

VLIV POVRCHOVÉ ÚPRAVY NA RYCHLOST ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKU VE DŘEVĚ

T. Špaček, M. Kotlíňová, M. Kloiber, J. Polášek

Došlo: 27. listopadu 2007

Abstract

ŠPAČEK, T., KOTLÍŇOVÁ, M., KLOIBER, M., POLÁŠEK, J.: *Influence of the surface finishing on ultrasound velocity in wood*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., 2008, LVI, No. 2, pp. 211–216

Non-destructive diagnostic methods are very useful for monumental buildings. This paper deals with one of these technique, namely with ultrasound testing and influence of surface finishing on ultrasound velocity measured by means of device the Arborsonic Decay Detector. Surface finishing (Primalox – thick synthetic film of the surface finishing, Luxol – Extra – thin synthetic film of the surface finishing and Impranal Profi SL – thick acryl film the surface finishing) were selected and tested in this research. The transmission time was measured and velocity was converted from it. This was compared before and after application of surface finishing.

non-destructive testing, Arborsonic Decay Detector, ultrasound velocity, surface finishing, wood

Při stavebně-technických průzkumech truhlářských výrobků zabudovaných do historických staveb je kladen důraz na používání kvalitních a přesně vypovídajících diagnostických metod, které s sebou přinášejí invazivní nebo dokonce destruktivní zásahy do původních konstrukcí a povrchů, což je neslučitelné s požadavky památkové péče (Kloiber, Kotlíňová; 2005). Proto je nutné hledat alternativní cesty, jak tyto metody nahradit šetrnějšími způsoby.

Významným přínosem tak jsou zcela nedestruktivní ultrazvukové metody. Diagnostika prováděná pomocí ultrazvuku je založená na měření rychlosti šíření elastické deformace ve dřevě. Typickým příkladem ultrazvukového přístroje může být např. Arborsonic Decay Detector (ADD) s frekvencí 75 kHz. Měření rychlosti šíření elastické deformace závisí na mnoha faktorech, např. na druhu dřeva, jeho fyzikálních a mechanických vlastnostech a vnějších podmínkách měření. Podle Feio (2005) ultrazvuková vlna prochází přes nej kvalitnější zóny dřeva a obchází zóny s defekty (trhliny, suky, hnilobu, odklon vláken) a tím se snižuje její rychlost. Rozdílné rychlosti nebo časy průchodu slouží jako porovnávací veličiny pro hodnocení aktuálního stavu materiálu a je možné najít závislost s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi dřeva.

Na rychlost šíření mají vliv i ochranné látky. Podle Ross a Hunt (2000) ochranné látky na bázi vodoroz-

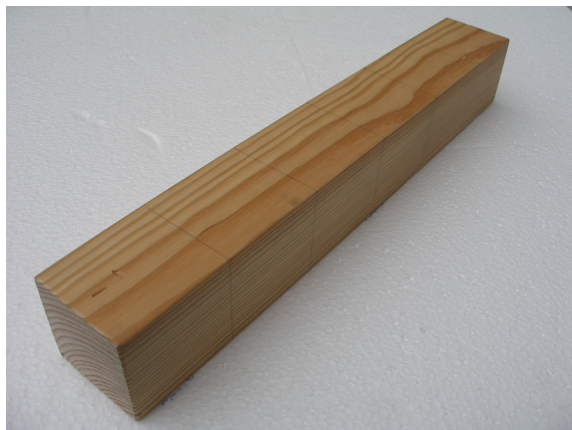
pustných solí mají slabý vliv na přenos ultrazvukových vln. Ochranné látky na bázi olejů zvyšují čas přenosu o více než 40 % ve dřevě. Autoři neuvádějí přesnou specifikaci použitých nátěrových látek. V případě truhlářských výrobků, jako jsou např. okna, je nutné také zvažovat účinek ochranné látky. Zjištění vlivu ochranné látky, kterou v případě oken jsou nátěrové hmoty, se stalo předmětem tohoto příspěvku. Důvodem zjišťování vlivu ochranných látek na rychlost šíření byl požadavek, který vzešel z měření probíhajících „in situ“ při diagnostice stavebně-truhlářských výrobků zabudovaných do historických staveb.

Pro zjištění vlivu nátěrových hmot na rychlost šíření byly použity tři různé druhy povrchových úprav používaných na okenní konstrukce (PRIMA-LEX, LUXOL - EXTRA, IMPRANAL PROFI SL). Měření bylo prováděno pomocí přístroje ADD na dřevě borovice, což je velmi rozšířený materiál používaný na výrobu oken.

MATERIÁL A METODY

Měření bylo provedeno na devíti vzorcích o rozměrech 45 × 45 × 500 mm (Obr. 1). Materiálem na výrobu vzorků byla borovice lesní (*Pinus Sylvestris*, L.). Velikost příčného profilu vzorků byla navržena v závislosti na rozměrech dřeva používaných při výrobě okenních vlysů. Zkušební vzorky byly označeny po-

řadovými čísly 1 až 9 a uloženy do klimatizační komory s nastavením teploty $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti $\phi = 65\text{ }\%$ pro dosažení konečné vlhkosti dřeva $w = 12\text{ }\%$ (podle ČSN 49 0103).



1: Označený měřený vzorek před nátěrem s vyznačením měřených míst

Po ustálení vlhkosti vzorků na $12\text{ }\%$ byl měřen čas průchodu ultrazvukové vlny přes dřevo, ze kterého byla následně podle vztahu [1] vypočítána rychlost šíření ultrazvukové vlny.

$$v = \frac{L}{t} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}, \quad [1]$$

kde: v – rychlost šíření napěťové vlny [m.s^{-1}]

L – délka měřeného úseku [m]

t – čas přenosu podélných ultrazvukových vln [s].

Měření probíhalo pro každý vzorek na pěti místech v horizontálním a na pěti místech ve vertikálním směru vzhledem k prvků. Jelikož vyrobené vzorky nebyly pouze radiální ani pouze tangenciální, proto musely být obě hodnoty následně zprůměrovány. Průměrná hodnota potom představovala hodnoty radiálního i tangenciálního směru dohromady, což se ukázalo jako vhodné z důvodu praktického použití ultrazvuku při „*in situ*“ průzkumu, kde není možné zjišťovat orientaci letokruhů. Následně byly vzorky rozděleny do tří skupin a pomocí štětce nanášeny tři druhy nátěrových hmot dle návodu od výrobce jednotlivých nátěrových hmot (Tab. I).

I: Přehled parametrů nátěrových látek

Zkušební vzorky (skupina)	Nátěrová hmota			
	Název	Druh	Obsah netěkavých látek	Hustota
1	PRIMALEX	silnovrstvá – syntetická	44,4 % obj.	0,94–1,25 g/cm ³ (DIN 51757)
2	LUXOL – EXTRA	tenkovrstvá – syntetická	30–45 % obj.	0,84 g/cm ³ (DIN 51757)
3	IMPRANAL PROFI SL	silnovrstvá – akrylátová	min 25 % obj.	1,04 g/cm ³ (DIN 51757)

Jednotlivé vrstvy nátěrů byly nanášeny v intervalu 24 hodin. Vzorky, povrchově ošetřené pomocí nátěrových látek, byly uloženy v zaschlém stavu opět do klimatizační komory. Po ustálení vlhkosti zkušebních vzorků opatřených nátěrem na $12\text{ }\%$ vlhkosti byl opět změřen čas průchodu vlnění ve stejných místech jako při měření před nanesením nátěru.

Před nátěrem probíhalo vážení vzorků na analytických laboratorních vahách. Účelem vážení bylo zjistit hmotnostní příjem jednotlivých nátěrových hmot tak, aby bylo možné porovnat hmotnostní metodu zjišťování nánosů s tloušťkou zaschlé vrstvy filmu. Stanovení tloušťky nátěru proběhlo dle ČSN 91 0274 – metoda zjišťování tloušťky odstraněním nátěru a dle ČSN EN ISO 2808 – stanovení tloušťky suchého filmu přístrojem Erichsen – na základě měření hloubky průniku. Pro zjišťování vlivu povrchové úpravy na rychlost šíření ultrazvuku přístrojem Arborsonic Decay Detector byly použity tři druhy nátěrových hmot (silnovrstvá nátěrová hmota

syntetická – obchodní označení PRIMALEX, tenkovrstvá nátěrová hmota syntetická – obchodní označení LUXOL EXTRA a silnovrstvá nátěrová hmota akrylátová – obchodní označení IMPRANAL PROFI SL).

K vyhodnocení naměřených výsledků byl použit statistický program Statistika 6.0. Na vyhodnocování naměřených hodnot byly použity statistické metody. Prvním krokem byla průzkumová analýza dat, posouzení symetrie a špičatosti dat a nalezení „podezřelých“ odlehlých dat. Druhým krokem bylo ověření normality rozdělení, ověření nezávislosti prvků výběru (autokorelace) a ověření potřebné velikosti výběru. Byla stanovena hladina významnosti pro všechny testy, při kterých je výsledek testu významný (signifikantní) na $\alpha = 0,05$, tj. pravděpodobnost zamítnutí byla $p < 0,05$.

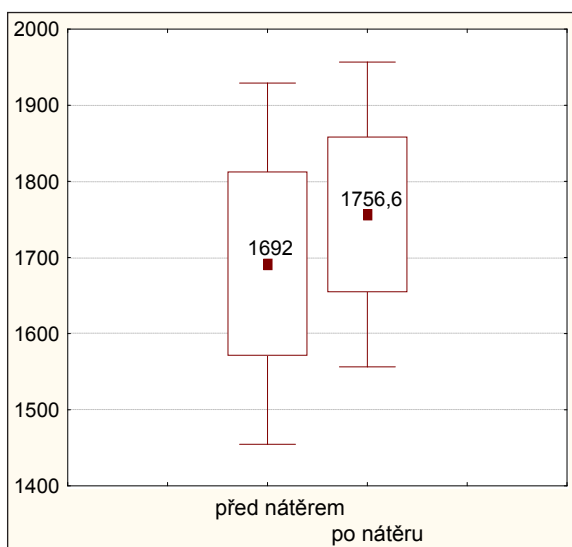
Pro porovnávání středních hodnot souborů popisujících stejnou vlastnost dvěma odlišnými metodami byl použit Studentův t-test pro závislé vzorky.

Dále bylo provedeno porovnávání rozptylů souborů, tzn. jejich variability, byl použit Fischerův F-test. Při zjišťování vlivu jednotlivých faktorů na zkoumanou vlastnost byla využita analýza rozptylu ANOVA.

VÝSLEDKY A DISKUSE

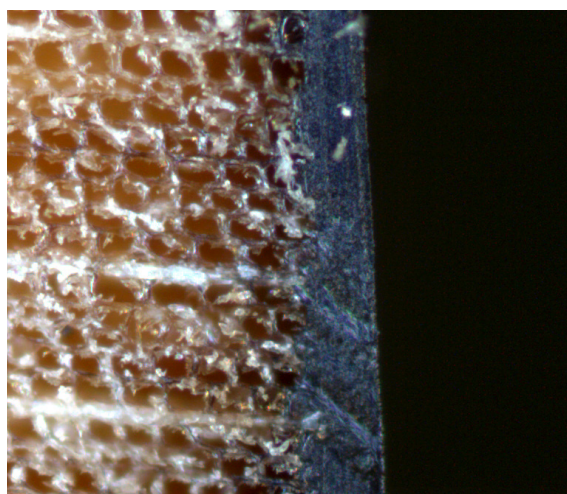
Vzorky byly měřeny v horizontálním a vertikálním směru vzhledem k prvků; tato hodnota byla při vyhodnocování zprůměrována. Oba směry obsahovaly různé odklony letokruhů. Tento fakt odráží reálné podmínky, kde nelze vždy dodržet přesné anatomické směry. Například při měření ultrazvukem „in situ“ oken mají jednotlivé vlysy rozdílné anatomické směry. Na zhodnocení dat byla použita popisná statistika. Hodnoty měření času průchodu ultrazvukové vlny přes dřevěné prvky měly normální rozdělení, což bylo potvrzeno Shapiro-Wilkow's testem. Soubory neobsahovaly extrémní nebo odlehle hodnoty, proto bylo možné použít aritmetický průměr jako porovnávací veličinu mezi jednotlivými soubory. Aritmetický průměr naměřené ultrazvukové rychlosti před nanesením nátěrové látky byl $1687,6 \text{ m.s}^{-1}$ v horizontálním směru a $1696,4 \text{ m.s}^{-1}$ ve vertikálním směru.

Po nanesení nátěrových látek průměrné hodnoty šíření ultrazvukové vlny stouply, viz obr. 2. Jelikož byla data měřena na stejných místech ve vzorcích před a po aplikaci nátěrové látky, byl použit Studentův t-test pro závislé vzorky, který potvrdil statisticky významný rozdíl mezi rychlostí šíření ultrazvukové vlny před a po povrchové úpravě ($p < 0,00$). Vyplyvá z toho, že při použití nátěrové látky na povrch dřeva se rychlost ultrazvukové vlny bude zvyšovat. Průměrná rychlost šíření ultrazvukové vlny přes dřevo byla 1692 m.s^{-1} před povrchovou úpravou a $1756,6 \text{ m.s}^{-1}$ po aplikaci nátěru, viz obr. 2.



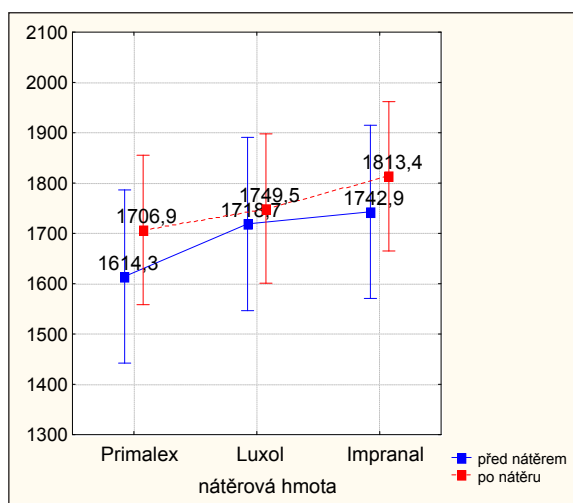
2: Průměrné hodnoty času průchodu ultrazvukové vlny před a po nátěru

Variabilita měření byla ověřena Fischerovým F-testem. Bylo zjištěno, že variabilita pro oba soubory měřených dat není statisticky rozdílná. Zajímavý je fakt, že průměrná hodnota variačního koeficientu je nižší pro data naměřená po aplikaci nátěrových látek ($v = 5,8 \%$). Variační koeficient hodnot rychlosti šíření ultrazvukové vlny na dřevě bez nátěrové látky je 7% . Důvodem může být zlepšení spojení sond ultrazvukového přístroje a dřeva, především v případě silnovrstvých nátěrových hmot. Po aplikaci nátěrové látky na dřevo dochází k vytvoření povrchové zóny s jinými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi, viz obr. 3. Dochází k eliminaci povrchových nerovností, které zhoršují přestup ultrazvukové vlny, a tím se nejen zvyšuje rychlost šíření ultrazvukové vlny, ale klesá i variabilita měření.

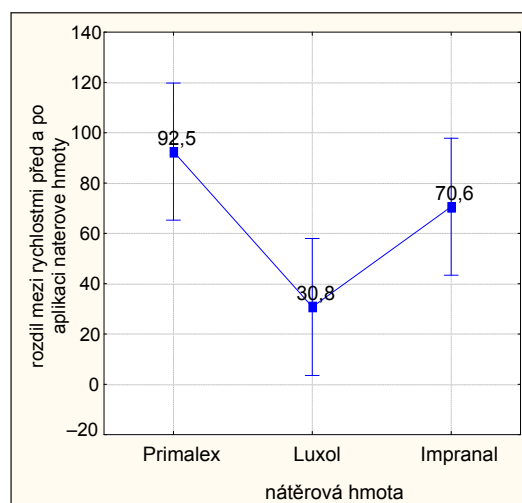


3: Mikroskopický snímek nánosu Primalexu

Byl potvrzen vliv použité nátěrové látky na čas šíření ultrazvukové vlny pomocí testu ANOVA ($p = 0,00$), viz obr. 4 a obr. 5. Při porovnávání různých nátěrových látek a jejich vlivu na průchod ultrazvukové vlny je druh nátěrové látky klíčovým faktorem ovlivňujícím šíření ultrazvuku ve dřevě. Bylo zjištěno, že Primalex nejvíce zlepšil rychlost šíření ultrazvuku. Rychlost šíření před použitím nátěru byla $1614,3 \text{ m.s}^{-1}$ a po použití nátěru $1706,9 \text{ m.s}^{-1}$, rozdíl byl $92,5 \text{ m.s}^{-1}$. Druhý největší vliv na rychlost šíření byl stanoven pro povrchovou úpravu Impranalem s rychlostí šíření ultrazvuku $1742,9 \text{ m.s}^{-1}$ před použitím nátěrové hmoty a $1813,4 \text{ m.s}^{-1}$ po aplikaci nátěru, rozdíl byl $70,6 \text{ m.s}^{-1}$. Nejmenší rozdíl byl $30,8 \text{ m.s}^{-1}$ při použití Luxolu, před použitím nátěru byla rychlost $1718,9 \text{ m.s}^{-1}$ a po použití $1749,5 \text{ m.s}^{-1}$. Tímto porovnáním byly potvrzeny výsledky Rosse a Hunta (2000), kteří uvádějí nárůst času průchodu ultrazvukové vlny až o 40% u olejových nátěrů, ačkoliv rozdíly získané v našem výzkumu nejsou tak veliké a to z důvodu použití nátěrových hmot na jiné bázi.



4: Průměrné hodnoty času průchodu ultrazvukové vlny před a po aplikaci nátěrové látky



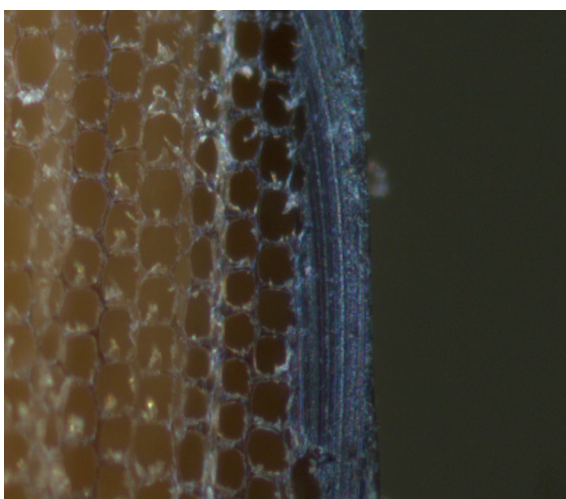
5: Průměrné hodnoty rozdílu mezi časem průchodu ultrazvukové vlny před a po aplikaci nátěrové látky

Vysvětlení nárůstu času přechodu ultrazvukové vlny po aplikaci nátěrové látky lze hledat v tloušťce

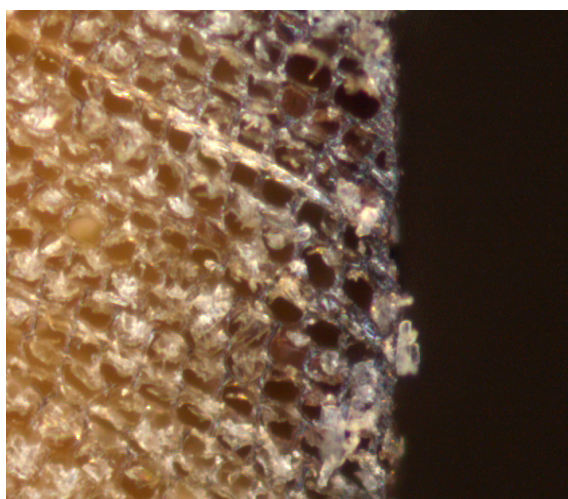
nánosu nátěrových hmot na povrchu vzorků, viz tab. II.

II: Přehled průměrných hodnot tlouštěk nátěrů

Zkušební vzorky (skupina)	Nátěrová hmota			
	Název	Druh	Tloušťka nátěru dle ČSN 91 0274 [μm]	Tloušťka nátěru ČSN EN ISO 2808 [μm]
1	PRIMALEX	silno vrstvá – syntetická	100,0	98,3
2	LUXOL – EXTRA	tenko vrstvá – syntetická	33,3	38,3
3	IMPRANAL PROFI SL	silno vrstvá – akrylátová	66,7	65,0



6: Mikroskopický snímek silnovrstvého nátěru Primalexu



7: Mikroskopický snímek tenkovrstvého nátěru Luxolu

V případě nátěrových hmot silnovrstvého Primalexu a Impranalu byly naměřeny tloušťky v rozmezí 60–110 μm. Silnovrstvé nátěrové látky vytvá-

řejí na povrchu souvislou vrstvu (viz obr. 6), která má odlišné vlastnosti než dřevo, což může způsobit větší rozdíl rychlosti šíření ultrazvukové vlny z dů-

vodu lepšího kontaktu sond s měřeným materiálem. Průměrné hodnoty rychlosti šíření ultrazvuku byly od 1532 m.s^{-1} do 1841 m.s^{-1} . Naproti tomu Luxol je tenkovrstvá syntetická nátěrová látka, kde chemická látka spíše proniká do dřeva a nevytváří vrstvu na povrchu, viz obr. 7. Naměřené tloušťky nátěrové látky se pohybovaly v rozmezí $30\text{--}40 \text{ }\mu\text{m}$, rychlost šíření ultrazvuku od 1538 m.s^{-1} do 1853 m.s^{-1} . Regresní analýzou byla potvrzena statistická významnost závislosti mezi tloušťkou filmu po nanesení a rychlostí šíření ultrazvuku měřeným před a po nátěru. Pro vztah mezi tloušťkou zjišťovanou podle ČSN 91 0274 (metoda zjišťování tloušťky odstraněním nátěru) a rychlosti šíření ultrazvuku byl koeficient determinace $R^2 = 0,77$. Pro vztah mezi tloušťkou zjišťovanou podle ČSN EN ISO 2808 (stanovení na základě měření hloubky průniku – pomocí přístroje Erichsen), byl koeficient determinace $R^2 = 0,63$.

Další důvod vlivu nátěrové látky na urychlení průchodu ultrazvukové vlny přes dřevo může spočívat v hustotě nátěrové látky, hodnoty pro jednotlivé druhy nátěrových látek jsou uvedeny v tab. I, tak jak je uvádí výrobce. Koeficient determinace pro vztah hustoty nátěrové látky a nárůstu ultrazvukové rychlosti po aplikaci nátěru je $R^2 = 0,71$. ANOVOU byl rovněž potvrzen statistický významný vliv hustoty na rychlost šíření ultrazvukových vln ($p = 0,00$).

Rovněž byla zjišťována závislost mezi navážkami nátěru a rychlostí šíření ultrazvukové vlny. Váha mokrého nátěru a rychlost šíření ultrazvukové vlny vykazuje koeficient determinace $R^2 = 0,65$ a pro závislost váhy suchého nátěru a rychlosti šíření ultrazvukové vlny je koeficient determinace $R^2 = 0,47$.

ZÁVĚR

Při ochraně památkových budov je kladen stále větší důraz na nedestruktivní průzkumné metody zjišťování stavu poškození dřeva. Tento příspěvek se zabývá vlivem povrchových úprav (používaných na dokončování okenních konstrukcí) na rychlost šíření ultrazvuku měřenou přístrojem Arborsonic Decay Detector.

Byly použity tři druhy nátěrových hmot: Primalex (silnovrstvá – syntetická nátěrová hmota), Luxol – Extra (tenkovrstvá – syntetická nátěrová hmota) a Impranal Profi SL (silnovrstvá – akrylátová nátěrová hmota), které byly porovnávány v tomto příspěvku. Byl měřen čas průchodu, který byl následně přepočítán na rychlost. Ve výsledkové části byly porovnány měřené vzorky před aplikací nátěrové hmoty a po aplikaci nátěrové hmoty.

SOUHRN

Pro zjišťování vlivu povrchové úpravy na rychlost šíření ultrazvukové vlny byl použitý defektoskopický přístroj Arborsonic Decay Detektor, který pracuje na principu přenosu ultrazvukové vlny. Byly zkoumány tři druhy nátěrových hmot na borovicové vzorky (*Pinus Sylvestris*, L.), které rozměrově představovaly velikost profilů okenních rámců $45 \times 45 \text{ mm}$. Pro tento příspěvek byly vybrány nátěrové hmoty (Primalex – silnovrstvá nátěrová hmota, Luxol – Extra – tenkovrstvá nátěrová hmota a Impranal Profi SL – silnovrstvá nátěrová hmota). Ve výsledkové části byly porovnány měřené vzorky před aplikací nátěrové hmoty a po aplikaci nátěrové hmoty.

Podle naměřených hodnot byla potvrzena hypotéza, že ochranné látky zvyšují rychlost šíření ultrazvukových vln. Rychlost šíření se především po aplikaci silnovrstvých nátěrových hmot (Primalex a Impranal) zřetelně zvýšila. V případě tenkovrstvé nátěrové hmoty Luxolu se vliv snížil na minimum. Zvýšení rychlosti šíření je možné vysvětlit zlepšením kontaktu sond s měřeným materiálem a také vyplnění povrchových nehomogenit, které zpomalují průchod ultrazvukové vlny. Rovněž byla potvrzena závislost nárůstu ultrazvukové vlny s hustotou nátěrové látky.

Závěrem lze konstatovat, že při stavebně-technických průzkumech truhlářských výrobků zabudovaných do historických staveb, jako jsou např. okna, dochází k mírnému zvýšení rychlosti šíření ultrazvukové vlny v příčném směru měření. Při ochraně památkových budov je kladen stále větší důraz na nedestruktivní průzkumné metody zjišťování stavu dřeva. Významným přínosem v oblasti nedestruktivního testování jsou ultrazvukové metody. Na principu šíření ultrazvuku pracoval i použitý defektoskopický přístroj Arborsonic Decay Detector.

nedestruktivní testování, Arborsonic Decay Detector, rychlost šíření ultrazvuku, povrchová úprava, dřevo

SUMMARY

Determination of surface finishing influence on ultrasonic wave propagation was performed by ultrasound defectoscopic apparatus (type Arborsonic Decay Detector). This equipment measure the velocity of ultrasound wave transmission. Three types of surface finishing on pines samples (*Pinus Sylvestris*, L.) were examined. The samples were dimensionally similar to size of a window - frame profile $45 \times 45 \text{ mm}$. Surface finishing (Primalex – thick synthetic film of the surface finishing, Luxol – Extra – thin synthetic film of the surface finishing and Impranal Profi SL – thick acryl film the surface finish-

ing) were selected and tested in this research. There is a comparison of samples with in results part and without surface finishing.

The hypothesis was confirmed by measured values, that protective material increases velocity of transmission of the ultrasound waves. The velocity of transmission wave was evidently increased for thick film of the surface finishing (Primalex and Impranal). The influence of the thin film of the surface finishing Luxol was reduced to minimum. The velocity increase could be explained by better contact between sensors and tested material and filled surfaces unevenness decreasing the velocity of ultrasound wave. Consequently the dependance of increase if ultrasound wave on varnish density had been proved.

To conclude: small increasing of the velocity of transmission of the ultrasound wave in cross way, was observed during building – technical survey of the joinery products build into historical building as are windows. Heritage conservation always prefer non – destructive survey methods of the determination the wood condition. Significant contributions in this area non – destructive testing are ultrasound methods. On principle of transmission of propagation ultrasound was based also used instrument the Arborsonic Decay Detector.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory výzkumného záměru MSM č. 6215648902 *Les a dřevo – podpora funkčně integrovaného lesního hospodářství a využívání dřeva jako obnovitelné suroviny* a AV0Z20710524, grantového projektu IG470451/2102/443 a díky nadačnímu příspěvku č. 05/2007 poskytnuté Nadací dřevo pro život.

LITERATURA

- ČSN 49 0103 Dřevo. Zistovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach, 1979
- ČSN 91 0274 Nábytek. Metody zjišťování tloušťky nátěru, 1989
- ČSN EN ISO 2808 Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěrů, 2000
- ČSN EN ISO 3251: Nátěrové hmoty a plasty – Stanovení obsahu netěkavých podílů, 1988
- FEIO, A. O., 2005: Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour. Ph.D. thesis – Universidade do Minho, Guimarães, 208 pp.
- KLOIBER, M., KOTLÍŇOVÁ, M., 2005: Vliv orientace a šířky letokruhů na šíření ultrazvuku ve struktuře dřeva. In Workshop NDT 2005, Non-destructive Testing in Engineering Practice, Brno, Czech Republic. ISBN 80-7204-420-6, pp. 53–59.
- KLOIBER, M., BLÁHA, J., 2005: Nedestruktivní identifikace poškození dřevěných nosných konstrukcí u památkově chráněných objektů. In: Drevoznehodnocující huby, Mezinárodní konference Zvolen-Kováčová, Slovensko. ISBN: 80-228-1535-7, s. 69–75
- POLÁŠEK, J.: Zkoušení nátěrových hmot a povrchových úprav – část 1., Stavebně truhlářské výrobky, 1. vydání MZLU v Brně, 149 stran, ISBN 80-7157-659-X
- POLÁŠEK, M., ŠPAČEK, T., 2007: Nové metody zjišťování stavu poškození okenních konstrukcí, In: sborník z konference *Vesnická architektura 1. poloviny 20. století – Výzkum, dokumentace, ochrana*, Kokory u Olomouce, s.
- ROSS, R. J., HUNT, M. O., 2000: Stress wave timing nondestructive evaluation tools for inspecting historic structures – A guide for use and interpretation. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 15 pp.
- ROSS, R. J., PELLERIN, R. F., 2002: Nondestructive Evaluation of Wood. Forest Products Society, Madison, 210 pp.
- ROSS, R. J., PELLERIN, R. F., 1994: Nondestructive testing for assessing wood members in structures. A review, Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70 (Rev.), Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 40 pp.
- STEUER, R. a kol.: Lexikon nátěrových hmot a pomocných přípravků, 1. vydání BEST Tradingv. o. s. Opava, 914 stran, ISBN: 80-9025579-0-9

Adresa

Ing. Tomáš Špaček, prof. Ing. Josef Polášek, Ph.D., Ústav základního zpracování dřeva, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: tomasspacek@seznam.cz, polasek@mendelu.cz, Ing. Mária Kotlíňová, Ing. Michal Kloiber, Ústav nauky o dřevě, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: kotlin@walla.com, kloiber@atlas.cz