



## ANALÝZA TVRDOSTI DREVA

Ján Dubovský – Alena Rohanová

### Abstract

*The contribution deals with the analysis of a static and dynamical hardness, density and ring width of spruce (*Picea excelsa*) and pine (*Pinus silvestris*) wood. The basic statistical characteristics and regression analysis were applied for experimental results evaluation. The very significant relations have been determined among the static hardness (in longitudinal, tangential and radial directions) – density, static hardness (in radial direction) – dynamical hardness (in radial direction) and density – ring width. Result application of our results is possible at working but the basic anatomical directions must be taken into consideration.*

**Key words:** *hardness, static, dynamic, density, ring width*

### 1. ÚVOD

Drevo ako materiál so svojou širokou škálou možného použitia sa rôznymi spôsobmi spracúva na výrobky. Každý proces spracovania je podmienený štruktúrou a vlastnosťami dreva (fyzikálnymi i mechanickými), ktoré je potrebné poznať, ak majú byť dosiahnuté očakávané konečné vlastnosti výrobku. Tvrdosť dreva je vlastnosť, ktorá sa priamo nezohľadňuje pri navrhovaní prvkov z dreva. Svoje opodstatnenie nachádza pri stanovení napr. degradácie dreva, povrchového opracovania a i.

Medzi metódy testovania tvrdosti dreva v najširšom zmysle slova patrí statická a dynamická tvrdosť. Experimentálne skúšky statickej tvrdosti dreva sa najčastejšie zisťujú v laboratórnych podmienkach. Pre zisťovanie dynamickej tvrdosti sa využíva napr. prístroj PILODYN 6J nielen v laboratórnych podmienkach, ale aj in situ.

### 2. TVRDOSŤ DREVA

Pri konštrukčných materiáloch, ako je drevo, ma tvrdosť povrchu veľký technický a praktický význam. Preto sa definícia a rozlišovanie ich tvrdosti zakladá na objektívnych fyzikálnych a technických princípoch a skúšobných metódach.

Technickú tvrdosť nemožno jednoznačne definovať ako fyzikálnu veličinu, pretože jej hodnota závisí viac ako pri ktorejkoľvek inej mechanickej vlastnosti od komplexných vlastností povrchu skúšaného materiálu a od skúšobných podmienok, pri ktorých tvrdosť zisťujeme. Pri jednom materiály možno namerať toľko hodnôt tvrdosti, koľko meracích metód sa použije.

Pri skúške tvrdosti sa povrch skúšaného materiálu mechanicky zaťažuje tlakom nejakého cudzieho telieska z tvrdého materiálu a výsledkom tohto pôsobenia sa kvantitatívne vyjadri ako hodnota tvrdosti.

Na základe tejto úvahy možno tvrdosť definovať podľa VELESA 1985 takto: Tvrdosť je mechanická vlastnosť materiálu vyjadrená odporom proti deformácii jeho povrchu vyvolanej pôsobením geometricky definovaného telesa.

Tvrdosť možno všeobecne vyjadriť ako funkciu

$$H = f(e, P, F, T, t, v)$$

kde:  $e$  - pružné vlastnosti skúšaného materiálu, najmä moduly pružnosti  $E$  a  $G$ ,  
 $P$  - plastické vlastnosti skúšaného materiálu, vrátane schopnosti deformačného pevnovania,  
 $F$  - veľkosť sily pôsobiacej na vtláčacie teliesko,  
 $T$  - tvar, rozmery a tvrdosť vtláčacieho telieska,  
 $t$  - trenie medzi vtláčacím telieskom a skúšaným kovom,  
 $v$  - rýchlosť pohybu vtláčacieho telieska.

Hodnoty  $e$  a  $P$  v uvedenej funkčnej závislosti predstavujú odolnosť skúšaného dreva proti vnikaniu cudzieho telieska do jeho povrchu.

## 2.1 Skúšobné metódy na meranie tvrdosti

Skúšky mechanickej tvrdosti sú výhodné a v praxi veľmi rozšírené, najmä kvôli jednoduchosti a možnosti ich použitia aj vtedy, keď sa iné skúšky nemôžu použiť (napr. na skúšanie veľkých a ťažkých kusov in situ). Tvrdosť sa skúša viacerými metódami.

Podľa rýchlosti zaťažujúcej sily:

- statická,
- dynamická.

Podľa spôsobu zaťaženia:

- vtláčacie
- vrypové
- odrazové a
- kyvadlové.

K najbežnejším metódam merania statickej tvrdosti kovov je Brinellova skúška tvrdosti a skúška tvrdosti dreva a drevných kompozitov je podľa Janky. Je aplikovateľná na všetky druhy drevín. Vzhľadom na princíp merania sa hodnotí len povrchová vrstva dreva a jej vlastnosti predurčujú možnosti jeho použitia a opracovania. Pri konštrukčnom návrhu dreveného prvku je možné určiť optimálne využitie úložných plôch vo vzťahu k orientácii ročných kruhov a hodnôt tvrdosti pri radiálnom, tangenciálnom a pozdĺžnom smere.

Na určenie dynamickej tvrdosti sa môže využívať napr. prístroj PILODYN 6J. Je založený na princípe vniknutia oceleového kolíka do dreva konštantnou maximálnou silou a zmeraním hĺbky zarazení. Hĺbka zarazení kolíka do dreva je pritom závislá na hustote, šírke ročných kruhov a vlhkosti dreva. Hodnoty hĺbky vniknutia kolíka do dreva môžu byť indikátorom pre určovanie dynamickej tvrdosti a aj hustoty. Čím je hĺbka vniknutia kolíka menšia, tým má drevo vyššiu hustotu. Pri zisťovaní dynamickej tvrdosti dreva prístrojom PILODYN 6J je požiadavka orientácie ročných kruhov v telese taká, aby zarazenie kolíka bolo čo v najčistejšom radiálnom smere, čo overovali aj autori GÖRLACHER 1987 a HANSEN 2000.

Prístroj PILODYN 6J doteraz nebol testovaný na Slovensku. Na obr.1 je zobrazený prístroj PILODYN 6J s príslušenstvom.

Obr.1 PILODYN 6J - vlastné teleso so stupnicou a kolíkom (hore), nabíjacia tyč pružiny (vľavo dole), ochranný kryt na kolík (vpravo dole).

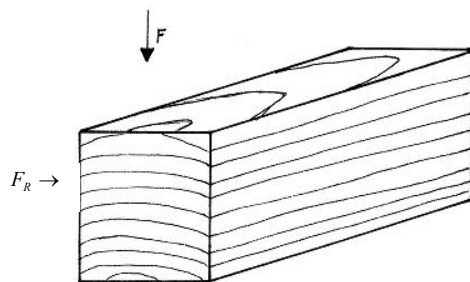


### 3. MATERIÁL A METODIKA

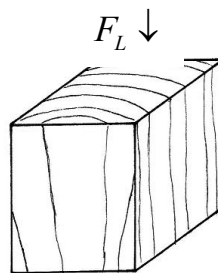
#### 3.1 Skúšobný materiál

Na experimentálne skúšky statickej a dynamickej tvrdosti sme použili drevinu smrek (*Picea excelsa*) a borovicu (*Pinus silvestris*). Materiál bol získaný z náhodne vybraných 12 fošní, z ktorých boli vyhotovené súbory veľkých a malých skúšobných telies (obr. 2, obr. 3) v celkovom počte 32 kusov (2 až 3 z jednej fošny) a boli použité:

- pre skúšanie statickej tvrdosti podľa Janky v smere kolmo na vlákna v radiálnom a tangenciálnom smere (veľké telesá) a v pozdĺžnom smere (malé telesá),
- pre skúšanie dynamickej tvrdosti prístrojom PILODYN 6J, v radiálnom smere (veľké telesá),
- pre určovanie šírky ročných kruhov,
- pre zisťovanie vlhkosti a hustoty dreva.



Obr.2 Tvar a rozmery (40x40x70 mm –  $r \times t \times l$ ) veľkého skúšobného telesa pre zaťaženie v radiálnom a tangenciálnom smere.



Obr.3 Tvar a rozmery (40x40x70 mm –  $r \times t \times l$ ) veľkého skúšobného telesa pre zaťaženie v pozdĺžnom smere.

Klimatizácia skúšobných telies sa vykonala pri štandardných podmienkach, t.j. pri teplote  $20 \pm 2$  °C a relatívnej vlhkosti vzduchu  $65 \pm 5$  %, na rovnovážnu vlhkosť  $\sim 12\%$  (referenčná vlhkosť).

Rozmery a tvar skúšobných telies boli navrhnuté tak, aby vyhovovali prípravku na zisťovanie tvrdosti podľa Janky. Dynamickej tvrdosti prístrojom PILODYN 6J bola zisťovaná len na veľkých skúšobných telesách. Veľké a malé skúšobné telesá sme dostali rozpílením telesa o rozmeroch 40x40x105 mm ( $r \times t \times l$ ).

### 3.2 Metodika

#### 3.2.1 Statická tvrdost' podľa Janky

Podstatou metódy podľa Janky ako uvádza STN 49 0136 je zatlačanie razníka v tvare pologule  $r = 5,64 \pm 0,01$  mm do dreva buď do hĺbky 2,82 mm alebo 5,64 mm, pri ktorých sa zisťuje sila  $F$ . V našom prípade bola použitá hĺbka 2,82 mm. Statická tvrdosť sa vypočíta podľa rovnice:

$$H_w = \frac{4F}{3 \times \pi \times r^2}$$

V prípade potreby sa môže statická tvrdosť  $H_w$  prepočítať na vlhkosť 12 % podľa rovnice:

$$H_{12} = H_w \times [1 + \alpha \times (W - 12)]$$

kde  $\alpha$  - opravný koeficient vlhkosti pre všetky dreviny  $\alpha = 0,03$ .

Na skúšku sa používa oceľový prípravok do ktorého sa vkladá skúšobné teleso pre všetky tri smery zaťažovania (radiálny, tangenciálny a pozdĺžny). Prípravok so skúšobným telesom sa vloží do skúšobného stroja. Pri rýchlosti posunu stroja 5 mm/min. a dosiahnutí hĺbky zatlačenia razníka 2,82 mm do telesa bola zistená sila  $F$ , ktorá sa odčítala zo stupnice stroja s presnosťou na 1%. Na každom veľkom skúšobnom telese boli vykonané dve merania v radiálnom a tangenciálnom smere. Na malých skúšobných telesách boli vykonané tiež dve merania v pozdĺžnom smere

#### 3.2.2 Dynamická tvrdosť - PILODYN 6J

PILODYN 6J s priemerom kolíka  $d = 2,5$  mm bol použitý na určenie dynamickej tvrdosti. Spodná plocha PILODYNU 6J sa priložila na skúšobné teleso a nárazom dlane do vrchnej časti prístroja dochádza pomocou pružiny (6 Nm) k uvoľneniu a zarazeniu kolíka do dreva. Hĺbka vniknutia kolíka je závislá na odpore dreva (dynamická tvrdosť), čo je parameter, ktorý sa môže transformovať pri stanovení hustoty dreva. Na stupnici prístroja sa odpočítala hĺbka zarazenia kolíka v mm. Na každom skúšobnom telese boli vykonané dve merania, rozmiestnené na ploche telesa.

#### 3.2.3 Šírka ročných kruhov

Šírka ročných kruhov (ŠRK) patrí k najjednoduchšie identifikovateľným parametrom dreva určovaných voľným okom. Zároveň vykazuje tesnú závislosť s hustotou dreva, ktorá je činiteľ s významným vplyvom na všetky mechanické charakteristiky. Z uvedeného dôvodu je možné ŠRK použiť nepriamo ako na určenie hustoty, tak aj zisťovaných tvrdostí dreva. ŠRK bola experimentálne zisťovaná štandardným postupom [KURJATKO 1990].

## 4. VÝSLEDKY A ICH ANALÝZA

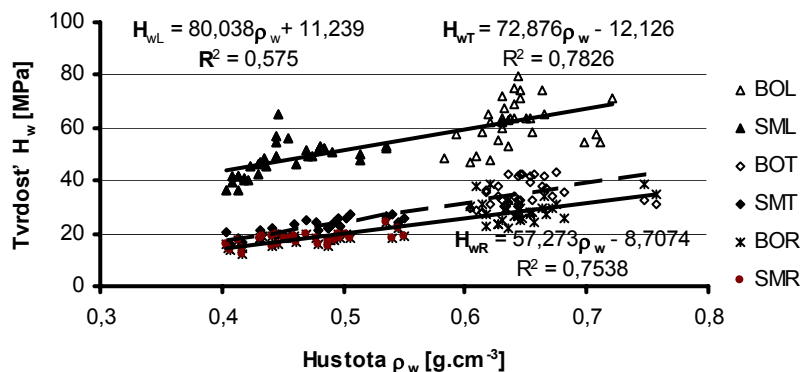
Vyhodnotenie experimentálnych výsledkov je zosumarizované v základnej tabuľke a troch grafických zobrazeniach závislostí medzi sledovanými charakteristikami. Tab. 1 zahŕňa základné štatistické charakteristiky: počet pozorovaní, aritmetický priemer, smerodajnú odchýlku, variačný koeficient, minimálnu a maximálnu hodnotu výberového súboru. Uvedené charakteristiky boli vypočítané pre vlhkosť, hustotu pri 0% vlhkosti, hustotu naklimatizovaných skúšobných telies, statickú tvrdosť v radiálnom, tangenciálnom

a pozdĺžnom smere, šírku ročných kruhov a dynamickú tvrdosť v radiálnom smere pre smrekové a borovicové drevo.

Porovnanie výsledkov nami stanovenej statickej tvrdosti metódou podľa Janky s údajmi v literatúre je veľmi obtiažne. Dôvodom je dominantné používanie metódy podľa Brinella aj pre drevo. Informačné údaje o statickej tvrdosti podľa Janky uvádza KOLLMANN & CÔTÉ 1968 len pre pozdĺžny smer. Podľa týchto údajov sa drevo smreka a borovice zaraďuje medzi mäkké drevo, ale borovicové drevo podľa našich výsledkov je možné zaradiť aj medzi polotvrdé drevo. Rozdiel v tvrdosti ako statickej tak aj dynamickej smrekového a borovicového dreva je pravdepodobne v mikroskopickej a submikroskopickej štruktúre. Rozdiel v hodnotách vlastností základných zaťaženií (napr. tlak, ťah) je oveľa výraznejší pri porovnaní pozdĺžneho smeru k priečnym (radiálnym)

Tab. 1 Základné matematicko-štatistické charakteristiky sledovaných parametrov.  $N$  – počet pozorovaní,  $\bar{x}$  - aritmetický priemer,  $s$  – smerodajná odchýlka,  $V_{\bar{x}}$  - variačný koeficient,  $x_{min}$  – minimálna hodnota,  $x_{max}$  – maximálna hodnota,  $w$  – absolútna vlhkosť,  $\rho_o$  – hustota pri  $w=0\%$ ,  $\rho_w$  – hustota pri  $w=11\div 12\%$ ,  $H_{wR}$  – tvrdosť v radiálnom smere,  $H_{wT}$  – tvrdosť v tangenciálnom smere,  $H_{wL}$  – tvrdosť v pozdĺžnom smere,  $\check{S}RK$  – šírka ročných kruhov,  $H_{dyn}$  – dynamická tvrdosť.

VLASTNOSŤ	$N$	$\bar{x}$	$s$	$V_{\bar{x}}$	$x_{min}$	$x_{max}$
<b>SMREK</b>						
$w$	32	11,32	0,203	1,79	10,81	11,61
$\rho_o$	32	0,433	0,038	8,82	0,376	0,498
$\rho_w$	32	0,461	0,042	9,10	0,403	0,540
$H_{wR}$	32	17,68	2,36	13,34	12,28	24,03
$H_{wT}$	32	21,49	3,50	16,30	14,95	27,50
$H_{wL}$	32	47,55	6,49	13,65	36,04	65,14
$\check{S}RK$	32	2,40	1,15	48,05	1,05	4,28
$H_{dyn}$	32	12,13	1,963	16,19	8,00	16,00
<b>BOROVICA</b>						
$w$	32	11,61	0,841	7,25	10,175	13,69
$r_o$	32	0,606	0,029	4,85	0,557	0,689
$r_w$	32	0,644	0,033	5,13	0,604	0,748
$H_{wR}$	32	28,75	4,35	15,12	22,16	38,71
$H_{wT}$	32	35,50	4,83	13,61	28,03	43,38
$H_{wL}$	32	62,21	8,47	13,62	46,99	79,56
$\check{S}RK$	32	1,68	1,27	75,90	0,84	4,23
$H_{dyn}$	32	8,53	1,21	14,20	7	12

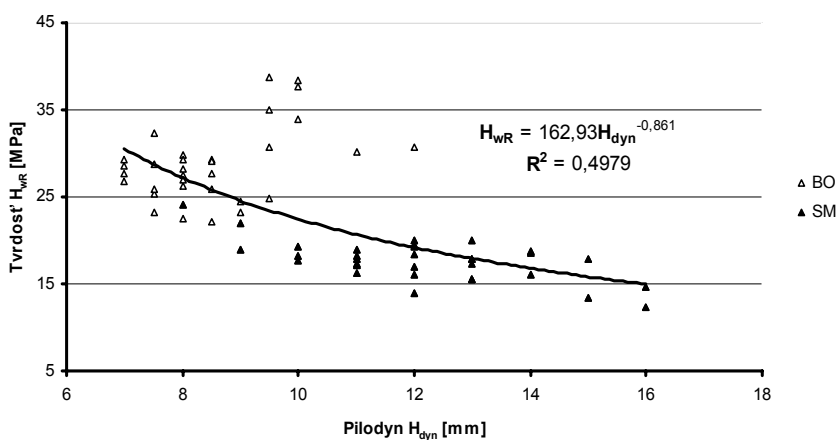


Obr. 4 Zmena statickej tvrdosti v radiálnom, tangenciálnom a pozdĺžnom smere v závislosti na hustote pri vlhkosti 11÷12% smrekového a borovicového dreva.

a tangenciálny) (1: 8÷ 25). Pre statickú tvrdosť v našom prípade je tento pomer úplne rozdielny. Pre smrekové drevo je pomer  $l:t:r \equiv 1: 2,2:2,7$  a pre borovicové drevo 1:1,8:2,2. Z tohto pomeru by bolo možné vychádzať pre všetky spôsoby obrábania pri zohľadnení čistých základných anatomických smerov.

Vzájomná závislosť skúmaných charakteristík je zhodnotená pomocou regresnej analýzy, kde vo všetkých prípadoch môžeme hovoriť o vysoko významnej závislosti, minimálne na 99,9% hladine významnosti.

Ako z tab. 1 tak aj z obr. 4 vidíme, že najvyššia tvrdosť je v pozdĺžnom smere a najnižšia v radiálnom smere. V priečných smeroch vyššie hodnoty sú dosahované v tangenciálnom smere. S narastaním hustoty sa rozdiel medzi tvrdosťou v radiálnom a tangenciálnom smere zväčšuje.

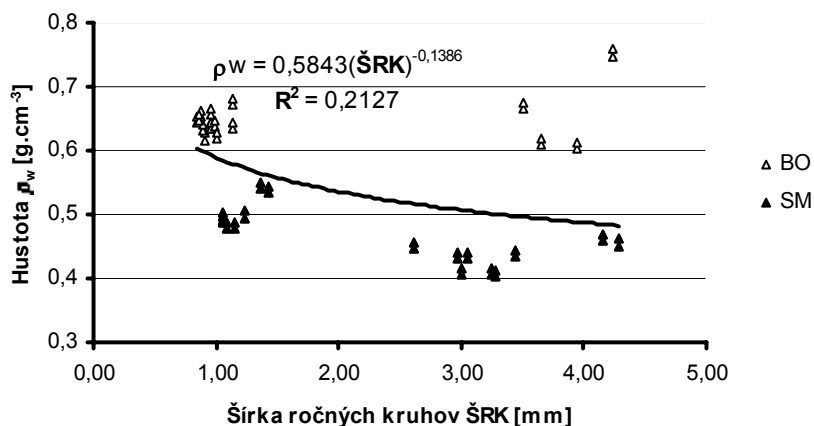


Obr. 5 Zmena statickej tvrdosti v radiálnom smere v závislosti na dynamickej tvrdosti pri vlhkosti 11÷12% smrekového a borovicového dreva.

Vysoko významnú exponenciálnu závislosť sme zistili medzi statickou tvrdosťou podľa Janky a dynamickou tvrdosťou PILODYN 6J, obr. 5. Negatívnejší vplyv na túto

závislosť majú experimentálne výsledky týkajúce sa borovice, ktorá vykazovala väčšiu variabilitu šírky ročných kruhov.

Pre ihličnaté drevo je známe, že s narastaním šírky ročných kruhov hustota klesá. Táto skutočnosť sa potvrdila aj v našom prípade. Negatívnejšie sa však prejavila na dreve borovice, ktorá v niektorých prípadoch takmer pri nezmenenej hustote vykazovala relatívne veľkú šírku ročných kruhov.



Obr.6 Zmena hustoty vo vzťahu k šírke ročných kruhov smrekového a borovicového dreva

## 5. ZÁVER

Tvrdosť dreva je vlastnosť, ktorá môže pri technologickom opracovaní ovplyvniť kvalitu výrobku. Zisťovanie statickej a dynamickej tvrdosti dreva má svoje opodstatnenie v oblasti navrhovania a aplikácie konštrukčných prvkov ale aj kvality povrchu pre stavebno-stolárske výrobky. Špecifikácia tvrdosti dreva v jednotlivých smeroch je významná z hľadiska optimálneho využitia ložných plôch vo vzťahu k orientácii ročných kruhov a hodnôt tvrdosti pri radiálnom tangenciálnom a pozdĺžnom smere.

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia projektov 1/2130/05 „Funkčné a návrhové parametre spoľahlivosti dreva pre stavebné konštrukcie“

## LITERATÚRA

- GÖRLACHER, R. 1987. Non destructive testing of wood: an in – situ method for determination of density. Holz as Roh – und Werkstoff Vol. 45, s. 273 – 278.
- HANSEN, CH. P. 2000. Application of the pilodyn in forest tree improvement. s.10.
- KURJATKO, S. Metódy zisťovania fyzikálnych vlastností dreva a veľkoplošných drevných materiálov: Návod na cvičenia. Zvolen: TU, 1990. s. 83 – 89. ISBN 80–228–0089–9.
- KOLLMANN, F.P. – CÔTÉ, W.A.: Principle of Wood Science and Technology. I. Solid Wood. Springer - Verlag Berli, Heidelberg, New York 1968, 592 s.
- VELES, P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov, ALFA – Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, 1985, str. 297 – 300.
- STN 49 0136 Metóda zisťovania tvrdosti podľa Janky, 1984.