

ULTRAZVUKOVÁ A VRTANIU ODPOROVÁ DEFEKTOSKOPIA IHLIČNATEJ A LISTNATEJ GULATINY

ULTRASONIC AND DRILL RESISTANCE DEFECTOSCOPY OF CONIFEROUS AND BROADLEAVED LOGS

Ladislav Reinprecht – Jaroslav Hrivnák

ABSTRACT

Qualitative sorting of logs is based on detection of decay or other defects and anomalies in the felled trees in forests and also in logs stored in the forest and timber stocks. In this work decay or other damages in twenty four 4-meter long stored logs of spruce, fir, beech, oak and alder were determined, firstly visually and then by two instrumental methods:- using the ultrasonic nondestructive equipment Pundit Plus, and the semidestructive drill resistance equipment Resistograph IML RESI F 400. The velocities of ultrasonic waves were measured in the radial and longitudinal directions. The drill resistance measurements were carried out in the radial direction. From the experiments, evaluated also by statistical and correlation analysis, were found several links within and between the ultrasonic and drill resistance methods. Results of the instrumental measurements depended on the presence of decay or anomalies, further on the wood species, but also on the actual moisture content of logs. The drill resistance method occurred as less suitable for examination of hardwood species (such as oak and beech) because in this case the drill was occasionally locked by a denser wood and it was not able to penetrate to entire cross-section of logs.

Keywords: log, decay, ultrasonic, drill resistance.

ÚVOD

Pevnosť, trvanlivosť, estetika i iné charakteristiky vyťaženeho a spracovaného dreva sú závislé od jeho druhu, hustoty, prítomnosti bele, počtu, veľkosti, tvaru a stavu hrčí i iných štrukturálnych charakteristík, ďalej od jeho vlhkosti, ale aj od jeho predchádzajúcich biologických poškodení vplyvom drevoznehodnocujúcich húb a drevokazného hmyzu.

V lesnom hospodárstve ako aj v drevárskeho priemysle je drevná surovina triedená podľa kvalitatívnych tried. Chyby vyťaženeho i skladovaného dreva je žiaduce odhaliť čo najskôr a presne, ešte pred finalizáciou výrobkov, čím sa ušetria nemalé finančné prostriedky a ľudské zdroje. V záujme objektívneho odhalenia chýb v živých stromoch, sťatých kmeňoch, výrezoch, doskách alebo prírezoch sa vyvíjajú a aplikujú rôzne defektoskopické metódy, ktoré sú založené na sledovaní ich špecifických fyzikálnych, fyzikálno-mechanických, fyzikálno-chemických, chemických i biologických vlastností. Cieľom defektoskopie vyťaženeých kmeňov a z nich pripravených výrezov je zistiť kvalitu dreva už v lese na lesných skládkach guľatiny alebo na skladoch výrezov v drevospracujúcich závodoch, keďže takto vznikajú lepšie predpoklady na efektívne využitie drevnej suroviny a výrobu kvalitných výrobkov, pričom možno znížiť aj náklady vyplývajúce z reklamačných konaní.

Zisťovanie kvality dreva v živých stromoch alebo na skladoch guľatiny je náročný proces. Vyžaduje mnoho teoretických poznatkov i praktických skúseností v oblasti meracej techniky.

Nestačí len vizuálne zhodnotiť kvalitu rastúceho stromu, sťatého kmeňa či výrezu, ale do tejto odbornej činnosti je dnes často krát žiaduce zapojiť aj najnovšiu prístrojovú techniku.

Hnilobu, spleť požerkov, dutiny, trhliny, nepravé jadro i iné anomálie a defekty prítomné v guľatine a vo výrezoch možno stanoviť vizuálne z ich čiel, ale objektívnejšie pomocou prístrojovej techniky. V súčasnosti sa k tomu používajú najmä nedeštruktívne metódy založené na rôznych princípoch: - elektrické (Vitamat, Dielektrik, ...), - ultrazvukové (Arborsonic, Pundit, Sylvatest, ...), ktoré patria k najčastejšie používaným aj pri pevnostnom triedení reziva (ROHANOVÁ et al. 2010), - akustické 2D i 3D tomografy (Fakkop 2D, Arbotom 2D i 3D, Arborsonic 3D, ...), - rádiografické (mobilná alebo stacionárna CT počítačová tomografia, X-lúčová a neutrónová rádiografia), - ale aj iné. Akustické tomografy nachádzajú širšie uplatnenie už aj na Slovensku a v susedných krajinách (KMEŤ & HLAVÁČ 2010, ŠTEPÁNEK & ŠMÍRA 2011). Rádiografické prístroje umožňujú citlivú detekciu vnútorných chýb, avšak ich praktické využitie je limitované vyššou cenou (WANG & ROSS 2002, BAHÝL & MĚSZÁROS 2011). Nezriedka sa využívajú aj semideštruktívne metódy, zvyčajne vŕtaniu odporové (Resistograph, ...), alebo pri povrchových defektoch aj vpichové a penetračné (Pilodyn, ...).

Cieľom našej práce bolo porovnať citlivosť ultrazvukovej metódy a vŕtaniu odporovej metódy pri zisťovaní hniloby a iných defektov vo výrezoch pripravených z ihličnatej a listnatej guľatiny. Obidve tieto metódy sú jednoduché, nevyžadujú vyššie investičné náklady a výsledky z nich sa získavajú pomerne rýchle.

MATERIÁL A METODIKA

Drevný materiál

Guľatina k experimentom pochádzala z dvoch lesných porastov v Jánovej Lehote a Bartošovej Lehôtke. V Jánovej Lehote (rozloha 2 138,5 ha; 78 % listnáčov a 22 % ihličnanov – v pomerne dobrom stave iba s menším poškodením lesnou zverou) pripadá 91,9 % na hospodárske lesy, 7,3 % na ochranné lesy a 0,8 % na lesy osobitného určenia. V Bartošovej Lehôtke (rozloha 2 383,6 ha; 78 % listnáčov a 22 % ihličnanov – čiastočne poškodené banskou činnosťou a železničnou dopravou pretínajúcou lesné porasty, i zvýšením emisií a vznikom požiarov) pripadá 85,3 % na hospodárske lesy, pričom ostatné územie sú ochranné lesy (HRIVNÁK et al. 2011).

Pre experimenty sa použila do hneďa odkôrnená guľatina z piatich druhov ihličnanov a listnáčov z Jánovej Lehoty a Bartošovej Lehôtky, celkovo 5 kmeňov smreka obyčajného (*Picea abies*) → SM, 5 kmeňov jedle bielej (*Abies alba*) → JD, 5 kmeňov buka lesného (*Fagus sylvatica*) → BK, 5 kmeňov duba zimného (*Quercus petraea*) → DB, a 4 kmene jelše lepkavej (*Alnus glutinosa*) → JL.

Výrub 24 kmeňov v lesných porastoch sa vykonal v lete a na jeseň roku 2010 spôsobom náhodného výberu tak, aby reprezentovali priemerné dimenzie vybratých druhov drevín (SM, JD, BK, DB, JL) na danej ploche, t.j. z každého druhu dreviny sa sťali a skúmali 3 alebo 2 kmene z Jánovej Lehoty a 2 kmene z Bartošovej Lehôtky. Kmene boli následne do konca januára 2011 priblížené na odvozné miesto v lese a z tade na sklad v Žiari nad Hronom. Tu sa z ich prízemkovej zóny vymanipulovali 4 m dlhé výrezy s priemerom max. do 32 cm. Výrezy sa na prelome marca/apríla 2011 podrobili defektoskopickým analýzám.

Defektoskopické prístroje

Kvalita výrezov sa hodnotila vizuálne na obidvoch čelách, a súčasne aj pomocou dvoch defektoskopických metód:

- *ultrazvuková* – (prístrojom Pundit Plus),
- *vŕtaniu odporová* – (prístrojom Resistograph IML Resi F 400).

Ultrazvuková metóda patrí medzi nedeštruktívne prechodové metódy. Založená je na analýze šírenia ultrazvukových vĺn v štruktúre dreva rôznymi typmi prístrojov, ako Pundit Plus, Arborsonic, Sylvatest, apod. Jej hlavným cieľom je zistenie vnútorných chýb v dreve

(KASAL & ANTHONY 2004, LEINTNER 2006). Rýchlosť šírenia ultrazvukových vln v zdravom dreve závisí od jeho druhu, hustoty, vlhkosti a smeru merania (KOLLMANN & CÔTE 1968, POŽGAJ *et al.* 1997). Ak sú v dreve aj trhliny, hniloba, požerky alebo iné defekty, tak prechod vln vyslaných zo sondy „vysielač“ sa v poškodenom mieste dreva spomalí alebo nenastane, t.j. vlny sa v chybnom mieste šíria pomalšie alebo ho obídu cez iné vzdialenejšie nepoškodené miesto a do sondy „prijímač“ prichádzajú oneskorene (PELLERIN & ROSS 2002). V hnilom dreve, ale aj v dreve s inými defektmi, sa v danom dôsledku zníži rýchlosť šírenia ultrazvukových vln medzi párom sond „vysielač“ a „prijímač“ majúcich od seba konštantnú vzdialenosť (MARČOK *et al.* 1997). Výhodou ultrazvukovej metódy je jej jednoduchosť a možnosť použitia pomerne lacných prístrojov. Nevýhodou je, že patrí k pomerne menej citlivým, a tiež, že podáva informáciu o stave dreva iba v línii umiestnených sond.

Semideštruktívna vŕtaniu odporová metóda bola vyvinutá s cieľom vytvoriť jednoduchý a presný systém na vyhľadávanie vnútorných defektov dreva jednak v rastúcich stromoch (BRASHAW & ROSS 2002), a tiež v stavebných konštrukciách a stĺpoch nadzemného vedenia (RINN *et al.* 1996). Prístroj Resistograph IML-RESI-F-400 pracuje na princípe merania odporu, ktorý kladie drevný materiál hrotu vrtáka s priemerom 3 mm pri konštantnej rýchlosti jeho vnikania do dreva až do max. hĺbky 400 mm. Prístroj pozostáva z meracej jednotky, ktorá je spojená s kompatibilnou vŕtačkou. Meraný odpor dreva voči vnikaniu vrtáka sa prenáša na špeciálny papier v mierke 1:1. Na osi „y“ sa zaznamenáva tzv. hustotne-odporový profil dreva a na osi „x“ sa zaznamenáva konkrétne miesto-hĺbka merania od povrchu dreva. Grafický záznam interpretuje zmeny mechanickej energie, ktoré sú nutné, aby sa zachovala konštantná rýchlosť vnikania vrtáka do dreva. V spodnej časti krivky sa indikujú zóny poškodenia dreva hnilobou, požerkami, trhlinami i inými defektmi, resp. všeobecne aj zóny jarného menej hustého dreva. V hornej časti krivky sú zachytené zóny zdravého dreva, resp. pri citlivejších meraniach aj zóny letného dreva (REINPRECHT & HRIVNÁK 2010).

Metodika defektoskopických meraní

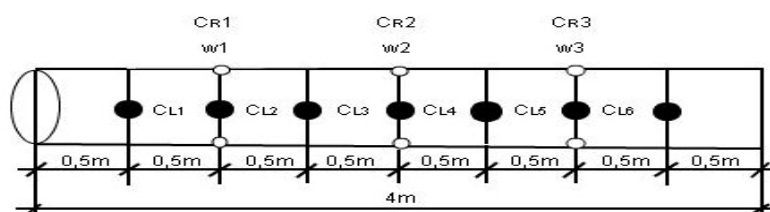
Defektoskopické merania výrezov sa vykonali na sklade guľatiny a výrezov v Žiari nad Hronom. Cieľom bolo zistiť:

- skutkový stav 4 m výrezov z Jánovej Lehoty a Bartošovej Lehôtky,
- výpovednú hodnotu použitých prístrojov o skutkovom stave výrezov.

Najskôr sa vizuálne zhodnotila kvalita obidvoch čiel všetkých 24 výrezov s cieľom stanoviť navonok sledovateľnú hnilobu, a podľa situácie tiež jej typ, rozsah a stupeň. Následne sa pristúpilo k prístrojovým meraniam.

Prístrojom Pundit Plus (CNS FARNELL Limited, England) sa merali ultrazvukové charakteristiky výrezov v ich radiálnom i pozdĺžnom smere. Merania sa vykonali pomocou páru sond (vysielacia a prijímacia) s priemerom \varnothing 25 mm, ktoré pracovali pri frekvencii vln 150 kHz. Pre lepší kontakt sond s drevom (t.j. s lokálne odkôrnenými miestami na výrezoch) a vylúčenie prítomnosti vzduchových kavít sa na sondy vždy naniesla tenká vrstva plastelíny. Merania v radiálnom smere výrezov sa vykonali v 1-metrových rozstupoch na troch miestach výrezu (c_{R1} , c_{R2} , c_{R3}), t.j. v prvom, druhom a treťom dĺžkovom metri od prízemku. Sondy sa prikladali oproti sebe na vopred vytýčené a odkôrnené miesta výrezov (obr. 1). Merania v pozdĺžnom smere výrezov sa vykonali na šiestych 0,5 m dlhých sekciách (c_{L1} , c_{L2} , c_{L3} , c_{L4} , c_{L5} , c_{L6}). Sondy sa opäť prikladali na odkôrnené miesta výrezov vzdialené v jednej línii od seba $\frac{1}{2}$ metra (obr. 1). V miestach ultrazvukových meraní sa pomocou priemerky zaznamenala hrúbka výrezu (resp. dĺžka meranej sekcie v príslušnom výreze), a súčasne sa zistila aj vlhkosť dreva v hĺbke 10 mm od lyka pomocou odporového vlhkomera (w_1 , w_2 , w_3), ako je to znázornené na obr. 1. Zhodnotenie prítomnosti hniloby alebo iného defektu v závislosti od rýchlosti šírenia ultrazvuku v radiálnom smere dreva c_R [$m \cdot s^{-1}$] sa vykonalo nepriamo, vychádzajúc z údajov v tab. 1. V prípade drevín neuvedených v tab. 1 sa postupovalo tak, že buková guľatina sa hodnotila podľa stupnice pre dub, resp. jelšová guľatina podľa stupnice pre smrek a jedľu. Rýchlosť ultrazvuku v pozdĺžnom smere zdravého dreva c_L [$m \cdot s^{-1}$] je podľa viacerých

literárnych poznatkov, zhrnutých napr. v publikácii POŽGAJA *et al.* (1997), zvyčajne 3 krát väčšia ako v radiálnom smere (c_R).



Obr. 1 Schéma miest ultrazvukových meraní v radiálnom (c_R) a pozdĺžnom (c_L) smere a miest meraní vlhkostí (w) na 4 metre dlhom výreze.

Fig. 1 Scheme of places for the ultrasonic measurements in the radial (c_R) and longitudinal (c_L) directions, and places for the moisture content measurements (w) at a 4-meter long log.

Tab. 1 Priemerné rýchlosti ultrazvukových vln kolmo na vlákna c_{\perp} [$m \cdot s^{-1}$] pre dreviny smrek (SM), jedľa (JD), borovica (BO) a dub (DB) v rôznom stupni biologického poškodenia I. až IV. pri približne 15 % vlhkosti dreva (KLOIBER & KOTLÍNOVÁ 2010)

Tab. 1 Mean velocities of the ultrasonic waves perpendicularly to fibers c_{\perp} [$m \cdot s^{-1}$] for the spruce (SM), fir (JD), pine (BO), and oak (DB) woods in their different degree of biological damage from I. to IV. at an approximately 15 % moisture content of wood (KLOIBER & KOTLÍNOVÁ 2010)

| Stupeň poškodenia dreva Degree of damage of wood | Popis poškodenia Damage description | SM, JD | BO | DB |
|---|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | | c_{\perp} [$m \cdot s^{-1}$] | c_{\perp} [$m \cdot s^{-1}$] | c_{\perp} [$m \cdot s^{-1}$] |
| I. | minimálny / minimal | 1260–1800 | 1160–1750 | 1640–2100 |
| II. | stredný / medium | 920–1260 | 840–1160 | 1180–1640 |
| III. | silný / severe | 750–920 | 680–840 | 850–1180 |
| IV. | totálny / total | 500–750 | 500–680 | 600–850 |

* Aplikácia c_{\perp} pri vyhodnocovaní rýchlostí c_R nameraných v tejto práci (tab. 2) vychádza z 2 zjednodušení:

a/ $c_{\perp} \sim c_R$;

b/ vlhkosť výrezov nebola síce cca 15 % (obr. 5), ale tento fakt sa nezohľadňoval, resp. sa zoberal do úvahy iba v samostatnom bode „Vplyv vlhkosti dreva pri ultrazvukovej defektoskopii“.

Vrty prístrojom Resistograph IML-RESI-F-400 (IML-Instrumenta Mechanika Labor System GmbH, Germany) sa vykonali do tých výrezov a ich sekcií, kde sa na základe predchádzajúcich ultrazvukových meraní stanovil vyšší ako I. stupeň hniloby / poškodenia. Súčasne sa vykonali aj do niektorých ďalších vybratých výrezov, v ktorých sa hniloba a iné defekty ultrazvukovou metódou neidentifikovali alebo sa identifikovali iba v I. minimálnom stupni. Výstupom bol hustotno-odporový profil v tom istom mieste guľatiny kde sa vykonalo ultrazvukové meranie v radiálnom smere (c_R), pričom tento profil názorne poukazoval na prítomnosť alebo neprítomnosť hniloby či iného defektu (dutiny, trhliny, apod.) v definovanej vzdialenosti od povrchu výrezu.

Štatistické metódy analýzy výsledkov

Rýchlosti ultrazvuku sa vyhodnotili pomocou programov Statistica 7 a Excel 2003 s cieľom:

- stanoviť základné štatistické charakteristiky (x , s) pre výrezy skúmaných druhov drevín,
- zistiť vplyv druhu dreviny na rýchlosť ultrazvukových vln v radiálnom i pozdĺžnom smere pomocou analýzy rozptylu a Duncanovho testu,
- zistiť a posúdiť korelačné vzťahy medzi rýchlosťami ultrazvukových vln v radiálnom a pozdĺžnom smere výrezov,
- zistiť a posúdiť korelačné vzťahy medzi rýchlosťami ultrazvukových vln v radiálnom smere výrezov a medzi vlhkosťou výrezov v ich povrchovej zóne 10 mm od lyka.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

ULTRAZVUKOVÁ DEFEKTOSKOPIA VÝREZOV

Detekcia hniloby alebo iného defektu vo výreze

Pri vizuálnom hodnotení čiel 24 výrezov sa ani pri jednom z nich nezistila hniloba, trhliny alebo iné defekty. Naopak, ultrazvukom sa nezriedka identifikovali minimálne defekty výrezov I. stupňa, resp. v dvoch prípadoch aj ich závažnejšie poškodenia.

Výsledky 72 meraní rýchlosti ultrazvukových vln v radiálnom smere 24 výrezov (c_R) sú uvedené v tab. 2 a 3, na obr. 4, resp. niektoré aj v tab. 6. Potenciálna indikácia hniloby alebo iných defektov sa zistila v prípade: - troch meraní pri smreku, - troch pri jedli, - dvanástich pri buku, - trinástich pri dube, - a šiestich pri jelši (tab. 2; vid' aj obr. 1 a tab. 1). Zjavnejšie znaky hniloby alebo iných defektov sa však identifikovali iba pri jednom jedľovom a jednom smrekovom výreze (tab. 2 a 6), čo sa prejavilo aj vo zvýšení príslušných smerodajných odchýlok v daných súboroch (tab. 3). K dosiahnutým výsledkom treba podotknúť, že ultrazvukové merania výrezov, guľatiny alebo rastúcich stromov sú často krát významne ovplyvnené aktuálnou a v priereze dreva nerovnomerne rozloženou vlhkosťou. Naopak, pri klimatizovanom rezive alebo pri dreve zabudovanom do konštrukcií nie je zvyčajne faktor vlhkosti až tak dominujúci. Z výsledkov je súčasne zrejmé, že pri bukových výrezoch s indikáciou minimálnych hnilobných alebo iných defektov I. stupňa sa rýchlosť ultrazvuku v radiálnom smere pohybovala pri šiestich meraniach v hornej časti intervalu 1640–2100 m·s⁻¹ (obr. 4), čo je blízko hranice pre nepoškodené drevo – t.j. drevo bez hniloby alebo iného defektu (tab. 1). Týchto 6 meraní poukazuje buď len na zanedbateľné defekty v bukovom dreve, resp. bukové drevo bolo úplne zdravé a ultrazvukové merania mohli byť ovplyvnené inými faktormi ako je reakčné drevo, nižšia hustota, vlhkosť bližšia k bodu nasýtenia vlákien, i inými.

Tab. 2 Hodnotenie hniloby vo výrezoch smreka (SM), jedle (JD), buka (BK), duba (DB) a jelše (JL) na základe rýchlosti ultrazvukových vln v radiálnom smere c_R (vid' obr. 1 a tab. 1).

Tab. 2 Decay determination in the spruce (SM), fir (JD), beech (BK), oak (DB) and alder (JL) logs on the basis of the ultrasonic wave velocities in the radial direction c_R (see Fig. 1 and Tab. 1).

| Drevina /Wood species | Hniloba hodnotená ultrazvukom v radiálnom smere výrezu | | | | |
|-----------------------|--|---|-----|------|-----|
| | Bez hniloby Without decay | Stupeň hniloby – poškodenia Degree of decay – damage | | | |
| | 0 | I. | II. | III. | IV. |
| SM | 12 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| JD | 12 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| BK | 3 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| DB | 2 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| JL | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 |

* Na každom výreze (SM = 5, JD = 5, BK = 5, DB = 5, JL = 4) sa vykonali 3 merania.

Výsledky 144 meraní rýchlosti ultrazvukových vln v pozdĺžnom smere 24 výrezov (c_L) sú uvedené v tab. 3, na obr. 4, resp. niektoré aj v tab. 6. Bližšie sa analyzujú v bode „Vplyv anatomického smeru dreva pri ultrazvukovej defektoskopii“.

Vplyv druhu dreveniny pri ultrazvukovej defektoskopii

Najvyššie priemerné rýchlosti ultrazvuku v radiálnom smere testovaných výrezov sa dosiahli pri buku (2032 m·s⁻¹), a naopak najnižšie pri jelši (1804 m·s⁻¹). Vplyv druhu dreveniny na hodnoty c_R bol teda v prvom pohľade iba mierny (tab. 3). Výsledok celkom nekorešponduje s prácou MATTHECKA & BETHGEA (1993), ktorí porovnávali rýchlosť impulzných vln z ručného kladiva v radiálnom smere viacerých čerstvých a zdravých ihličnanov i listnáčov, nakoľko títo autori stanovili rýchlosť vln cez buk a dub približne 1,3 až 1,5 krát vyššiu ako cez smrek a jedľu.

V pozdĺžnom smere, kde sa už viac mohol prejaviť aj vplyv hrčie a odklon vlákien od osi kmeňa, sa najvyššia rýchlosť ultrazvukových vĺn c_L stanovila pri smrekových výrezoch ($5076 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), pri ktorých neboli v zóne merania žiadne viditeľné väčšie hrče alebo rastové anomálie. Naopak, najnižšia rýchlosť ($3233 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) sa zaznamenala pri výrezoch jedle, ktoré mali väčší počet hrčie v línii prechodu ultrazvukových vĺn (tab. 3 a 6).

Tab. 3 Rýchlosti ultrazvuku v radiálnom (c_R) a pozdĺžnom (c_L) smere pre výrezy smreka (SM), jedle (JD), buka (BK), duba (DB) a jelše (JL) (viď obr. 1).

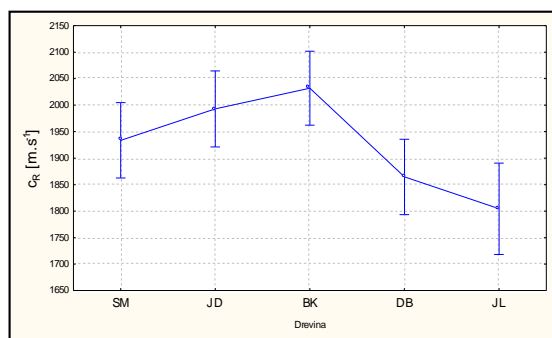
Tab. 3 The velocities of ultrasonic waves in the radial (c_R) and longitudinal (c_L) directions for logs of the spruce (SM), fir (JD), beech (BK), oak (DB) and alder (JL) (see Fig. 1).

| Drevina | $c_R [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ | | | $c_L [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$ | | |
|---------|------------------------------------|------|-------|------------------------------------|------|--------|
| | n | x | s | n | x | s |
| SM | $5 \times 3 = 15$ | 1827 | 306,6 | $5 \times 6 = 30$ | 5076 | 1089,2 |
| JD | $5 \times 3 = 15$ | 1924 | 303,2 | $5 \times 6 = 30$ | 3233 | 537,2 |
| BK | $5 \times 3 = 15$ | 2032 | 125,6 | $5 \times 6 = 30$ | 4558 | 379,1 |
| DB | $5 \times 3 = 15$ | 1865 | 128,5 | $5 \times 6 = 30$ | 4112 | 351,5 |
| JL | $4 \times 3 = 12$ | 1804 | 136,1 | $4 \times 6 = 24$ | 4598 | 481,4 |

* n – počet meraní (v radiálnom smere 3 merania pre každý výrez; v pozdĺžnom smere 6 meraní pre každý výrez), x – aritmetický priemer, s – smerodajná odchýlka

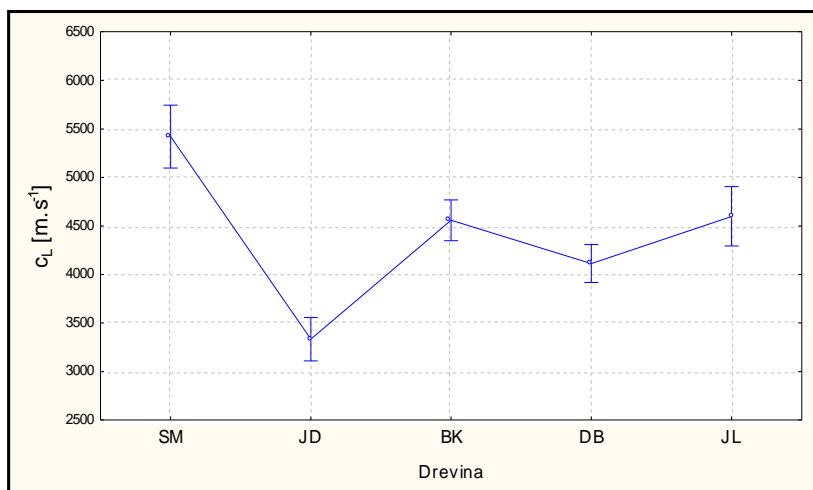
Hodnoty rýchlosti ultrazvukových vĺn vo výrezoch jednotlivých drevín sa hodnotili aj pomocou analýzy rozptylu (obr. 2 a 3) a Duncanovho testu (tab. 4 a 5). Do týchto hodnotení sa však zahrnuli iba údaje zo zdravých výrezov a z výrezov iba z I. stupňom defektu. Znamená to, že s cieľom posúdiť len vplyv druhu dreviny sa zo štatistických analýz vylúčili výrezy so zjavnejším II. a III. stupňom hniloby. Takáto výrazná hniloba sa zistila v jednom výreze smreka a v jednom výreze jedle (viď tab. 2 a 6). V štatistických analýzach sa teda vyhodnocovalo už len 22 výrezov – t.j. nie všetkých 24 výrezov (obr. 2 a 3, tab. 4 a 5).

Duncanov test (tab. 4 a 5) dokumentuje rozdiely medzi jednotlivými drevinami podrobených ultrazvukovým testom, a to so štatisticky významným rozdielom na hladine 95 % ($p \leq 0,05$). V radiálnom smere meraní ultrazvuku (c_R) neboli rozdiely medzi drevinami vždy signifikantné, pričom konkrétne rozdiely sa nezistili pri nasledujúcich dvojiciach „SM-JD“ (tieto dreviny sú všeobecne známe svojimi podobnými vlastnosťami), „SM-DB“, „JD-BK“ a „DB-JL“ (táto dvojica drevín vykazovala približne rovnakú hrčavosť). Naopak, v axiálnom smere sa ukázali signifikantné rozdiely medzi všetkými drevinami okrem dvojice „BK-JL“. Na základe štatistických analýz (Duncanov test a Analýza rozptylu) je teda zrejmé, že rozdiely medzi testovanými druhmi drevín sa prejavili výraznejšie pri meraniach rýchlosti ultrazvukových vĺn v pozdĺžnom smere výrezov.



Obr. 2 Priemerné rýchlosti ultrazvuku v radiálnom smere (c_R) pre 22 výrezov 5-tich drevín (t.j. bez výrezov s II. a III. stupňom hniloby), spolu s 95 % intervalmi spoľahlivosti.

Fig. 2 Mean velocities of ultrasonic waves in the radial direction (c_R) for 22 logs of 5 wood species (i.e. without logs having decay of the II. and III. degree), together with 95 % confidence intervals.



Obr. 3 Priemerné rýchlosti ultrazvuku v pozdĺžnom smere (c_L) pre 22 výrezov 5-tich drevín (t.j. bez výrezov s II. a III. stupňom hniloby), spolu s 95 % intervalmi spoľahlivosti.

Fig. 3 Mean velocities of ultrasonic waves in the longitudinal direction (c_L) for 22 logs of 5 wood species (i.e. without logs of decay of the II. and III. degree), together with 95 % confidence intervals.

Tab. 4 Duncanov test k údajom c_R v obr. 2.

Tab. 4 Duncan test for values c_R in Fig. 2.

| c_R | | SM | JD | BK | DB | JL |
|-------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | SM | | 0,204 | 0,047 | 0,140 | 0,009 |
| 2 | JD | 0,204 | | 0,400 | 0,010 | 0,000 |
| 3 | BK | 0,047 | 0,400 | | 0,001 | 0,000 |
| 4 | DB | 0,140 | 0,010 | 0,001 | | 0,197 |
| 5 | JL | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 0,197 | |

Tab. 5 Duncanov test k údajom c_L v obr. 3.

Tab. 5 Duncan test for values c_L in Fig. 3.

| c_L | | SM | JD | BK | DB | JL |
|-------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | SM | | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | JD | 0,000 | | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 3 | BK | 0,000 | 0,000 | | 0,010 | 0,815 |
| 4 | DB | 0,000 | 0,000 | 0,010 | | 0,007 |
| 5 | JL | 0,000 | 0,000 | 0,815 | 0,007 | |

Vplyv anatomického smeru dreva pri ultrazvukovej defektoskopii

Lineárne korelačné závislosti medzi rýchlosťou ultrazvukových vln v radiálnom (c_R) a pozdĺžnom (c_L) smere boli veľmi tesné v rámci všetkých 5-tich testovaných drevín (obr. 4). Koeficienty determinácie R^2 týchto závislostí nadobudli hodnoty v rozpätí od 0,58 až po 0,85. Pomerne najtesnejšia korelačná závislosť medzi rýchlosťou ultrazvuku v radiálnom a pozdĺžnom smere sa zistila pri smreku (SM) a relatívne najmenej tesná pri jelši (JL), avšak všetky korelačné závislosti boli štatisticky významné na 99 % hladine významnosti (obr. 4).

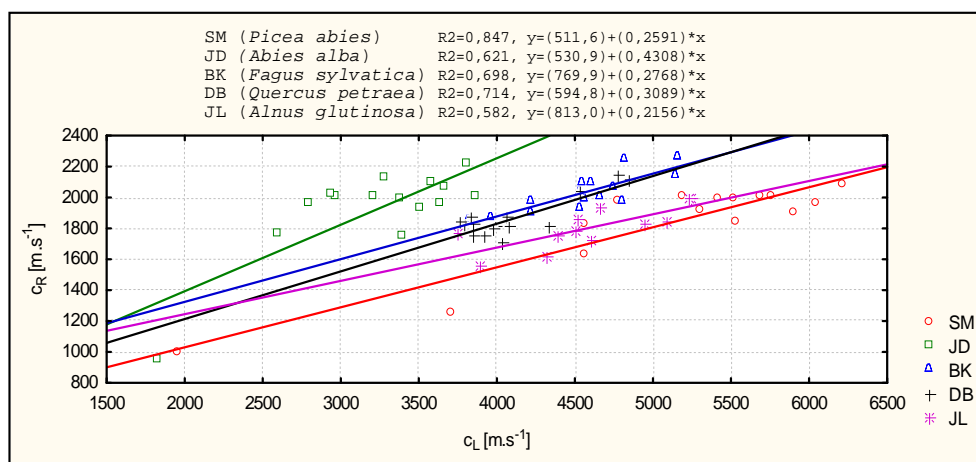
Lineárne závislosti nepriamo indikujú aj prítomnosť hniloby alebo iného defektu vo výreze alebo v jeho sekcii. Znamená to, že pri takomto defekte došlo k výraznému poklesu rýchlosti ultrazvuku v danej sekcii výrezu v oboch anatomických smeroch – radiálnom i pozdĺžnom (viď body v ľavej časti obr. 4). Napríklad pri smrekovom výreze s II. stupňom hniloby bola rýchlosť v radiálnom smere nízka iba $1002 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a v pozdĺžnom smere tiež nízka iba $1953 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Podobný výsledok sa zistil pri jedľovom výreze s III. stupňom hniloby (obr. 4, tab. 6). Analogické väzby medzi rýchlosťami ultrazvuku v radiálnom a pozdĺžnom smere bolo možné sledovať aj pri ďalších výrezoch s indikovaným I. stupňom hniloby, a taktiež pri nepoškodených výrezoch.

Vzhľadom na veľmi tesné lineárne korelácie medzi rýchlosťami ultrazvukových vln pre skúmané dva anatomické smery možno konštatovať, že na zachytenie hniloby v kmeni možno potenciálne použiť buď oboja postupy ultrazvukovej metódy alebo len jeden z nich – meranie v radiálnom a/alebo v pozdĺžnom smere. Je to v zhode s prácou REINPRECHTA & HIBKÉHO (2011), ktorí analyzovali vplyv hnejej a bielej hniloby na šírenie ultrazvukových vln v pozdĺžnom, radiálnom i tangenciálnom smere degradovaného dreva.

Z praktického hľadiska má určité limity meranie v radiálnom smere, a to v tom prípade, ak by sa hrúbka kmeňa a tým aj vzájomná vzdialenosť sond prístroja Pundit Plus zväčšila nad 400 až 500 mm, čo sme zistili v predpokusových meraniach.

Pri meraniach v pozdĺžnom smere bola vzdialenosť medzi sondami malá iba 0,5 m, čo však na druhej strane umožňuje ľahšie odhaliť prítomnosť lokálnej hniloby v kmeni (obr. 1 a 4). Za určitý praktický problém pri stanoveniach vnútornej hniloby pomocou ultrazvukových vln pri ich šírení v pozdĺžnom smere kmeňa pokladáme skutočnosť, že sondy sa prikladali z povrchu lokálne odkôrneného kmeňa, a teda prechod vln mohol najrýchlejšie prebehnúť v beľovej zóne kmeňa, t.j. vlny sa tým mohli vyhnúť aj určitej (jadrovej/zrelodrevnej) zóne výrezu poškodenej hnilobou alebo iným defektom.

Ďalší faktor, ktorý mohol ovplyvniť výsledky meraní bol nerovnomerný výskyt hrčíc vo výrezoch, keď v niektorých prípadoch bolo nutné posunúť definované miesto – zadanú sekciu merania (obr. 1), a to tak, aby sa medzi párovými sondami prístroja Pundit Plus nenachádzala hrča, či už zdravá alebo aj nezdravá, pretože výrazne predlžovala čas prechodu ultrazvukových vln, resp. tento prechod úplne znemožnila. Pritom okolité drevo zvyčajne nejavilo žiadne známky hniloby, čo neskôr potvrdili aj záznamy z prístroja Resistograph.



* Pre každý z výrezov platí (viď obr. 1): $c_{R1} = f[(c_{L1} + c_{L2})/2]$; $c_{R2} = f[(c_{L3} + c_{L4})/2]$; $c_{R3} = f[(c_{L5} + c_{L6})/2]$
 ** 99 % hladina významnosti pre R² podľa REGINÁČ *et al.* (1981): R² ≥ 0,41, ak n = 15 (SM, JD, BK, DB); R² ≥ 0,48, ak n = 12 (JL)

Obr. 4 Lineárne závislosti medzi rýchlosťou ultrazvuku v radiálnom smere (c_R) a pozdĺžnom smere (c_L) pre testované výrezy, t.j. $c_R = a + b \cdot (c_L)$

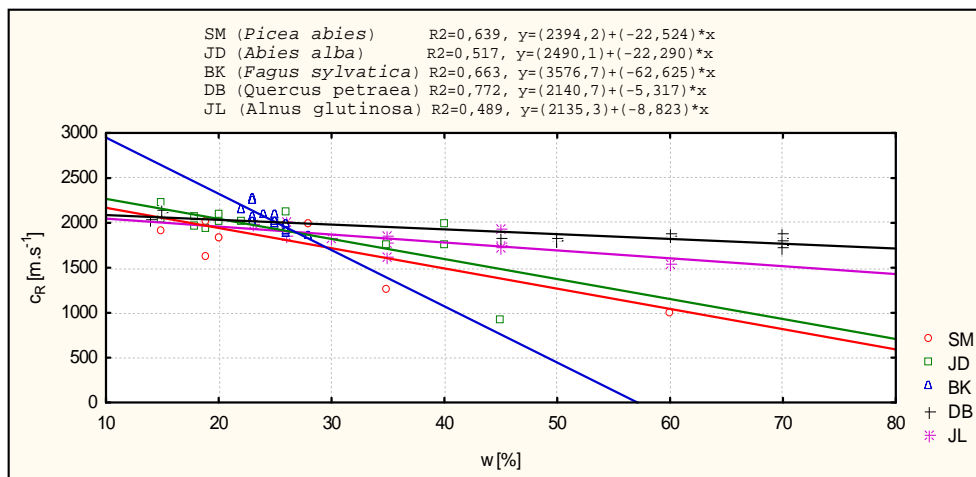
Fig. 4 Linear correlations between the velocities of ultrasonic waves in the radial (c_R) and the longitudinal (c_L) directions for tested logs, i.e. $c_R = a + b \cdot (c_L)$

Vplyv vlhkosti dreva pri ultrazvukovej defektoskopii

Lineárne korelácie medzi rýchlosťou šírenia ultrazvuku v radiálnom smere (c_R) a vlhkosťou výrezu v hĺbke 10 mm od povrchu (w) sa ukázali pomerne tesné na 99 % hladine významnosti s koeficientom determinácie R² od 0,49 pri jelši až po 0,77 pri dube. Najvýraznejší pokles šírenia ultrazvuku v guľatine s nárastom jej vlhkosti sa zaznamenal pri buku, keď nárast vlhkosti o 10 % v intervale $w = 20$ až 30 % spôsobil pokles rýchlosti ultrazvuku o viac ako 500 m·s⁻¹. Pri ostatných drevinách bol tento pokles podstatne miernejší (obr. 5).

POŽGAJ *et al.* (1997), ale podobne aj mnohí iní autori, uvádzajú, že s nárastom vlhkosti dreva od 0 % po bod nasýtenia vlákien (BNV ≈ 30 %) sa rýchlosť šírenia ultrazvuku znižuje. Avšak pri ďalšom náraste vlhkosti dreva s priberaním voľnej vody sa šírenie ultrazvuku viacmenej už nemení alebo niekedy dokonca aj rastie (GERHARDS 1975, WANG & ROSS 2002). V obr. 5 boli jednotlivé merania šírenia ultrazvuku vzhľadom k vlhkosti výrezu vyjadrené lineárnymi závislosťami s klesajúcou tendenciou, a to aj za hranicou BNV. Treba však

zdôrazniť, že v tejto práci sa prezentuje iba zjednodušený pohľad na vplyv vlhkosti pri šírení ultrazvuku v dreve. V prípade podrobnejších analýz vzťahu „rýchlosť ultrazvuku = f (vlhkosti dreva)“ by bolo nutné už v metodike experimentu dôkladne vytriediť výrezy s definovanými hranicami vlhkosti, a tiež zohľadniť vlhkosť výrezov nielen v 10 mm hĺbke od ich odkôrneného povrchu – lyka, ale v ich celom priereze. Toto sa však v tomto pokuse nevykonalo, nakoľko táto otázka nebola až tak dominantná pre ciele tejto práce, nakoľko vykonať defektoskopiu výrezov s presne definovanými – známymi profilmi vlhkosti by bolo v praxi nemožné.



Obr. 5 Lineárne závislosti medzi rýchlosťou ultrazvuku v radiálnom smere (c_R) a vlhkosťou dreva (w) pre testované výrezy guľatiny, t.j. $c_R = a + b \cdot (w)$.

Fig. 5 Linear correlations between the velocities of ultrasonic waves in the radial direction (c_R) and the moisture content (w) for tested logs, i.e. $c_R = a + b \cdot (w)$.

Vplyv lesných porastov na kvalitu guľatiny

Výsledky týkajúce sa vplyvu dvoch lesných porastov na kvalitu guľatiny sa nedali zhodnotiť štatistickými analýzami pri testovaní iba 24 výrezov z 5 druhov drevín. Na základe čisto vizuálnych posúdení sa vplyv lesných porastov v Jánovej Lehote a Bartošovej Lehôtky na výskyt hniloby vo vyťaženej guľatine nepreukázal, keďže vizuálne sa hniloba neidentifikovala ani v jednom čele z testovaných výrezov. Ultrazvukom a odporovým vŕtaním sa kvalitné výrezy bez hniloby alebo len s miernym poškodením I. stupňa identifikovali pre obidve lokality (tab. 2). Jedľový výrez s jedným miestom hniloby III. stupňa a smrekový výrez s jedným miestom hniloby II. stupňa (tab. 2) pochádzali z Jánovej Lehoty. Treba však zdôrazniť, že počet výrezov z uvedených dvoch lokalít bol zanedbateľný a nemohli reprezentovať celkový zdravotný stav stromov v týchto lokalitách, t.j. ani na základe prístrojových metód sa nedá konštatovať, že výrezy z jednej lokality by boli kvalitnejšie ako z druhej lokality.

VŔTANIU ODPOROVÁ VERSUS ULTRAZVUKOVÁ DEFEKTOKOPIA VÝREZOV

Názorné porovnanie vŕtaniu odporovej metódy a ultrazvukovej metódy pri stanovení hniloby alebo iných defektov vo výrezoch ihličnatej a listnatej guľatiny je uvedené v tab. 6. Sú tu niektoré typické ukážky z viacerých meraní výrezov a ich sekcií ultrazvukovým prístrojom Pundit Plus, pri ktorých sa dosiahli buď obvyklé – priemerné hodnoty alebo naopak hraničné hodnoty v radiálnom (c_R) i pozdĺžnom (c_L) smere, spolu s uvedením aj zodpovedajúcich stupňov hnilobného alebo iného poškodenia výrezov podľa tab. 2 (I. až III. stupeň). Súčasne sa do tab. 6 uviedli aj grafické záznamy z prístroja Resistograph, v ktorých sa hniloba alebo inak znížená kvalita dreva prejavila poklesom jeho odporu voči vnikaniu tenkého vŕtáka.

Tab. 6 Rýchlosti ultrazvuku stanovené v dvoch anatomických smeroch (radiálne c_R a pozdĺž c_L) spolu s indikovanými stupňami hniloby výrezu (tab. 1) a súčasne grafické záznamy z Resistographu.
Tab. 6 The velocities of ultrasonic waves in two anatomical directions (radial c_R and longitudinal c_L) together with the indicated degrees of rot (Tab. 1), and also the records from the Resistograph device.

| Drevina | Výrez číslo | Sekcia [m] | c_R [$m \cdot s^{-1}$] | c_L [$m \cdot s^{-1}$] | Stupeň hniloby | Záznam Resistographu |
|---------|-------------|------------|----------------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| SM | 1 | 1 | 1002 | 1953 | II. | |
| SM | 2 | 1 | 1919 | 5302 | | |
| SM | 3 | 2 | 1624 | 4568 | I. | |
| SM | 5 | 1 | 1821 | 4561 | | |
| JD | 1 | 1 | 2121 | 3288 | | |
| JD | 2 | 1 | 2008 | 3212 | | |
| JD | 4 | 1 | 1969 | 3640 | | |
| JD | 4 | 2 | 1751 | 3398 | I. | |
| JD | 4 | 3 | 914 | 1834 | III. | |
| BK | 3 | 1 | 1971 | 4224 | I. | |
| BK | 5 | 1 | 1850 | 3828 | I. | |
| DB | 1 | 1 | 2106 | 4855 | | |
| DB | 2 | 1 | 1756 | 3853 | I. | |
| JL | 2 | 1 | 1925 | 4661 | | |
| JL | 3 | 1 | 1725 | 4610 | I. | |

* Pri výrezoch s nízkymi hodnotami rýchlosti šírenia ultrazvuku (SM výrez č. 1, sekcia 1; JD výrez č. 4, sekcia 3), t.j. s II. a III. stupňom hniloby, sa v ich vnútornej zóne identifikoval aj minimálny odpor voči vrtaniu prístrojom Resistograph – t.j. poukázalo sa na lokalizáciu vnútornej hniloby

Napríklad pri meraní jedľového výrezu č. 4 v sekcii č. 3 sa ultrazvukovou metódou identifikovala vnútorná hniloba III. stupňa ($c_R = 914 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), pričom tento výsledok sa potvrdil aj pri meraní ultrazvuku v pozdĺžnom smere tohto výrezu so zjavne zníženou hodnotou $c_L =$

1834 m·s⁻¹ oproti zdravým výrezom. Vnútna hniloba, prípadne iná vnútorná anomália, sa v uvedenom mieste tohto výrezu potvrdila aj z grafického záznamu prístroja Resistograph ako zóna minimálneho odporu (tab. 6).

Hustotno-odporové profily z prístroja Resistograph sú najvhodnejšie pre mapovanie tvaru a lokalizácie hnilôb, dutín i iných anomálií v dreve. Pre lepšie spoznanie skutkového stavu výrezov je vhodné porovnať patričné hustotno-odporové profily s ultrazvukovými meraniami, čo je prezentované aj v tejto práci (tab. 6), respektíve s inými akustickými meraniami vykonávanými napr. pomocou prístroja Fakopp (De RIDDER *et al.* 2010).

Všeobecne za nedostatok prístroja Pundit Plus možno považovať skutočnosť, že pri kmeňoch hrúbky nad 40 cm sa ultrazvukový signál cez drevo prenáša už nedostatočne, hoci všetky podmienky jeho úspešného prenosu môžu byť navonok zabezpečené. Na druhej strane, za nevýhodu prístroja Resistograph treba pokladať zvieranie tenkého vrtáka vnútornými silami dreva pri hustých a tvrdých drevinách, ako je buk a dub.

ZÁVER

Na základe vykonaných experimentov a dosiahnutých výsledkov možno vysloviť názor, že použitie ultrazvukových a/alebo vŕtaniu odporových prístrojov na skladoch guľatiny by bolo nápomocným práve vtedy, keď je nutné objektívne stanoviť, či sa v danom kmeni hniloba vyskytuje alebo nie. Podľa našich doterajších poznatkov (MARČOK *et al.* 1997, REINPRECHT & PÁNEK 2010, REINPRECHT & HIBKÝ 2011) sa ultrazvukové merania môžu aplikovať hlavne v tých situáciách, keď je nevyhnutné presnejšie určiť stupeň hnilobného alebo iného poškodenia dreva, alebo zistiť vnútornú hnilobu, ktorá nebola vizuálne zaznamenaná.

Obidva v práci použité prístroje majú aj svoje limity. V prípade prístroja Pundit Plus je to väčšia hrúbka výrezu, resp. v prípade prístroja Resistograph je to drevena s vyššou hustotou a tvrdosťou. Za hlavnú nevýhodu obidvoch prístrojov treba považovať fakt, že poskytujú opis kvality kmeňa len v konkrétnom mieste merania. Naopak, za výhodu možno považovať relatívnu jednoduchosť a rýchlosť ich použitia a získanie výsledkov v krátkom čase.

V práci sa zistili relatívne tesné korelácie medzi šírením ultrazvuku v radiálnom a pozdĺžnom smere dreva, čo môže v praxi znamenať zjednodušenie a urýchlenie meraní kvality guľatiny a výrezov, napr. merania zamerané na zistenie hniloby alebo iného defektu bude možné vykonávať iba v jednom z týchto smerov.

Rýchlosť ultrazvuku bola ovplyvnená okrem druhu dreveniny aj vlhkosťou dreva, čo je všeobecne známe. Tieto výsledky boli v zhode s poznáním, že s nárastom vlhkosti dreva až po bod nasýtenia vlákien rýchlosť šírenia ultrazvuku v dreve klesá.

LITERATÚRA

- BAHÝL, V., MÉSZÁROS, T. 2011. Počítačová tomografia pri skúmaní vnútorných štruktúr dreva, artefaktov na báze dreva a dendrochronológia. In CSTI 2011 – Konzervačná veda a technológie pre ochranu kultúrneho dedičstva, 3.–4.11.2011, SNM a STU Bratislava – Slovakia, (Abstract), p. 23–24.
- BRASHAW, B. K., ROSS, R. J. 2002. Probing, drilling and coring – nondestructive evaluation methods. In Nondestructive Evaluation of Wood (eds.: R. F. Pellerin and R. J. Ross), Forest Product Society, Madison WI USA, s. 55–59.
- DE RIDDER, M., DEN BULCKE, J. V., BEECKMAN, H., VAN ACKER, J. 2010. In the heart of the limba tree (*Terminalia superba* Engl. & Diels): detection methods for heart rot and false heartwood. In Wood Science for Conservation of Cultural Heritage – Braga 2008, (ed. J. Gril), Firenze University Press – Italy, p. 175–179.
- HRIVNÁK, J., REINPRECHT, L., SISÁK, J. 2011. Ultrazvuková a odporová defektoskopia hniloby v guľatine na lesných skladoch. In Drevoznehodnocujúce huby 2011, 8.9.2011. Zvolen: TU vo Zvolene, (CD Abstract Book - ISBN 978-80-228-2270-1), p. 26.
- KASAL, B., ANTHONY, R., W. 2004. Advances in *in situ* evaluation of timber structures. Progress in Structural Engineering and Materials. John Wiley & Sons Ltd., London, 6(2): 94–103.

- KLOIBER, M., KOTLÍNOVÁ, M. 2010. Nedestruktivní defektoskopické přístroje používané při provádění stavebně technických průzkumů historických dřevěných konstrukcí. TZB Info, Praha – Czech Republik. (<http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295>)-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technicky-pruzkumu-historicky-drevenych-konstrukci).
- KOLLMANN, F., CÔTE, W. A. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Berlin Springer-Verlag.
- KMEŤ, J., HLAVÁČ, P. 2010. Fyziologický a zdravotný stav drevín v mestskom prostredí – metódy a praktická aplikácia. In Dreviny vo verejnej zeleni 2010, ÚEL SAV Zvolen, Pobočka Biológia drevín Nitra – Slovensko, p. 116–122.
- LEINTNER, B. 2006. Nedeštruktívne skúšanie materiálov - kontrola ultrazvukom. Citované v práci Novotný, J. 2003. Ochrana lesa. Zvolen, UVVP LVH SR, 231 s.
- MARČOK, M., REINPRECHT, L., BENIČÁK, J. 1997. Detection of wood decay with ultrasonic method. Drevársky výskum, 42(1): 11–22.
- METTHECK, C., BETHGE, K. 1993. Detection of decay in trees with the Metriguard stress wave timer. Journal of Arboriculture, 19(6): 374–378.
- PELLERIN, R. F., ROSS, R. J. 2002. Inspection of timber structures using stress wave timing nondestructive evaluation tools. In Nondestructive Evaluation of Wood (eds.: R. F. Pellerin and R. J. Ross), Forest Product Society, Madison WI USA, p. 135–148.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 485 p.
- Regináč, L. *et al.* 1981. Náuka o dreve II. Skriptum. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska vo Zvolene, 378 p.
- REINPRECHT, L., HRIVNÁK, J. 2010. Stanovenie hniloby i iných defektov v drevených prvkoch ultrazvukom a odporovým vrtákom – v kostole v Trnovom a v nedokončenom zrube. In Sanace a rekonstrukce staveb 2010, Brno: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky, WTA, p. 33–40.
- REINPRECHT, L., PÁNEK, M. 2010. Diagnosis of failures in wood beams from historical house in Banská Štiavnica – relations between ultrasonic measurements and bending properties. In The International Research Group on Wood Protection, 41th Annual Meeting, Biarritz – France, Document No. IRG/WP-10-20437, 11 p. (www.irg-wp.com - Sweden).
- REINPRECHT, L., HIBKÝ, M. 2011. The type and degree of decay in spruce wood analyzed by the ultrasonic method in three anatomical directions. BioResources, 6(4): 4953–4968.
- RINN, F., SCHWEINGRUBER, F., SCHÄR, E. 1996. Resistograph and x-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and x-ray density charts of different wood species. Holzforschung, 50(4): 303–311.
- ROHANOVÁ, A., LAGAÑA, R., DUBOVSKÝ, J. 2010. Grading characteristics of structural Slovak spruce timber determined by ultrasonic and bending methods. In: COST Action E53 - The Future Quality Control of Wood and Wood Products, 4.–7.5.2010, Edinburgh – UK. (<http://cte.napier.ac.uk/e53>).
- ŠTEPÁNEK, J., ŠMÍRA, P. 2011. Arborsonic 3D – Fakopp: Nedestruktivní zjišťování skrytých vad živých stromu. In Drevoznehodnocující huby 2011 (eds.: L. Reinprecht and E. Bobeková), Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, p. 127–131.
- WANG, X., ROSS, R. J. 2002. Nondestructive evaluation of gree materials – recent research and development activities. In Nondestructive Evaluation of Wood (eds.: R. F. Pellerin and R. J. Ross), Forest Product Society, Madison WI USA, p. 149–171.

Pod'akovanie

Autori vyjadrujú pod'akovanie grantovej agentúre Slovenskej republiky (Grant: VEGA č. 1/0574/12) za podporu pri spracovaní tejto vedeckej práce a Ing. Jozefovi Sisákovi z MALES, s.r.o. v Žiari nad Hronom za technickú pomoc.

Adresa autorov

Prof. Ing. Ladislav Reinprecht, CSc.
 Ing. Jaroslav Hrivnák
 Technická univerzita vo Zvolene
 Drevárska fakulta
 T. G. Masaryka 24
 960 53 Zvolen, Slovenská Republika
 reinpret@vsld.tuzvo.sk