- *stredové rezivo*, najvyššia miera závislosti je opäť medzi metódami C_{408} a C_{CB} , avšak metóda C_{CB} systematicky podhodnocuje, síce správne určuje poradie tried, t.j. tesnosť závislosti je najvyššia ($c = 0,559$). Metódy C_{MTG} a C_{viz} sa pri stredovom rezive preukázali ako nespoľahlivé z dôvodu štatisticky nevýznamnej závislosti ($C_{MTG} p = 0,147$, $C_{viz} p = 0,175$).

Aj keď majú vyššiu zhodu s C_{408} , majú však väčší rozptyl v nadhodnotenej a podhodnotenej triede pevnosti. Metóda CB najlepšie koreluje s metódou C_{408} , ale v nadhodnotenej triede nemá žiadne zastúpenie,

- *bočné rezivo* + *stredové rezivo*, najtesnejšia korelácia je opäť medzi metódami C_{408} a C_{CB} ($c=0,508$) ale znova je tam systematické podhodnocovanie všetkých tried v správnom poradí. Metóda C_{MTG} najviac reziva zhodne zatriedila s C_{408} ale rovnaké množstvo nadhodnotila aj podhodnotila. Korelácia medzi C_{408} a C_{MTG} je najslabšia ($c= 0,380$).

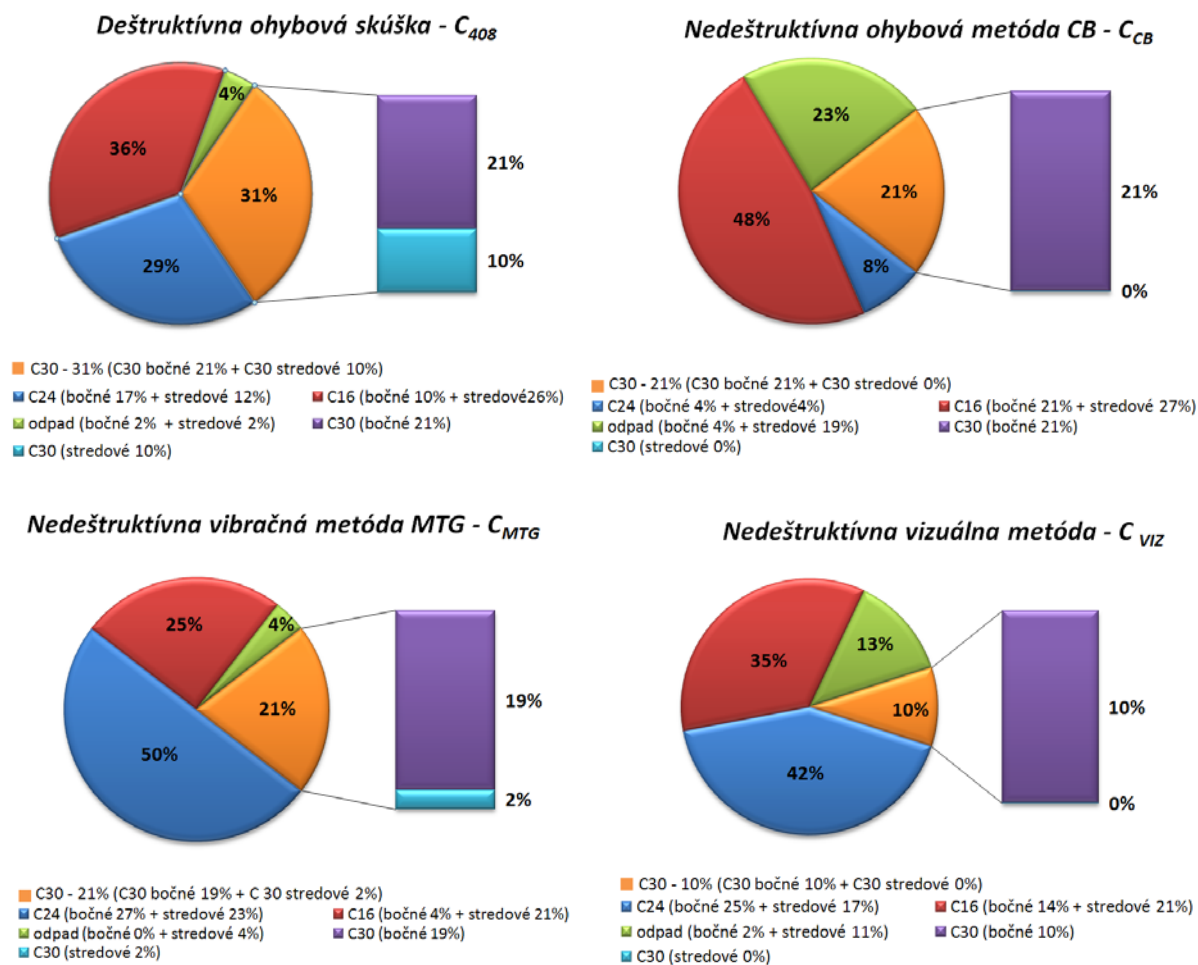
Vizuálna metóda C_{viz} vykazuje slabšiu mieru súvislosti ako C_{CB} a silnejšiu ako C_{MTG} , systematicky podhodnocuje ale menej ako C_{CB} .

Porovnanie medzi nedeštruktívnymi metódami:

- metóda C_{CB} je spoľahlivá, správne určuje poradie tried ale systematicky podhodnocuje. Pre stredové_{prizma} rezivo sú metódy C_{MTG} a C_{viz} menej spoľahlivé. Pri bočnom_{prizma} rezive metóda C_{CB} ($c=0,631$) nezlyháva a vysoko prevyšuje metódy C_{MTG} ($c=0,399$) a C_{viz} ($c=0,351$). Pri stredom rezive metóda C_{CB} nie je výrazne lepšia od C_{MTG} a C_{viz} ako pri bočnom, lebo aj keď správne určuje poradie tried všetky systematicky podhodnocuje.
- pri bočnom_{prizma} rezive je metóda C_{CB} najspoľahlivejšia, pri stredovom_{prizma} rezive jej spoľahlivosť klesá na úroveň metód C_{MTG} a C_{viz} . Pri netriedenom rezive na bočné_{prizma} a stredové_{prizma} rezivo v najvyššej triede C30 je najspoľahlivejšia C_{CB} a najmenej C_{viz} . Pri celkovom hodnotení najviac nadhodnocuje metóda C_{MTG} a potom C_{viz} , najmenej C_{CB} , čo je z hľadiska stanovenia triedy pevnosti najvýznamnejšie. V súčasnosti sa pri poreze výrezov v prizme nezohľadňuje zvlášť kvalita bočného_{prizma} a stredového_{prizma} reziva. Výstupom z prizmy je rezivo, ktorému je priradená rovnaká kvalita, len jedna trieda pevnosti.

Vyhodnotenie zastúpenia tried pevností „C“ v % pre každú metódu so zohľadnením polohy reziva v prizme je znázornené na obr.10. Najväčšia pozornosť je venovaná najkvalitnejšej triede pevnosti C30 (pravá časť - stĺpec).

deštruktívna ohybová skúška - reprezentuje najvyváženejšie zastúpenie všetkých tried C30~C24~C16 v celom súbore (bočné_{prizma}, +stredové_{prizma}). Má najväčšie zastúpenie triedy C30 zo všetkých metód až 31%, z toho bočné_{prizma} 21% a stredové_{prizma} 10%. Analýza zastúpenia stredového_{prizma} reziva v triede C30 potvrdila, že boli získané z najkvalitnejších výrezov III.A .



Obr. 10 Zastúpenie tried pevností „C“ v deštruktívnej a troch nedeštruktívnych metódach.
Fig. 10 Strength classes „C“ determined by destructive and three non-destructive methods representation.

- *nedeštruktívna ohybová metóda CB* - zastúpenie triedy C30 je zhodné s metódou C_{408} . Bočné_{prizma} má výskyt 21%, pričom zastúpenie kvality výrezov bolo III.A a III.B. Tým, že stredové_{prizma} rezivo má väčší výskyt hŕč, ktoré predurčujú zónu minimálneho modulu pružnosti, zatrieduje sa do nižších tried C24, príp. až do C16.

- *nedeštruktívna metóda MTG* - trieda C30 má celkové zastúpenie 21% a toho 2% tvorí stredové_{prizma} rezivo, ktoré bolo získané z výrezov III.A. Preukázalo sa, že táto metóda všeobecne nadhodnocuje triedenie reziva oproti deštruktívnej ohybovej skúške. Keďže zisťuje dynamický modul dreva (E_{dyn}), jej priama aplikácia si vyžaduje prehodnotenie v predikčných modeloch. Má prevažne komerčné použitie na pílach, skladoch reziva a i.

- *nedeštruktívna vizuálna metóda*, má najmenšie zastúpenie triedy C30 (10%) a to len v bočnom_{prizma} rezive. Pri stredovom_{prizma} rezive sa nevyskytuje, pretože toto rezivo má väčšie zastúpenie hŕč, trhlín, stržňa a i., ktoré znižujú jeho zatriedenie. Významný je aj vplyv hustoty dreva, ktorá sa pri triedení nestanovuje. Pri hodnotení efektívnosti triedenia vizuálna metóda podobne ako aj metóda MTG, výrazne podhodnocuje. Až ~75% triedeného reziva je zaradené do len dvoch tried: C24 a C16.

ZÁVER

Výsledky experimentov kvantifikovali a potvrdili rozdielne vlastnosti medzi bočným_{prizma}, a stredovým_{prizma} smrekovým rezivom vyťaženom na Slovensku. Výhodiskom testovania bola deštruktívna ohybová skúška (STN EN 408 - referenčná), ktorá je medzinárodne akceptovaná. Bočné_{prizma} telesá mali oproti stredovým_{prizma} štatisticky významne vyššie priemerné hodnoty pri hustote dreva (ρ_{12}) o 6 %, pri module pružnosti v ohybe ($E_{m,g,408}$) o 17 % a pri pevnosti v ohybe (f_m) až o 30 %.

Ďalej na druhej časti reziva boli aplikované tri nedeštruktívne metódy triedenia (ohybová flat wise CB, vibračná MTG a vizuálna). Výstupom testovania boli triedy pevnosti „C“, ktoré sa porovnávali s deštruktívnou ohybovou skúškou a vyhodnotili štatistickými metódami. Všetky tri nedeštruktívne metódy potvrdili vyššie triedy pevnosti pri bočnom_{prizma} rezive. Najspoľahlivejšia je ohybová metóda flat wise CB, správne určuje poradie tried pevností a má najväčšie zastúpenie najkvalitnejšie bočného_{prizma} reziva. Najmenej kvalitného reziva má vizuálna metóda.

Výsledky poukazujú pri hodnotení kvality reziva na opodstatnenosť diferencovať polohu reziva v prizme na bočné_{prizma}, + stredové_{prizma}. Táto diferenciácia umožňuje pri vhodnej nedeštruktívnej metóde triedenia získať spoľahlivú a presnú špecifikáciu reziva vysokej kvality (C30).

LITERATÚRA

- BALTRUŠAITIS A., MIŠEIKYTE S. 2011. Strength and stiffness properties of the Lithuanian grown Scots pine (*Pinus sylvestris*): Non-destructive testing methods vs. static bending. Wood Research, 2011, 56(2): 157–168.
- ČUNDERLÍK I., RAČKO V. 2007. Vplyv vybraných faktorov smrekového dreva na jeho vlastnosti. In. Drevostavby 2007 [elektronický zdroj] : konferencia s medzinárodnou účasťou : 19.–20. september 2007. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, 2007. ISBN 978-80-969774-9-9. 9 s.
- CLAUSS G., EBNER H. 1988. Základy štatistiky pre psychológov, pedagógov a sociológov. Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1988, 495 s.
- GLOS P. 1999. The Great Potential of Wood as a Building Material for the next century. In. International RILEM Symposium on Timber Engineering. Bagnaux : RILIM, ISBN 2-912143-10-1, pp.3–12.
- GÜNTEKIN E., CENGİZ Y., YILMAZ T. 2011. Prediction of MOE for Turkish Red Pine: Stress Wave versus Artificial Neural Networks. In. 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. (ed. Ferenc Divos). Sopron : University of West Hungary. ISBN 978-963-9883-82-6. p. 277–284.
- MIŠEIKYTE S., BALTRUŠAITIS A., KUDAKAS, L. 2008. Strength and stiffness properties of the Lithuanian grown Scots pine (*Pinus sylvestris*): Comparison of various testing methods. In. Nordic-baltic network in wood material science and engineering (WSE), Riga : PERSE Ltd., ISBN 978-9984-39-675-0, pp. 101–107.
- PAZLAR T., SRPČIČ J., PLOS M., TURK G. 2011. Non-destructive tests for strength grading of Slovenian structural sawn timber. In. 17th International nondestructive testing and evaluation of wood symposium. (ed. Ferenc Divos). Sopron : University of West Hungary. ISBN 978-963-9883-82-6. pp. 231–238.
- ROHANOVÁ A., JABLONSKI M., KRZOSEK S. 2009. Strength grading of constructional lumber in regard to European, German, Slovak and Polish standards. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology No 69, 2009: Ann. WULS-SGGW, For and Wood Technol. 69, 2009. p. 227–233. ISSN 1898- 5912.

ROHANOVÁ A., DETVAJ J. 2011. Quality parameters analysis of core-side and core-core structural timber. In. Proceedings of the 4th International Science Conference Woodworking techniques. Prague : Czech University of Life Sciences Prague, 2011, ISBN 978-80-213-2182-3, pp. 244--251.

ROHANOVÁ A., KÚDELA J. 2011. Drevo na stavebné konštrukcie - skúšanie a kvalita. In: Konference zkoušení a jakost ve stavebnictví. Brno : Fakulta stavební VUT v Brně, 2011, s. 325–341, ISBN 978-80-214-4338-9.

SRPČIČ J., PLOS M., PAZLAR T., TURK G. 2010. Indicative properties for strength grading of structural sawn timber classes (in Slovene Language). Les – Wood, 62(11–12): 490–496.

TRIOLA M. F. 1989. Elementary Statistics. Fourth edition. San Francisco : Benjamin Cummings Publishing Company, Inc., ISBN 0-8053-0271-9, 784 pp.

WEIDENHILLER A., DENZLER J. K. 2009. Optimising machine strength grading with three indicating properties”. In. Proceedings of the Economic and technical aspects of quality control for wood and wood products. Cost Action E53 Conference 22nd – 23rd October 2009, Lisbon, Portugal. Paper #7.

STN 48 0055: 2007, Kvalitatívne triedenie ihličnatej guľatiny.

STN 49 1531: 2001, Drevo na stavebné konštrukcie. Časť 1: Vizuálne triedenie podľa pevnosti.

STN EN 338:2010, Konštrukčné drevo. Pevnostné triedy.

STN EN 384:2010, Konštrukčné drevo. Zisťovanie charakteristických hodnôt mechanických vlastností a hustoty.

STN EN 408:2011, Drevené konštrukcie. Konštrukčné drevo a lepené lamelové drevo. Stanovenie niektorých fyzikálnych a mechanických vlastností.

STN EN 14 081-1:2011, Drevené konštrukcie. Pevnostne triedené konštrukčné rezivo s pravouhlým prierezom. Časť 1: Všeobecné požiadavky (Konsolidovaný text).

STN EN 14 081-4:2009, Drevené konštrukcie. Pevnostne triedené konštrukčné rezivo s pravouhlým prierezom. Časť 4: Strojové triedenie. Nastavenia triediacich strojov pre strojovo riadené systémy.

STN 49 0108:1993, Drevo. Zisťovanie hustoty.

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia projektu VEGA 1/0109/12 „Parametre kvality konštrukčného dreva a ich implementácia v metódach triedenia na rôznych princípoch“

Adresa autorov

Doc. Ing. Alena Rohanová, PhD.
RNDr. Vladimír Vacek
Ing. Erika Nunez
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
T.G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská Republika
rohanova@tuzvo.sk
vacek@tuzvo.sk
nunez.k.e@gmail.com

