

VPLYV POVRCHOVEJ ÚPRAVY NA STRUNOVÉ HUDOBNÉ NÁSTROJE

Peter Kajánek ^{a)}, Rastislav Klačanský ^{a)}, Anna Danihelová ^{a)}, Zdeněk Otčenášek ^{b)}

^{a)}*Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky*

Drevárska fakulta TU vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53 Zvolen

www.acoustics.sk, danihelova@acoustics.sk

^{b)}*MARC, Zvukové studio HAMU Praha,*

Malostranské nám.13, 118 00 Praha 1, Czech Republic

www.hamu.cz, otcenasek@hamu.cz

Abstract: This paper is concerned on the relation between wood and varnish. In our work is discussed of the way of hardening (without UV radiation, with UV radiation), the number of layers of spirit varnish and their influence on the elastics characteristics of spruce and maple wood. In the second part is presented tuning of spruce and maple plates before and after surface finishing and after all is showed frequency transfer function of the several finished violin without varnish.

1 Úvod

Dôležitým atribútom pri posudzovaní kvality hudobného nástroja, hlavne huslí je priehľadnosť a samotná krása laku. Dáva vyniknúť jedinečnej štruktúre dreva a dotvára nástroj na umelecký predmet. Lak, teda povrchová úprava strunových nástrojov má však nielen estetickú, ale aj ochrannú funkciu – chráni nástroj voči poveternostným vplyvom ako pred mechanickými poškodením. Pri povrchovej úprave hudobných nástrojov je tiež veľmi dôležité, aby negatívne neovplyvnila tónovú kvalitu hotového nástroja. Z tohto dôvodu je potrebné zaoberať sa skúmaním vplyvu povrchovej úpravy na elastické charakteristiky materiálu ako aj vplyvom laku na tónovú kvalitu hotového hudobného nástroja.

2 Teoretické poznatky

Existuje niekoľko objektívnych nedeštruktívnych metód, ktoré sú využívané pre zisťovanie elastických charakteristík a ich zmien vplyvom rôznych činiteľov. Pri experimentoch prezentovaných v tomto príspevku bola použitá na zviditeľňovanie módov kmitania metóda Chladniho obrazcov [6] a pre zaznamenanie frekvenčnej prenosovej charakteristiky hotových huslí bola použitá Dűnnwaldova metóda [4] budenia na kobylku.

2.1 Chladniho obrazce

Táto metóda je jedna z najstarších a najjednoduchších metód zviditeľňovania nekmitajúcich oblastí na sláčikových nástrojoch, gitarách, membránach alebo kovových platniach.

Na doskách sa vlny šíria v rozličných smeroch. Odrazom na okrajoch a interferenciou vznikajú na nich uzlové čiary, ktoré možno zviditeľniť ak posypeme dosku jemným práškom. Na chvejúcich sa plochách prášok sa zosunie do miest, ktoré nekmitajú, teda do uzlových čiar, ktoré vytvárajú rôzne obrazce, tzv. Chladniho obrazce. Tvar obrazcov závisí od miesta budenia, od spôsobu upevnenia dosky, prípadne od systému uchytenia.

2.2 Dűnnwaldová metóda

Pre účely skúmania vlastností hudobných nástrojov sa podmienky vzniku tónov len simulujú, tak ako je to aj pri tejto metóde. K tomu slúži elektrodynamický budič, ktorý rozkmitáva kobylku sláčikových nástrojov. Použitím tohto spôsobu budenia je zaručené, že pri opakovaní experimentu budú dodržané rovnaké, štandardné podmienky. Budič je tvorený oceľovým

drôtom, ktorý je umiestnený v poli permanentného magnetu. Drôt sa v dôsledku prechodu striedavého prúdu sínusového priebehu rozkmitá a následne rozkmitá kobylku. Takto vybudovaný tón nevykazuje reálne vlastnosti, ako je dynamická či farebná stránka, ale objektívne reprodukuje prenosové vlastnosti ozvučnej skrine nástroja [3].

3 Experimenty

V experimentoch bolo použité smrekové drevo. Na jeho povrchovú úpravu boli použité laboratórne pripravené liehové náterové laky, v ktorých filmtvornú zložku reprezentujú živice rozpustené v polárnych lakoch a rozpúšťadlom bol etanol. Tieto laky sú zdravotne neškodné (po odparení rozpúšťadla už nie sú v nátere žiadne škodlivé látky, keďže zložky obsiahnuté v laku majú prírodný charakter).

3.1 Pravouhlé dosky

Experimentálne skúmanie vplyvu vytvrdzovania a počtu vrstiev laku na vybrané vlastnosti materiálu – hustotu ρ , modul pružnosti v smere vlákien – E_x a akustickú konštantu – A . Merania boli uskutočnené na tenkých smrekových pravouhlých doskách. Rozmery dosiek boli (180 x 110) mm. a boli naklimatizované na 12% rovnovážnu vlhkosť.

Pre experiment boli pripravené dva druhy lakov. Lak1 a Lak2 boli liehového charakteru a pozostávali z:

Lak 1 – šelak, sandarak, mastix, elemi, terpentínový olej, etanol),

Lak 2 – sandarak, mastix, elemi, terpentínový olej, etanol).

Výsledky merania vybraných charakteristík sú uvedené v Tabuľkách 1 a 2.

Tabuľka 1. Základné štatistické údaje pre Lak 1: n – počet meraných vzoriek v súbore, ρ – hustota skúšobnej vzorky, E_x – modul pružnosti (v smere pozdĺžnom), A – akustická konštanta, MV – priemer nameraných hodnôt (mean value), SD – smerodajná odchýlka (standard deviation), CV variačný koeficient (coefficient of variation).

Lak a spôsob zasychania	Počet vzoriek - n		ρ [kg.m ⁻³]	E_x [GPa]	A [m ⁴ .kg ⁻¹ .s ⁻¹]
Lak 1 bez UV, bez PU	23	MV	550	18,746	10,64
		SD	389	2,201	0,605
		CV	5,975	11,741	5,682
Lak 1 bez UV, 5 vrstiev	23	MV	560	18,766	10,35
		SD	34	2,205	0,566
		CV	5,993	11,751	5,468
Lak 1 bez UV, 10 vrstiev	23	MV	565	18,804	10,214
		SD	34	2,152	0,56
		CV	5,951	11,445	5,485
Lak 1 s UV, bez PU	23	MV	554	19,234	10,63
		SD	33	2,303	0,528
		CV	5,975	11,974	4,963
Lak 1 s UV, 5 vrstiev	23	MV	558	19,107	10,471
		SD	37	2,517	0,479
		CV	6,602	13,172	5,017
Lak 1 s UV, 10 vrstiev	23	MV	565	19,135	10,3
		SD	37	2,519	0,454
		CV	6,55	13,165	4,408

Tabuľka 2. Základné štatistické údaje pre Lak 2: n – počet meraných vzoriek v súbore, ρ – hustota skúšobnej vzorky, E_x – modul pružnosti (v smere pozdĺžnom), A – akustická konštanta, MV – priemer nameraných hodnôt (mean value), SD – smerodajná odchýlka (standard deviation), CV variačný koeficient (coefficient of variation).

Lak a spôsob zasychania	Počet vzoriek - n		ρ [kg.m ⁻³]	E_x [GPa]	A [m ⁴ .kg ⁻¹ .s ⁻¹]
Lak 2 bez UV, bez PU	23	MV	553	18,624	10,491
		SD	33	2,573	0,442
		CV	5,983	13,817	4,211
Lak 2 bez UV, 5 vrstiev	23	MV	565	18,686	10,162
		SD	33	2,524	0,409
		CV	5,822	13,507	4,022
Lak 2 bez UV, 10 vrstiev	23	MV	573	18,718	9,972
		SD	33	2,536	0,392
		CV	5,748	13,551	3,934
Lak 2 s UV, bez PU	23	MV	551	19,028	10,676
		SD	29	2,025	0,474
		CV	5,294	10,643	4,439
Lak 2 s UV, 5 vrstiev	23	MV	561	19,041	10,374
		SD	29	2,047	0,414
		CV	5,12	10,749	3,993
Lak 2 s UV, 10 vrstiev	23	MV	569	19,071	10,177
		SD	29	2,021	0,412
		CV	5,09	10,599	4,052

Ako je zrejmé z Tabuliek 1 a 2, vplyv rôzneho počtu nanosených vrstiev skúmaných lakov sa ukázal ako štatisticky významný, t.j. hrúbka laku ako aj jej prienik do dreva štatisticky významne ovplyvňuje pružnostné charakteristiky skúmaného dreva. Aplikovaný nános laku zvýši tuhosť vzorky, v dôsledku čoho sa menia pružnostné pomery vo vzorke. K väčšiemu zníženiu akustickej konštanty došlo po aplikácii prvých piatich vrstiev. Po nanosení ďalších piatich vrstiev sa znižovanie akustickej konštanty prejavilo v menšej miere.

Po nanosení laku boli tiež sledované vizuálne zmeny tvaru a umiestnenia uzlových čiar, tak ako predstavuje Obrázok 1a a 1b.



Obrázok 1a. Ideálny tvar uzlových čiar pre E_x



Obrázok 1b. Zmena uzlových čiar pre E_x

Sledovaním vplyvu UV žiarenia z pohľadu zistenia jeho vplyvu na vytvrdzovanie laku sme zistili, že čas vytvrdzovania, ak sa použilo UV žiarenie sa podarilo skrátiť približne o polovicu. Ukázalo sa tiež, že UV žiarenie napomohlo aj urýchlenie stabilizácie laku [2].

3.2 Husľové dosky

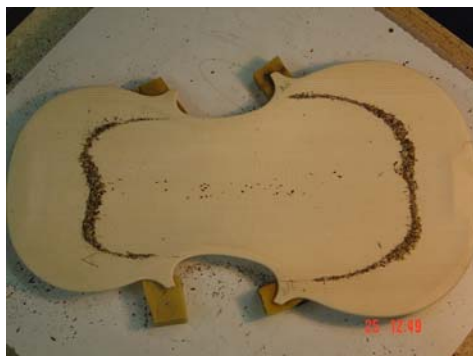
V druhej etape výskumu boli použité voľné husľové dosky. Skúmanie bolo zamerané na sledovanie vplyvu povrchovej úpravy na zmenu frekvencií a tónov husľových dosiek po povrchovej úprave. Boli použité dva druhy lakov – olejový a liehový . Všetky husľové dosky boli vyrobené podľa modelu Stradiváriho na CNC stroji [1]. Použitím riadenej frézky CNC

stroja boli dosky vytvarované najpresnejšie a bolo zabezpečené, že tvary klenby, rozmery a krivky boli u všetkých dosiek rovnaké. Výsledky experimentu sú uvedené v Tabuľke 3.

Tabuľka 3. Frekvencie módov 1., 2. a 5. a tónov pred a po lakovaní

Drevina a označenie	Mód	Frekvencia pred lakovaním [Hz]	Tón pred lakovaním	Frekvencia po lakovní [Hz]	Tón po lakovaní 1.Meranie	Frekvencia po lakovní [Hz]	Tón po lakovaní 2.Meranie
SM Liehový lak	1	79	D#	83	E	83	E
	2	141	C#	146	D	147	D
	5	303	D#	300	D	305	D#
JV Olejový lak	1	107	A	112	A#	113	A#
	2	146	D	153	D#	150	D
	5	304	E	306	D#	307	D#
SM Olejový lak	1	76	D#	81	E	79	D#
	2	125	B	134	C	136	C- C#
	5	294	D	288	C#	286	C#
JV Liehový lak	1	106	G# - A	111	A	111	A
	2	144	D	147	D	148	D
	5	312	E	314	D#	319	D#-E

Z Tabuľky 3 je zrejmé, že pri oboch namiešaných lakoch došlo pri 1. a 2. móde k zvýšeniu rezonančných frekvencií a výšok tónov týchto módov. Toto súvisí s adekvátnou zmenou pružnostných charakteristík dosky, avšak pri 5. móde dochádzalo u všetkých dosiek k poklesu, čo je podnetom pre ďalšie štúdie. Po nalakovaní dochádzalo tiež k zmene tvaru uzlových čiar jednotlivých rezonančných módov. Tvar uzlových čiar 5. módu pred lakovaním a zmenu ich tvaru po nalakovaní sú na Obrázku 2a a 2b.



Obrázok 2a. Tvar uzlových čiar pred lakovaním



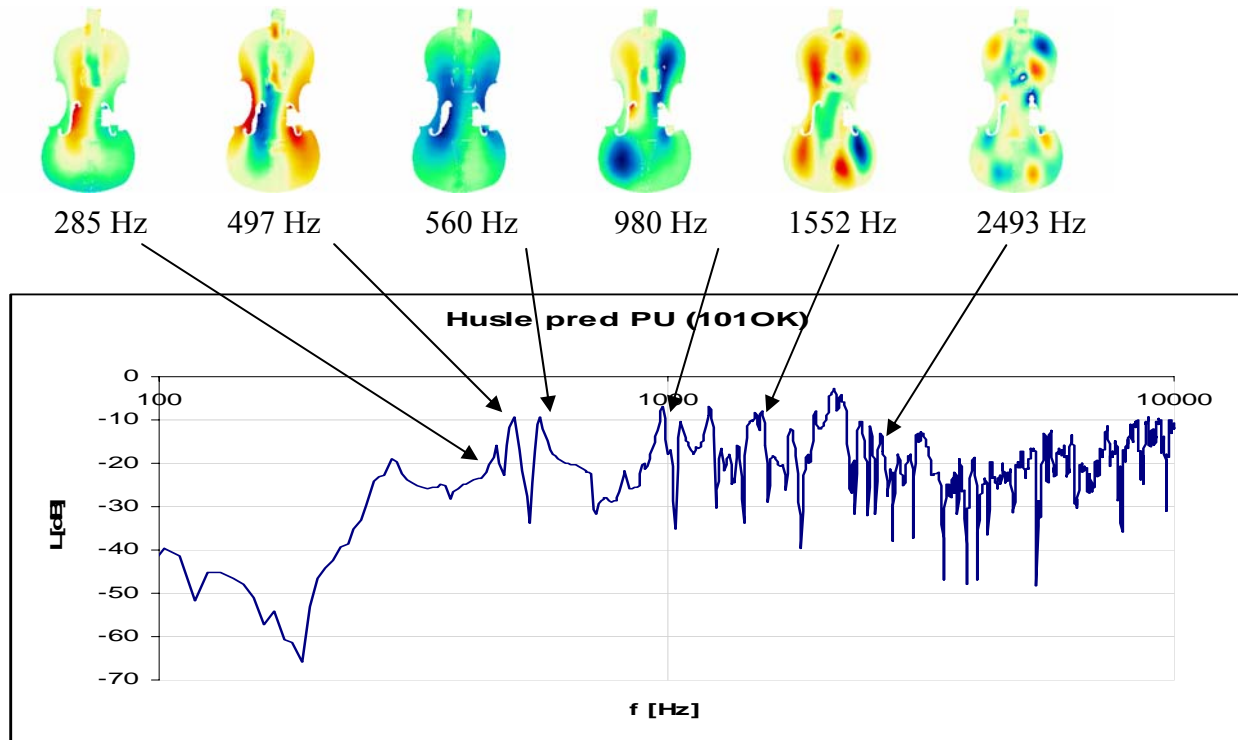
Obrázok 2b. Tvar uzlových čiar po lakovaní

3.3 Korpus nástrojov

V tretej sérii experimentov boli sledované a zaznamenávané frekvenčné prenosové charakteristiky siedmich korpusov nenalakovaných huslí. Frekvenčné prenosové charakteristiky boli merané v rozsahu (100 – 10 000) Hz. Meranie týchto charakteristík bolo uskutočnené v bezdrazovej miestnosti Zvukového štúdia HAMU Praha a vibračné obrazce boli zaznamenané elektronickým speckle pulzným interferometrom ESPI Q-600. Priebeh frekvenčnej prenosovej charakteristiky je na Grafe 1.

V druhej časti experimentu bola uskutočnená vizualizácia a analýza kmitania husľových korpusov. Z nameranej frekvenčnej prenosovej charakteristiky boli vytipované určité frekvencie. Týmito frekvenciami bolo vybudené kmitanie huslí a znamenávané tvary kmitania hotových huslí laserovým interferometrom na pozíciách rezonančných maxim v rozsahu frekvencií (196 – 2 000) Hz. Získaná fázová a následne farebná amplitúdová mapa predstavuje absolútnu deformáciu plochy (od zápornej zmeny polohy určitej plochy huslí po kladnú vzhľadom na pôvodnú polohu danej plochy) v mikrometroch pre každú budiacu frekvenciu. Farebné amplitúdové mapy (vibračné obrazce) pre vyznačené frekvencie sú na Obrázku 3.

Obrázok 3. Vibračné obrazce huslí zaznamenané laserovým interferometrom



Graf 1 Frekvenčná prenosová charakteristika huslí pred povrchovou úpravou

4 Záver

Cieľom experimentov bolo objektivizovať často subjektívne názory na problematiku lakovania hudobných nástrojov a na základe exaktných meraní vyhodnotiť vplyv povrchovej úpravy na zmenu pružnostných charakteristík.

Na základe experimentu s husľovými doskami je možné konštatovať, že ladenie dosiek by sa malo realizovať až po aplikácii prvých piatich vrstiev laku. Tým by sa dosiahlo lepšie zladenie hornej a spodnej dosky huslí. Použitie UV žiarenia umožní skrátiť čas vytvrdzovania lakov a zároveň pozitívne ovplyvní ich zrenie bez toho, aby došlo k väčšej zmene rezonančných frekvencií príslušných módov pravouhlej dosky.

Výsledky skúmania vplyvu dvoch druhov lakov (liehový, olejový) voľných husľových dosiek na tónovú kvalitu huslí naznačujú, že po nanosení oboch druhov laku dochádza k zvýšeniu frekvencií. Najväčší vplyv laku sa ukázal pri 2. móde, čo v hotovom nástroji má za následok drsný a piskľavý zvuk. Zmeny rezonančných frekvencií javorovej a smrekovej dosky sú rozdielne. Pre dosiahnutie toho, aby husľové dosky (smreková, javorová) boli naladené na rovnakú rezonančnú frekvenciu zodpovedajúcich módov po nalakovaní, rezonančná frekvencia javorovej dosky by mala byť nižšia o (5-10) Hz.

Pre skúmanie vplyvu povrchovej úpravy na kmitanie korpusu huslí bol zúžený frekvenčný rozsah na frekvencie do 2 kHz. Experimenty ukazujú, že priebeh frekvenčných prenosových charakteristík huslí je pre frekvencie nad 2 kHz výrazne ovplyvnený vlastnosťami kobylky (kobyľka nie je lakovaná), preto nemá význam použiť väčší rozsah. Z časových dôvodov bolo doposiaľ realizované iba meranie frekvenčných prenosových charakteristík a vibračných obrazcov pred lakovaním. Po nanosení podkladu a opäť po nalakovaní korpusov huslí budú merania opakované za rovnakých podmienok a výsledky porovnané.

Problematika povrchovej úpravy [5] husľových dosák je veľmi široká a náročná. Cieľom tohto príspevku je prezentovať riešenie nové možnosti riešenia problematiky lak – hudobný nástroj.

5 Pod'akovanie

Vytvorenie sady housľových dosiek a meranie na HAMU Praha bolo uskutočnené v spolupráci s Výskumným centrom hudobnej akustiky MARC v rámci projektu MŠ 1M6138498401 Českej republiky.

Táto štúdia je publikovaná s podporou Grantovej agentúry Ministerstva školstva Slovenskej republiky, Grant č. 1/2063/05.

Literatúra

- [1] Kajánek, P. (2005): Ladenie husľových dosák vo vzťahu k vlastnostiam husliarských lakov, Diplomová práca, *Zvolen*,.
- [2] Klačanský, R. (2006): Vplyv liehových lakov na pružnostné charakteristiky smrekového rezonančného dreva, Diplomová práca, *Zvolen*,.
- [3] Neville, H. (1991): The Physics of Musical Instruments, *New York*, 246-251.
- [4] Reference to PDFCreator page:<http://www.hamu.cz/zvuk/studio/dokumenty/Lit132.pdf>
- [5] Ružinská, E., Igaz, R., Danihelová, A. (2005): Alternatívne ekologické náhrady tradičných náterových látok pre povrchovú úpravu strunových hudobných nástrojov. In *Conference Papers. Proceedings of 36th International Conference on Coatings Technology*, vol. 36., Univerzita Pardubice. 2005. s. 409 – 417, ISBN 80-7194-762-8
- [6] Syrový, V. (2003): Hudební akustika, *Praha*, 227-230,368-369.