

Česká Zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská



Hodnocení řeziva pro výrobu hudebních nástrojů nedestruktivními
metodami

Sorting of resonant sawnwood for music instruments making by the non-destructive
methods

Bakalářská práce

Bořivoj Ledvinka

Vedoucí práce: Ing. Martin Böhm, Ph.D.

Konzultant: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Praha

Duben 2011



Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: **Bořivoj LEDVINKA**

obor: Dřevařství

Název tématu: **Hodnocení řeziva pro výrobu hudebních nástrojů nedestruktivními metodami**

Název tématu v anglickém jazyce: **Sorting of resonant sawnwood for music instruments making by the non – destructive methods**

Zásady pro vypracování:

1. Metody třídění rezonančního dřeva
2. Vybrané druhy nedestruktivních metod, specificky používané pro třídění dřeva
3. Vlastnosti, podle kterých se hodnotí kvalita rezonančního dřeva (rozdělení, typy a vliv vad dřeva)
4. Zhodnocení výhod a nevýhod použití daných nedestruktivních metod pro třídění
5. Závěr



Rozsah grafických prací: max. 20

Rozsah průvodní zprávy: 30 – 40 stran

Seznam odborné literatury:

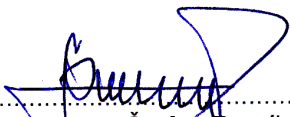
1. Kotlíková, M. a kol. 2008 : Nondestructive testing of wood, Lesnická práce, ISBN 978-80-87154-14-4
2. Kuklík, P., 2002 : Timber structures 10, ČVUT v Praze, ISBN 80–01–02639-6
3. ČSN 49 0116 (490116) Drevo. Metóda zisťovania modulu pružnosti pri statickom ohybe.
4. ČSN 49 0131 (490131) Řezivo. Metódy zisťovania modulu pružnosti v statickom ohybe.
5. 2005 : Determination of the modulus of elasticity of boards by bending vibration, FAKOPP Enterprise, s. 2 -5 (Zdroj : www.fakopp.com)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Böhm, Ph.D.


Konzultant bakalářské práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 1.10.2010

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011


.....
doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.
vedoucí katedry




.....
prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.
děkan fakulty

V Praze dne 1.10.2010

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Martinu Böhmovi Ph.D., za vedení a podmětné připomínky. Prof. Anně Danihelové za poskytnutí podkladů, cenných rad a připomínek. Ing. Přemyslu Šedivkovi za odborné konzultace. Svě ženě za trpělivost, podporu a jazykovou korekturu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Hodnocení řeziva pro výrobu hudebních nástrojů nedestruktivními metodami“ vypracoval samostatně s použitím zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury a po odborných konzultacích s Ing. Böhmem , Ph.D.

V Praze dne 28.4 2011

.....

Podpis

Abstrakt

Hodnocení kvality dřeva pro výrobu hudebních nástrojů je možné několika metodami. Cílem této práce bylo vyhledat všechny existující metody měření, posoudit jejich vhodnost pro danou variantu měření a vzájemně metody porovnat. Uváděné metody měření jsou metodami nedestruktivními, to znamená, že nedochází k mechanickému porušení měřeného předmětu. Kvalitu dřeva popisujeme fyzikálními veličinami a ty mezi sebou porovnáваме. Mezi nejvýznamnější hodnocené veličiny patří akustická konstanta, dynamický modul pružnosti, logaritmický dekrement útlumu, rychlost vlnění a hustota dřeva. Každá z metod slouží k určité variantě měření. Některé metody jsou určeny k měření připravených zkušebních vzorků, některé měří přímo připravené přířezy na hudební nástroje a v poslední řadě řazené metody se používají k měření celých nástrojů či jejich částí.

Klíčová slova

Rezonanční dřevo, nedestruktivní metody měření, řezivo pro výrobu hudebních nástrojů

Abstract

Ranking a quality of a wood chosen for musical instrument production could be realized various ways. The intention of this dissertation was to find out all existing measuring methods, considering their suitability for a concrete measuring option and comparing all methods. The topic is the non-destructive measuring methods, i. e. where the mechanical structure of the wood is not damaged. The quality of the wood is described by a physical quantities and then the quantities are compared. Among the most important compared physical quantities there is an acoustic invariable, the dynamic elasticity module, damping decrement, wave rapidity and wood density. Each method is determined to a different kind of measuring. Some methods are determined to measuring of prepared test samples, some measure already the timbers prepared to the musical instruments production. Finally presented methods measure whole instruments or their parts.

Key words

Resonance wood, non-destructive measuring methods, timber for a musical instruments production

Obsah

1.	Úvod	10
2.	Cíl práce a metodika	11
2.1.	Cíl práce	11
2.2.	Metodika vypracování.....	11
3.	Metody třídění rezonančního dřeva	12
3.1.	Rozdělení metod.....	12
3.1.1.	Metody subjektivní	13
3.1.1.1.	Metoda vizuální.....	13
3.1.1.2.	Metoda sluchová (poklepem).....	13
3.1.2.	Metody objektivní	14
4.	Vybrané druhy nedestruktivních metod, specificky používaných pro třídění dřeva.....	15
4.1.	Měření pomocí vlhkoměrů	15
4.2.	Měření pomocí rezonančních frekvencí.....	16
4.2.1.	Zkušební tělíska	16
4.2.2.	System Akustomat.....	16
4.2.3.	Kladívková impuzní metoda	19
4.2.3.1.	Měření logaritmického dekrementu útlumu.....	19
4.2.3.2.	Měření Youngova podélného dynamického modulu pružnosti.....	19
4.3.	Měření pomocí ultrazvuku	21
4.4.	Modální analýza	22
4.4.1.	Modální analýza s využitím Chladniho obrazců.....	22
4.4.2.	Modální analýza při buzení rázem	24
4.5.	Holografická interferometrie.....	27
4.6.	ESPI interferometrie.....	28
5.	Vlastnosti, podle kterých se hodnotí kvalita rezonančního dřeva	29
5.1.	Mechanické charakteristiky desky	29
5.2.	Teoretický základ fyzikálních vlastností dřeva	31
5.2.1.	Hustota dřeva	31
5.2.2.	Rychlost mechanického vlnění ve dřevě.....	31
5.2.3.	Akustická konstanta	32
5.2.4.	Logaritmický dekrement útlumu.....	33
5.3.	Klasifikace dřeva pro výrobu hudebních nástrojů a jakost dřeva	34
5.3.1.	Jakostní znaky rezonančního dřeva smrku.....	35
5.3.2.	Ostatní dřeviny pro výrobu hudebních nástrojů.....	36
5.3.2.1.	Dřeviny pro smyčcové nástroje.....	36
5.3.2.2.	Dřeviny pro drnkací nástroje.....	36
5.3.2.3.	Dřeviny pro bicí nástroje.....	37
5.3.2.4.	Dřeviny pro dechové nástroje	38
6.	Zhodnocení výhod a nevýhod použití daných nedestruktivních metod pro třídění.....	39
6.1.	Metody subjektivní	39
6.1.1.	Výhody	39
6.1.2.	Nevýhody	39
6.2.	Metoda měření vlhkosti.....	39
6.2.1.	Výhody	39
6.2.2.	Nevýhody	39
6.3.	System AKUSTOMAT.....	40

6.3.1.	Výhody	40
6.3.2.	Nevýhody	40
6.4.	Kladívková impulzní metoda	40
6.4.1.	Výhody	40
6.4.2.	Nevýhody	40
6.5.	Ultrazvukové metody	40
6.5.1.	Výhody	40
6.5.2.	Nevýhody	40
6.6.	Modální analýza	41
6.6.1.	Výhody	41
6.6.2.	Nevýhody	41
6.7.	Holografická interferometrie.....	41
6.7.1.	Výhody	41
6.7.2.	Nevýhody	41
6.8.	ESPI interferometrie.....	42
6.8.1.	Výhody	42
6.8.2.	Nevýhody	42
7.	Závěr.....	43
8.	Seznam Literatury.....	44

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1	Pokleповá metoda hodnocení houslového přřezu (Jansson, 2002)	13
Obr. 2	Hrotový vlhkoměr (www.e-pristroje.cz)	15
Obr. 3	Nákres rozmanipulování houslové desky na zkušební tělesa (Rajčan et. al., 1998)	16
Obr. 4	Schéma Akustomatu (Rajčan et. al., 1998)	17
Obr. 5	Grafické zobrazení ve 3D (Rajčan et. al., 1998). Každý soubor má vymezené hranice a tato množina obsahuje 95% zkušebních těles.....	17
Obr. 6	Grafické zobrazení ve 3D, hodnocení rezonančního a nerezonančního dřeva smrku (Rajčan et. al., 1998)	18
Obr. 7	Zobrazení měřicí aparatury (Dániel, 2007).....	19
Obr. 8	Schéma měření (Guillermo Íniguez, 2007).....	20
Obr. 9	program FTT analyzer (www.fakopp.com).....	20
Obr. 10	ADD (http://www.asb-portal.cz)	21
Obr. 11	. Základní schéma měřicího systému pro modální analýzu (Rajčan et. al., 1998)	22
Obr. 12	Zobrazení měřicí aparatury při zobrazování Chladního obrazců, podpěrné čtverečky se dávají na kraje desky tam, kde probíhají uzlové čáry.	23
Obr. 13	Vyobrazení rezonančních módů na smrkových deskách. Vlevo mód 5, u kterého při vypracování hledáme frekvenci mezi 340Hz – 370Hz, uprostřed mód 1 ladíme o oktávu níže než mód dvě; a vpravo mód 2, který ladíme oktávu níže než mód pět (Pilař, Šrámek, 1986)	23
Obr. 14	Schéma měřicí aparatury, detail snímacího zařízení (Jansson, 2002).....	24
Obr. 15	Funkce odezvy klínu získaná pomocí FFT analyzátoru (Rajčan et. al., 1998) ..	24
Obr. 16	Graf kde porovnáváme soubor houslových desek určených pro mistrovské housle (majstr) a se smrkovým dřevem obyčejným (12s). (Rajčan et. al., 1998)...	25

Obr. 17 Graf, kde porovnáváme soubor javorových desek pro výrobu houslí (javory) s javorovým dřevem, které nebylo určené na houslové desky (12s). (Rajčan et. al., 1998)	26
Obr. 18 Interferogramy houslí (Černecký, 1998).....	27
Obr. 19 Kmity houslí buzených budičem na kobylce (Syrový, 2006).....	28
Obr. 20 Systém měření ESPI (Syrový, 2006)	28
Obr. 21 Schematické zobrazení houslové desky (Rajčan et. al., 1998)	30
Obr. 22 Zobrazení základních módů kmitání ortotropní desky, zvýraznění čáry představují uzly kmitání a čísla uváděná pod jednotlivým obrázkem jsou počty uzlových čar v jednotlivých směrech. (Rajčan et. al.,1998)	30
Obr. 23 Vyobrazení vymanipulování smrkového přířezu (Zadina, 2007).....	30
Obr. 24 Graf útlumu (Dániel, 2007).....	33
Obr. 25 Graf rezonanční křivky (Dániel, 2007)	34
Obr. 26 Šipka ukazuje na otevřenou dvojtečku u smrku, snímek je ze starých italských houslí (Barlow, Woodhouse, 1990)	35

1. Úvod

Již odnepaměti je dřevo spojeno s člověkem. Tak jak člověk tvaroval kámen, kul železo, tak i dřevo provází jeho kroky historií od dob kamenných až po tyto dny a dále jej doprovázet bude, protože je materiálem budoucnosti a je to materiál ještě nedoceněných vlastností. Použití dřeva je rozmanité od stavebnictví přes truhlářskou výrobu k výrobě speciální, jako jsou hudební nástroje. Jeho použití je dáno snadnou obrobiteľností, velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, akustickými vlastnostmi a neméně podstatným prvkem jsou jeho ceněné estetické vlastnosti.

Hudební nástroje dle obecného modelu nástroje lze popisovat jako spřáhnutou soustavu, která se skládá ze generátoru, oscilátoru a zesilovače. Pro přiblížení pojmů na příkladu houslí generátorem rozumíme smyčec, který rozechvívá strunu – oscilátor a ten přes kobylku přenáší kmity na korpus, tedy na zesilovač (Kürfirst, 2000)

Dřevo používané na hudební nástroje je velmi rozmanitý materiál, který se vyznačuje anizotropními vlastnostmi a ty jsou dány jeho anatomickou strukturou jak na úrovni makroskopické, tak i na úrovni mikroskopické a submikroskopické. Je to velmi ceněný materiál, a proto se používají nedestruktivní metody měření jeho vlastností. Objektívni sledování parametrů tak různorodého materiálu je velmi složité. V minulosti byla otázka výběru materiálu řešena empiricky. Dnes je snaha vytvořit ucelené metody, které jsou schopny na základě fyzikálních veličin materiál definovat. Nejjednoduššími způsoby hodnocení řeziva jsou metody vizuální, které jsou metodami nejstaršími a nejrozšířenějšími na pilařských provozech a skladech kulatiny. Umožňují odhalit povrchové biotické, ale i zároveň mechanické porušení dřeva a dále vady jako jsou suky, trhlíny, odklon vláken, točitost, reakční dřevo a jiné.

Pod pojmem rezonanční dřevo rozumíme především dřevo smrku, popřípadě jedle, která byla občas používána v minulosti. Její nynější zásoba v porostech a rozměry kmenů vylučují její použití. Tradiční lokalitou rezonačního smrku jsou Tyrolské Alpy. U nás v ČR je tradiční lokalitou Šumava. Kvůli klesajícím zásobám kvalitního řeziva pro výrobu hudebních nástrojů je třeba hledat takové lokality, které nejsou tradiční, ale které jsou schopny konkurovat kvalitou i za cenu menší zásoby (výtěže) dané suroviny. Přes rozvoj vědy a techniky se dodnes nepodařilo nahradit rezonanční dřevo jiným materiálem.

2. Cíl práce a metodika

2.1. Cíl práce

Hlavním cílem této práce je poskytnout ucelený přehled o vývoji, typech a možnostech použití nedestruktivních metod pro stanovení kvality dřeva pro výrobu hudebních nástrojů. Práce se především zaměřuje na hodnocení řeziva pro nástroje smyčcové, zejména housle. Celkově uvedené metody se po drobných úpravách mohou použít i na hodnocení řeziva pro jiné hudební nástroje. Zcela je v této práci vynechána otázka klavíru, u kterého ale můžeme při hodnocení rezonančního řeziva vycházet z podobných nároků na dřevo jak pro nástroje smyčcové. Tato práce má sloužit jako podklad pro hlubší pochopení oblasti nedestruktivních metod a pro možnou tvorbu diplomové práce na toto téma v budoucím období.

2.2. Metodika vypracování

Základním principem této práce bylo vyhledání informací ze všech dostupných zdrojů a tyto informace zaznamenat do uceleného kontextu. Informace byly čerpány z odborných tematických publikací domácích i zahraničních, dále pak z vědeckých článků, které byly přístupné v tištěné i elektronické podobě prostřednictvím vědeckých databází. Danou tematiku shledávám jako aktuální a největším problémem při jejím řešení bylo získání relevantních informací především o moderních používaných technologiích pro stanovení fyzikálně-mechanických vlastností dřeva.

Práce je rozdělena do několika hlavních kapitol. V první kapitole se zabývám samotným rozdělením metod a specifikací. Druhá část se týká vybraných metod a jejich podrobným popisem. Třetí část se týká definování mechanicko-fyzikálních zákonitostí a popisu měřených veličin. Dále v této kapitole definuji jakost a druhy dřeva pro jednotlivé skupiny hudebních nástrojů. Poslední kapitola hodnotí základní výhody a nevýhody jednotlivých metod.

3. Metody třídění rezonančního dřeva

3.1. Rozdělení metod

V oblasti výroby hudebních nástrojů narážíme na několik základních nedostatků při třídění řeziva pro výrobu hudebních nástrojů:

- Použití nevhodného dřeva; kvalita dřeva je nízká a tím dochází i k devalvaci vynaložené práce na nástroj – jeho nízká akustická kvalita a tím i nižší hodnota
- Vysoké nároky na kvalitu a tím nevyužití materiálu, který by mohl být vhodný pro jiné účely

Zadina (2007) uvádí výtěž z kulatiny na pile Strunal s.r.o., která zpracovává sortiment pro svoji výrobu. Za období roku 2006 činila výtěž u SM 29 %, BK 28 % a JV 35 %. To znamená, že přibližně 70 % dřevní hmoty je odpad, který je ale možné použít pro přidruženou malovýrobu (drobné předměty, hračky aj.) či v nejposlednější řadě jako palivo.

Jako nejzákladnější metody hodnocení kvality používáme dělení:

- Subjektivní metody
- Objektivní metody

Druhým hodnocením analyzujeme strukturu materiálu:

- Přímé metody – měříme přímo hodnocenou veličinu
- Nepřímé metody – měříme veličiny, které přímo nehodnotíme, ale následně z nich vypočteme veličiny, které mezi sebou porovnáváme (Danihelová, 2009)

3.1.1. Metody subjektivní

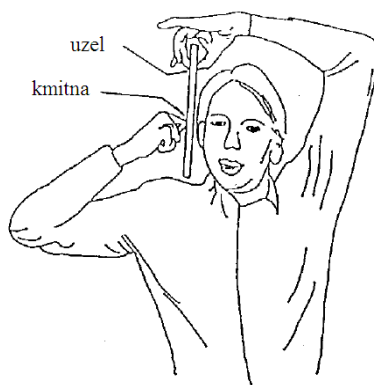
Metody, které jsme schopni obsáhnout svými smysly za pomoci nejzákladnějších měřících pomůcek jako je svinovací metr, posuvné měřítko, lupa, kladívko, dláto, popřípadě úhloměr.

3.1.1.1. Metoda vizuální

Umožňuje odhalit jak vady růstové, tak suky, trhliny, napadení biotickými činiteli. Mezi vady růstové patří točitost, křivost, excentrická dřeň, které se nedovolují, sbíhavost je povolena pouze do 1 cm na běžném metru. Dále nedovolené jsou nezdravé suky, zdravé do 3 cm průměru suku od 1.8 m délky výřezu kulatiny. Trhliny dřeňové do $\frac{1}{4}$ tloušťky čela, odlupčivé do 5 cm od dřeně, mrazové jsou dovoleny, pokud nemají kýlu, výsušné do $\frac{1}{10}$ tloušťky čela. Biotické napadení, jak houbami, tak hmyzem, není dovoleno (Indra, Řezáč, 2002). Co se týče samotných přířezů, je velmi bedlivě sledován odklon vláken od roviny podélné a kolmost vláken ke hlavní ploše přířezu. Tyto podmínky platí především pro výběr rezonančního materiálu, tj. pro ozvučné desky. Co se týče dřevin na výrobu zadních desek, lubů, krků a dalších komponent, je často určujícím faktorem vzhled kresby, zvlnění a průběh letokruhu.

3.1.1.2. Metoda sluchová (poklepem)

Jedna z nejjednodušších metod výběru suchého řeziva, kdy dílec (tedy přířez) uchopíme v uzlovém bodě, tzv. takovém, kde chvění (tedy akustická vlna) je v nulovém bodě. Pro představu, houslový přířez uchopuji přibližně v jedné šestině délky a v jedné čtvrtině šířky a poklepem zhruba uprostřed se ozývá vlastní tón přířezu, tedy základní rezonanční frekvence přířezu (Pilař, Šrámek, 1986). Tato metoda je hojně využívána houslaři při výběru materiálu na skladu a jeho vhodnosti na stavbu daného nástroje.



Obr. 1 Poklepová metoda hodnocení houslového přířezu (Jansson, 2002)

3.1.2. Metody objektivní

Takové metody, které nám umožní naměřit hodnotu, či soubory hodnot, které mezi sebou je možné objektivně porovnávat a vyvozovat kvalitativní závěry.

- Metoda měření vlhkosti – stanovení vlhkosti dřeva pomocí elektrických veličin Kloiber (2007) uvádí
 1. Odporové
 2. Kapacitní
 3. Mikrovlnné
 4. Impedanční
- Rezonanční dynamická metoda – měření frekvence kmitání tělesa
 1. Systém AKUSTOMAT
 2. Kladívková impulzní metoda
- Ultrazvukové metody – měření rychlosti vlnění; Danihelová uvádí členění
 1. Odrazová metoda
 2. Přejížděvací metoda
- Modální analýza – měření vibračních módů a jejich porovnávání s hodnotami MKP nebo jinými teoretickými modely (Rajčan et. al., 1998).
- Holografická interferometrie – porovnává dvě vlny, které jsou oproti sobě fázově posunuty (Danihelová, 2009).
- ESPI interferometrie - využívá rozptylu laserového světla na nerovnostech povrchu zkoumaného tělesa (Srový, 2006).

4. Vybrané druhy nedestruktivních metod, specificky používaných pro třídění dřeva.

4.1. Měření pomocí vlhkoměrů

Mechanické a akustické vlastnosti dřeva jsou značně závislé na samotné vlhkosti dřeva. S rostoucí vlhkostí klesá akustická konstanta, Youngův model pružnosti, rychlost šíření vlnění ve dřevě, a tím je ovlivněna i vlastní frekvence přířezů. Pro ilustraci, při změně relativní vlhkosti vzduch z 15 % na 79 % se mění rezonanční frekvence desky z 336 Hz na 313 Hz (Bucur, 1995). Doporučená vlhkost řeziva pro výrobu hudebních nástrojů je 8 %. Tato vlhkost je dána především faktem, že hudební nástroje jsou určeny do interiéru, kde musí vyhovět podmínkám nízké relativní vlhkosti vzduchu. Pokud by tato technologická vlhkost nebyla dodržena, může dojít k borcení, sesychání a praskání dřeva hotového hudebního nástroje. Při přirozeném sušení přířezů v hraních je vlhkost určujícím faktorem umístění na skladě a průběhu sušení.

Vlhkoměry jsou přístroje, které měří elektrické veličiny a ty jsou následně převedeny na hodnoty vlhkosti. Kvůli variabilitě jednotlivých druhů dřevin jsou pro příslušnou měřenou dřevinu přiřazeny koeficienty, kterými se naměřená hodnota upraví. Dle měřených elektrických veličin rozdělujeme vlhkoměry do čtyř základních skupin (Kloiber, 2007):

- Odporové vlhkoměry – měří elektrický odpor dřeva R
- Kapacitní vlhkoměry – měří elektrickou kapacitu C
- Mikrovlnné vlhkoměry – měří fázové posuny $\text{tg } \varphi$
- Impedanční vlhkoměry – měří konduktanci G a admitanci Y

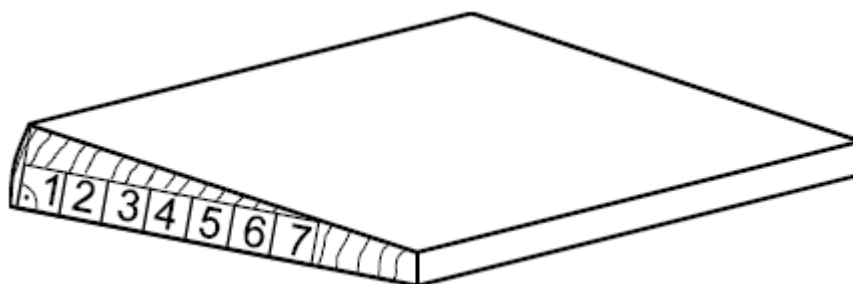


Obr. 2 Hrotový vlhkoměr (www.e-pristroje.cz)

4.2. Měření pomocí rezonančních frekvencí

4.2.1. Zkušební tělíska

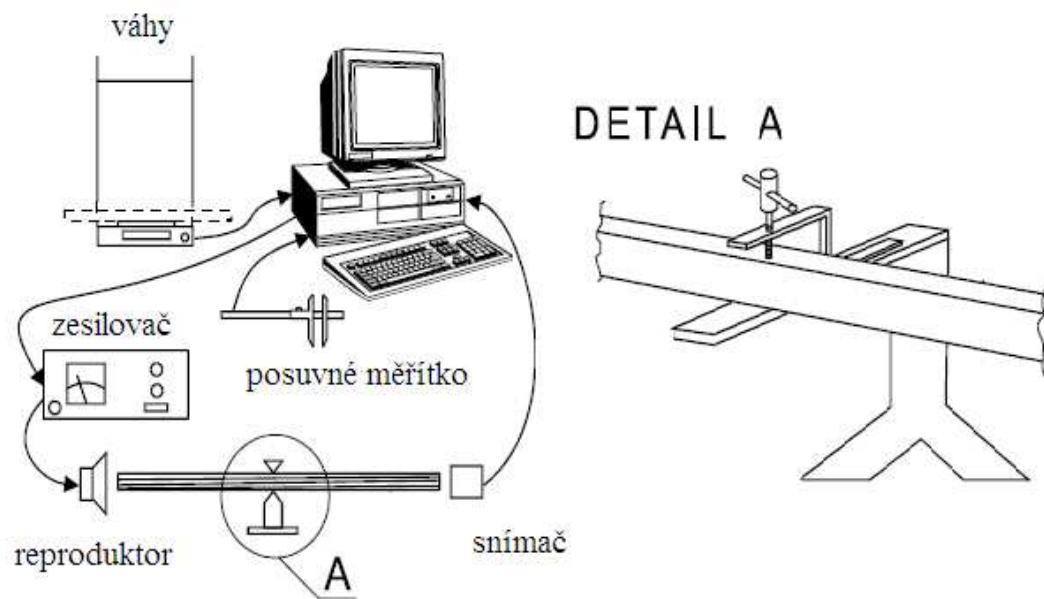
Pro určité metody je vhodnější připravit zkušební vzorky o jmenovitých rozměrech. Jedná se vždy o nedestruktivní metody, ale v určitém úhlu pohledu, pokud bychom vzorky nařezávali z již vyrobených houslových přířezů, docházelo by ke zničení hodnotného materiálu. Proto pokud je možnost, vzorky vymanipulováváme přímo z kulatiny, kdy nám často jde o porovnání mechanických vlastností dřeva z lokalit růstu stromu jiných, než jsou obvykle vyhledávané, kdy naměřené hodnoty uspořádáme do souborů a statisticky je vyhodnocujeme.



Obr. 3 Nákres rozmanipulování houslové desky na zkušební tělesa (Rajčan et. al., 1998)

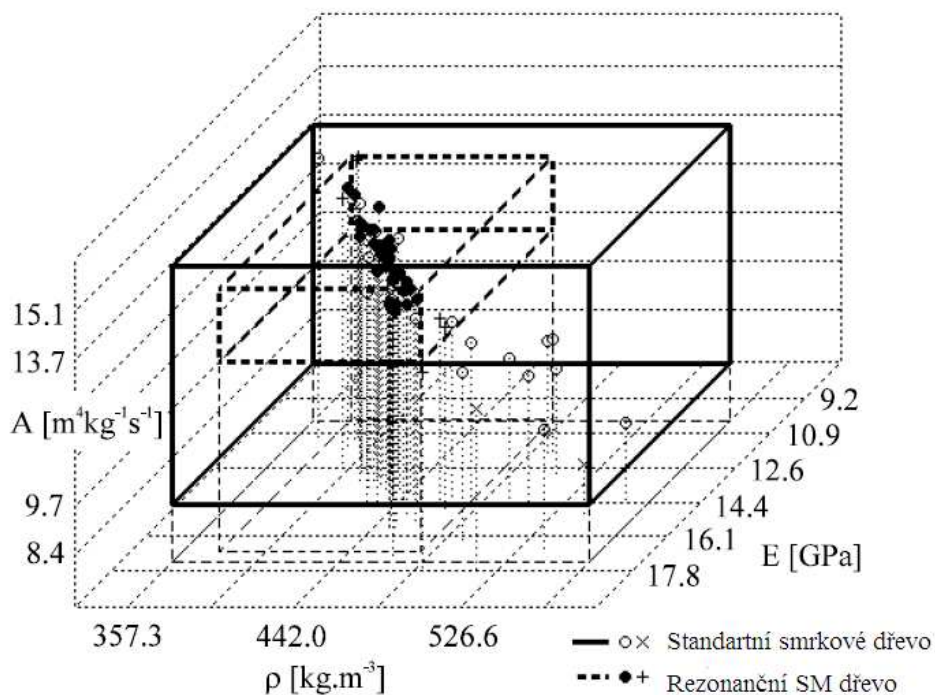
4.2.2. Systém Akustomat

Tento systém vyvinula katedra fyziky a aplikované mechaniky Dřevařské fakulty Technické univerzity ve Zvolenu. Tento systém se zakládá na měření fyzikálně akustických charakteristik (FACH), které jsou následně zpracovány softwarem na PC. Díky tomuto řešení je tato metoda velmi rychlá, jednoduchá a spolehlivá. Hlavním jádrem této laboratorní sestavy je PC s kartou MRF, která je schopna zaznamenat rezonanční frekvence f_1 a f_2 , které následně matematicky a statisticky zpracuje. Přidruženými systémy jsou měřiče rozměrů a váhy, které jsou též napojeny na PC. Získaná data jsou ukládána na disk a z nich provádíme výpočet hodnot, jako jsou akustická konstanta, logaritmický dekrement útlumu, Youngův dynamický model pružnosti a hustota. Získané hodnoty mohou být provedeny jak ve 2D provedení, tak díky softwarovému vybavení i v 3D rozměrovém grafu, který je výhodnější pro porovnávání většího počtu proměnných (Rajčan et. al., 1998).



Obr. 4 Schéma Akustomatu (Rajčan et. al., 1998)

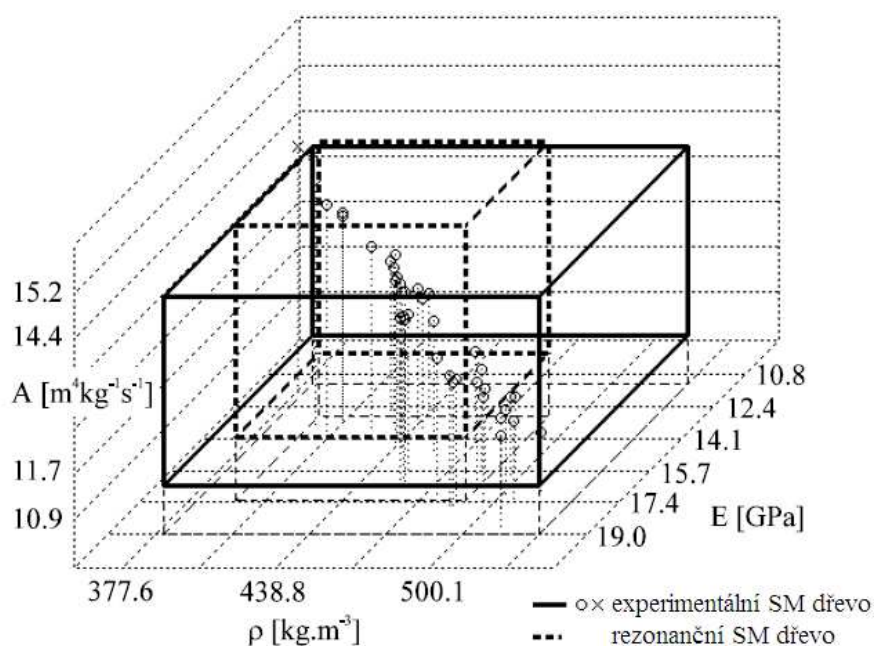
PC generuje akustický signál, který je následně zesílen a pomocí akustického měniče vyvolá ve zkušební tělísku kmity a ty jsou snímány snímačem, který je přemění na elektrické veličiny; ty jsou digitalizovány a uloženy k dalším výpočtům.



Obr. 5 Grafické zobrazení ve 3D (Rajčan et. al., 1998).

Z uvedeného grafického zobrazení vyplývá, že rezonanční dřevo je podmnožinou standardního smrkového dřeva. Je to tedy úzké spektrum hodnot, které nám podávají informace, zda je řezivo vhodné jako rezonanční či nikoliv. Tyto hodnoty potvrzené statistickými výpočty slouží k objektivnímu hodnocení.

System Akustomat byl úspěšně použit i k hodnocení řeziva z méně obvyklých lokalit výskytu rezonančního dřeva. Hodnoceno bylo řezivo z oblasti Východního Slovenska - Štos-Peklisko a rezonanční dřevo pro výrobu pian z podniku Petrof.



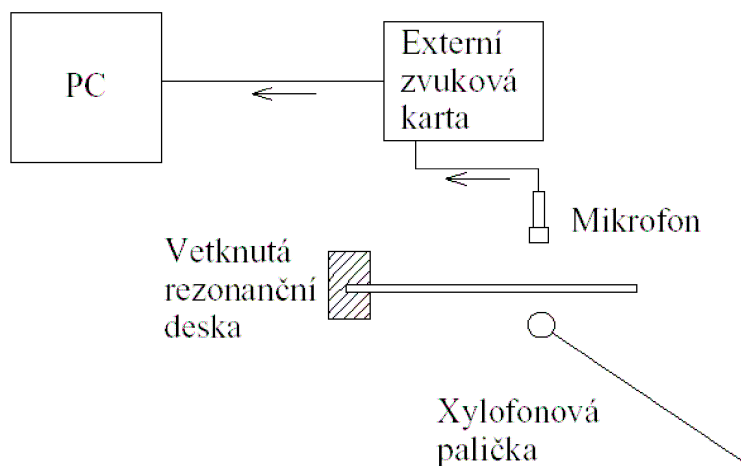
Obr. 6 Grafické zobrazení ve 3D, hodnocení rezonančního a nerezonančního dřeva smrku (Rajčan et. al., 1998)

4.2.3. Kladívková impuzní metoda

Tato metoda se vyznačuje poměrně jednoduchou obsluhou, nízkou pořizovací cenou a poměrně velkou variabilitou měření. Je založena na snímání a vyhodnocování vlastních rezonančních frekvencí. Tuto metodu pro přehlednost můžeme rozdělit na dvě základní podkategorie a parametrem výběru bude konečný cíl výpočtu.

4.2.3.1. Měření logaritmického dekrementu útlumu

Měřená deska určitého rozměru je upnuta ke stolu. Kmity jsou vybuzeny xylofonovou paličkou a následně je signál snímán mikrofonom a zpracován v počítači pomocí skriptu v programu Matlab a aplikací FFT (Fast Fourier Transformation). (Dániel, 2007) Výpočet viz kapitola 5.2.4



Obr. 7 Zobrazení měřicí aparatury (Dániel, 2007)

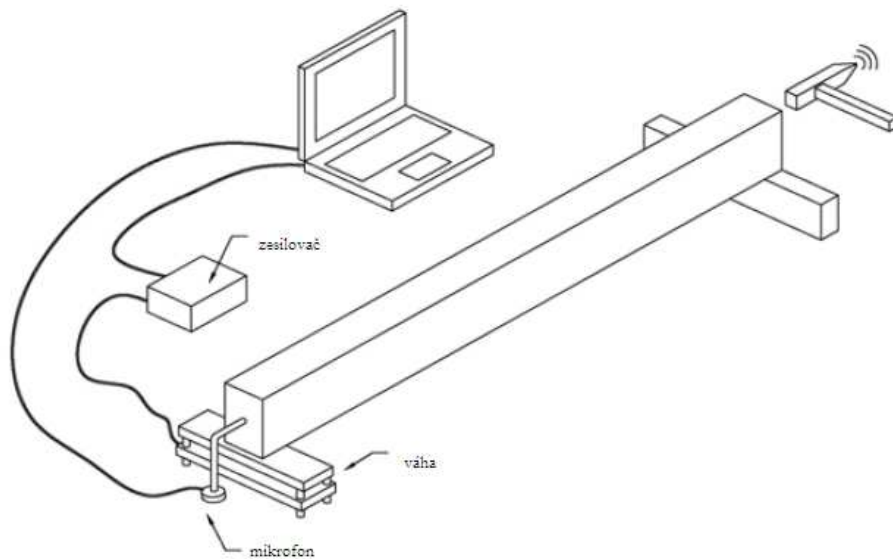
4.2.3.2. Měření Youngova podélného dynamického modulu pružnosti

Testováno může být jakékoliv těleso, avšak doporučeny jsou délky min. 30 cm, respektive pětinašobek šířky tělesa (Fakopp, 2005). V praxi se tato metoda používá k testování řeziva, u kterého je doporučovaný nejmenší délkový rozměr od 1m délky (Böhm, 2008). Vzorčky jsou položeny na jedné straně na pružnou podložku a na druhém konci na váhu. Váha je připojena přes zesilovač do počítače, který přes algoritmus vypočítává hustotu. Po úderu kladívkem snímáme mikrofonom (piezokrystalem) kmity, které následně zpracuje software v počítači FFT (Fast Fourier Transformation). Tento systém umožňuje měřit v reálném čase a přes matematický algoritmus vypočte přímo E_y (Guillermo Íñiguez, 2007). Pokud bychom tuto metodu používali pro měření rezonančního dřeva, bylo by dobré ji porovnávat s jinými uvedenými metodami.

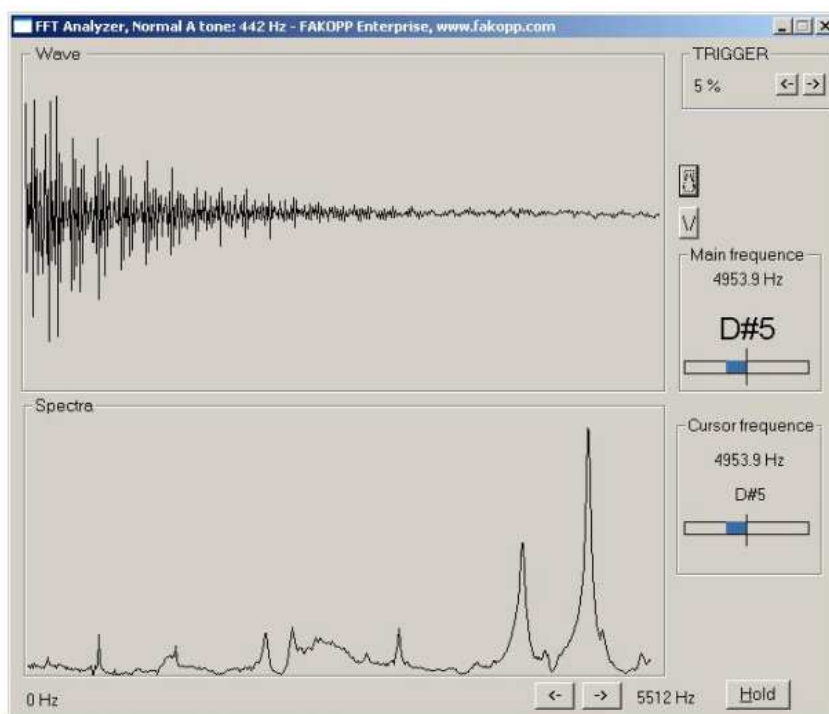
Fakopp (2005) uvádí vztahy pro výpočet:

$$E_Y = c^2 \cdot \rho [Pa]$$

$$c = 2 \cdot L \cdot f$$



Obr. 8 Schéma měření (Guillermo Íñiguez, 2007)



Obr. 9 program FFT analyzer (www.fakopp.com)

4.3. Měření pomocí ultrazvuku

Při hodnocení řeziva na výrobu hudebních nástrojů používáme metody měření přechodové. To znamená, že měřené vzorky jsou volně přístupné a jsme schopni přiložit sondy z obou konců či měřených ploch. Citlivost této metody je závislá od průměru sond, síle přitlaku na sondy a dále na médiu, které je mezi elektrodou a měřeným předmětem (Daníhelová). Přístroj sestává ze dvou elektrod, přijímací a vysílací, a vlastního přístroje, který zpracovává mechanické vlnění na elektrické veličiny. Fyzikální princip tohoto přístroje je založen na prostupu vlnění hmotným prostředím, v našem případě dřevěným vzorkem. Touto metodou měříme jednak rychlost prostupu vlnění a dále lze tuto metodu použít k defektoskopii. Pokud vlnění narazí na nehomogenitu dřeva, např. suk, dochází k ohybu, odrazu a rozptylu, následně k útlumu vlnění. Frekvence ultrazvukového signálu se pohybuje mezi 20-50 kHz (Kloiber, Kotlínová, 2010). Nejčastěji používaný přístroj je ADD - Acoustics decay detector. Z hodnoty rychlosti vlnění vypočteme dynamický modul pružnosti a následně akustickou konstantu. Šíření vln ovlivňuje vlhkost, hustota a dále směr vláken. Rychlost vlnění podél vláken je 3 – 5 krát vyšší než napříč.

$$E = c^2 \cdot \rho [Pa]$$

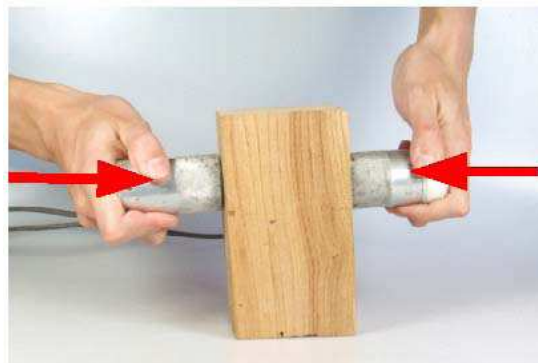
$$c = \frac{L}{t} [m/s]$$

L – měřená vzdálenost vzorku

t - čas průchodu vlnění

c – rychlost vlnění

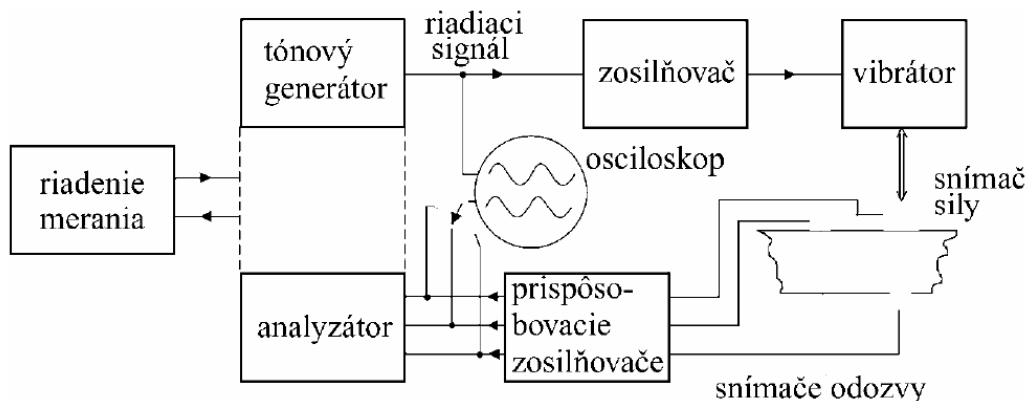
E – Youngův dynamický model pružnosti



Obr. 10 ADD (<http://www.asb-portal.cz>)

4.4. Modální analýza

Cílem modální analýzy je získat matematický popis děje, tedy dat, a ty následně zpracovat. Nejrozšířenější forma modální analýzy je měření vibračních módů a porovnávání údajů, které získáme například metodou konečných prvků či jiným teoretickým modelem. Od testu je požadován přesný odhad vlastních frekvencí a dostatečně podrobné popisy tvarů módů umožňující jejich identifikaci s módy získanými teoretickou cestou. Tlumení však není možné předpovídat při každém vibračním módu na teoretickém modelu, takže není co porovnávat s naměřeným útlumem. Při experimentální modální analýze se materiál vybudí v jednom či více bodech a odezva se snímá v jednom či více bodech. Průběh signálu může být sinusový, náhodný či impulzní. Odezva signálu se snímá mechanicky, opticky či nepřímo pozorováním vyzařovaného zvukového pole. Při pulzním vybudení je snímač připevněn ke vzorku v nějakém klíčovém bodě, kdy vybudení provádíme kladivem se snímačem síly na více místech měřeného předmětu (Rajčan et. al., 1998).

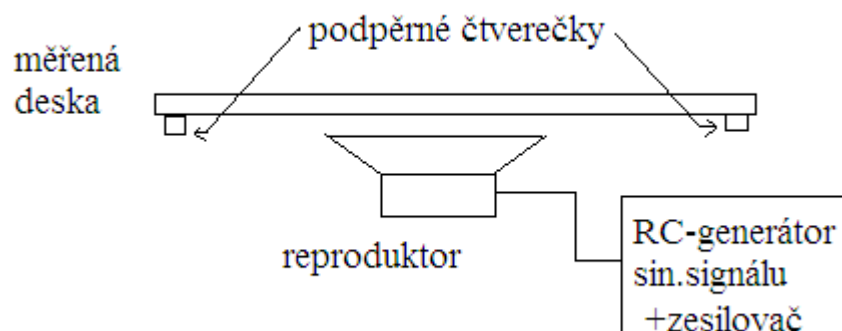


Obr. 11 . Základní schéma měřicího systému pro modální analýzu (Rajčan et. al., 1998)

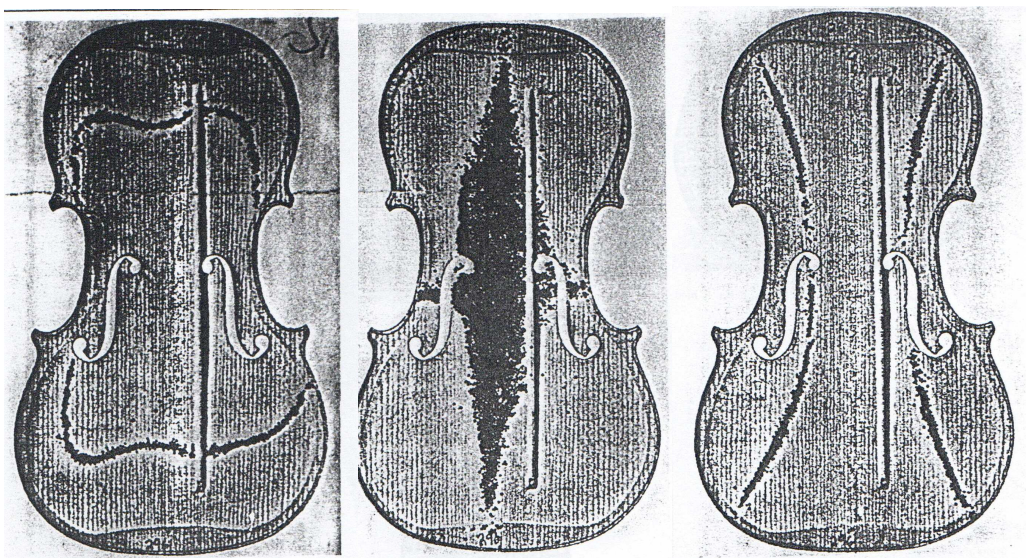
4.4.1. Modální analýza s využitím Chladniho obrazců

Tuto metodu ve své podstatě používáme při hodnocení opracovaných desek či při samotné výrobě desek, ať u houslí nebo kytary, či u desky bicích nástrojů, například deska cajonu (Daníhelová, 2009). Metoda ladění je založena na buzení desky reproduktorem, který je napájen sinusovým signálem z tónového generátoru. Deska je podepřena v uzlových bodech molitanovými čtverečky. Pro každý mód platí jiné postavení podpěrných čtverečků, dle umístění uzlových čar. Touto metodou lze ladit rovinné desky (kytara, cajon aj.) či desky houslové, ale ty pouze z vnitřní strany. Je to proto, že k zobrazování kmitů používáme jemného sypkého materiálu, jako je například

krupice, mák či sypaný drobný čaj. Ladění desek houslí z vnější strany je nemožné, protože deska je vyduť a materiál sklouzne z povrchu (Rajčan et. al., 1998).



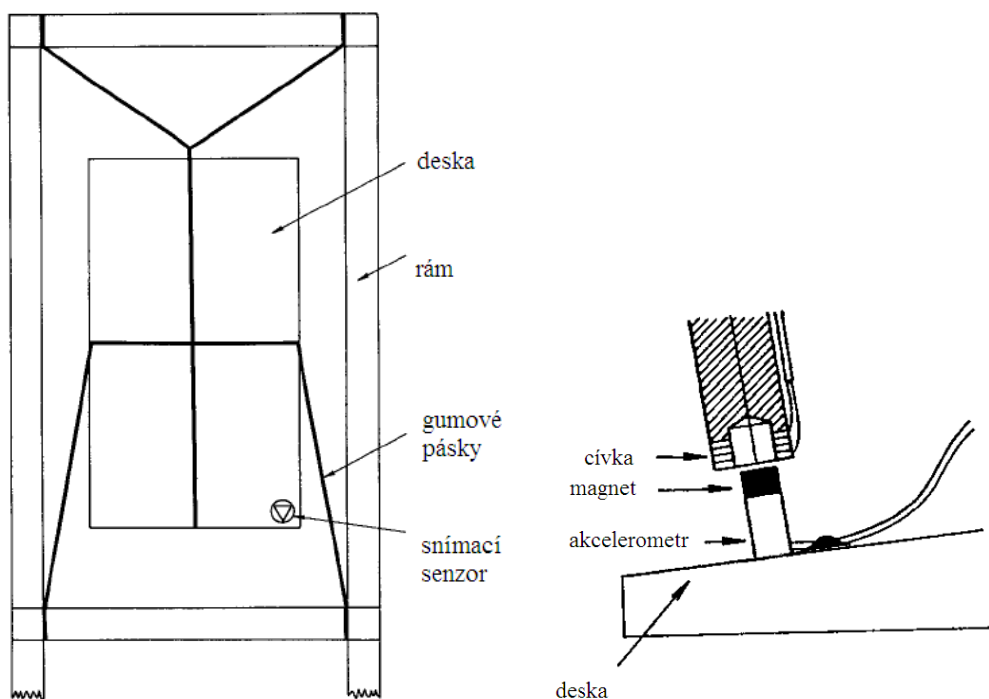
Obr. 12 Zobrazení měřicí aparatury při zobrazování Chladniho obrazců, podpěrné čtverečky se dávají na kraje desky tam, kde probíhají uzlové čáry.



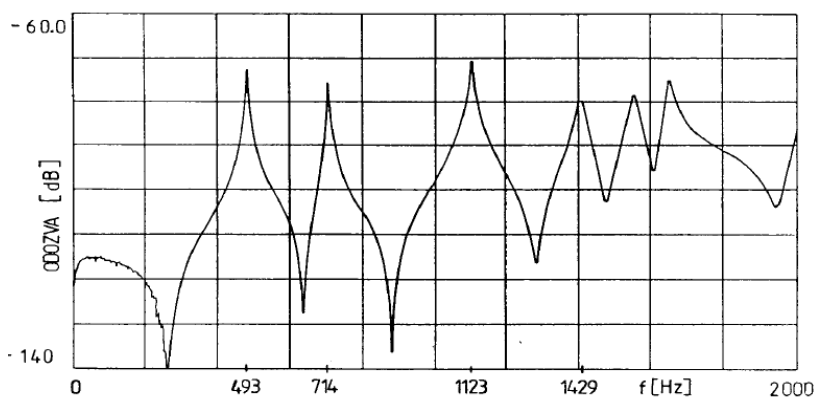
Obr. 13 Vyobrazení rezonančních módů na smrkových deskách. Vlevo mód 5, u kterého při vypracování hledáme frekvenci mezi 340Hz – 370Hz, uprostřed mód 1 ladíme o oktávu níže než mód dvě; a vpravo mód 2, který ladíme oktávu níže než mód pět (Pilař, Šrámek, 1986)

4.4.2. Modální analýza při buzení rázem

Modální analýza tohoto typu používá buzení kladívkem s integrovaným snímačem síly. Deska je zavěšena na gumových páscích, aby nedocházelo k tlumení kmitání. Snímání provádíme tzv. akcelerometrem, tedy snímačem zrychlení, který je připevněn pomocí oboustrannné lepicí pásky na zadní straně desky. Vybuzení provádíme z přední strany desky na několika místech v symetrické síti, která čítala 37 bodů. Získaná data můžeme promítnout do grafického 3D modelu ohybu desky či vynést rezonanční frekvence do grafu, kdy data zpracováváme statisticky v počítači či přímo v dvoukanálové FFT analyzátoru. (Rajčan et. al., 1998)

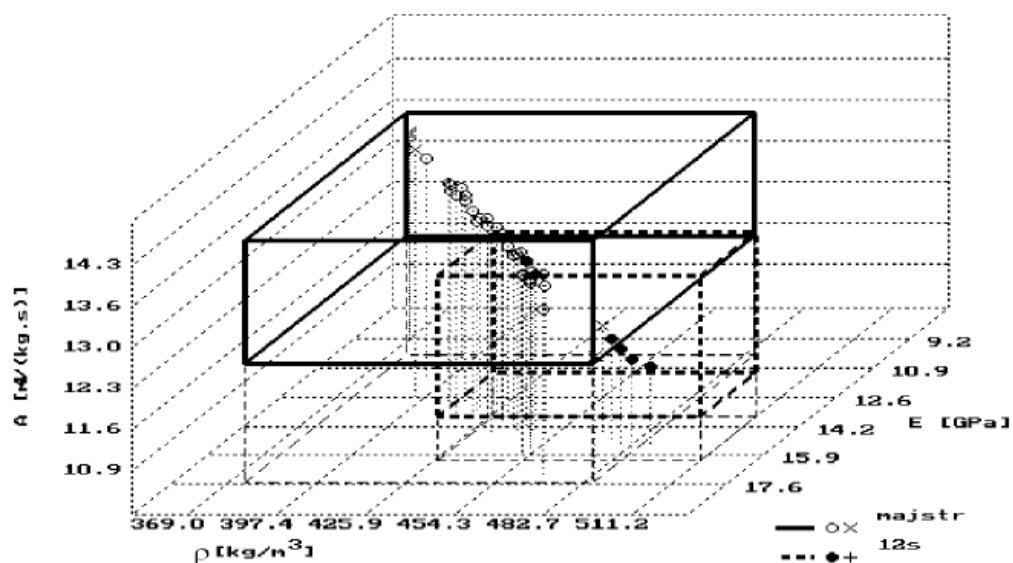


Obr. 14 Schéma měřicí aparatury, detail snímacího zařízení (Jansson, 2002)

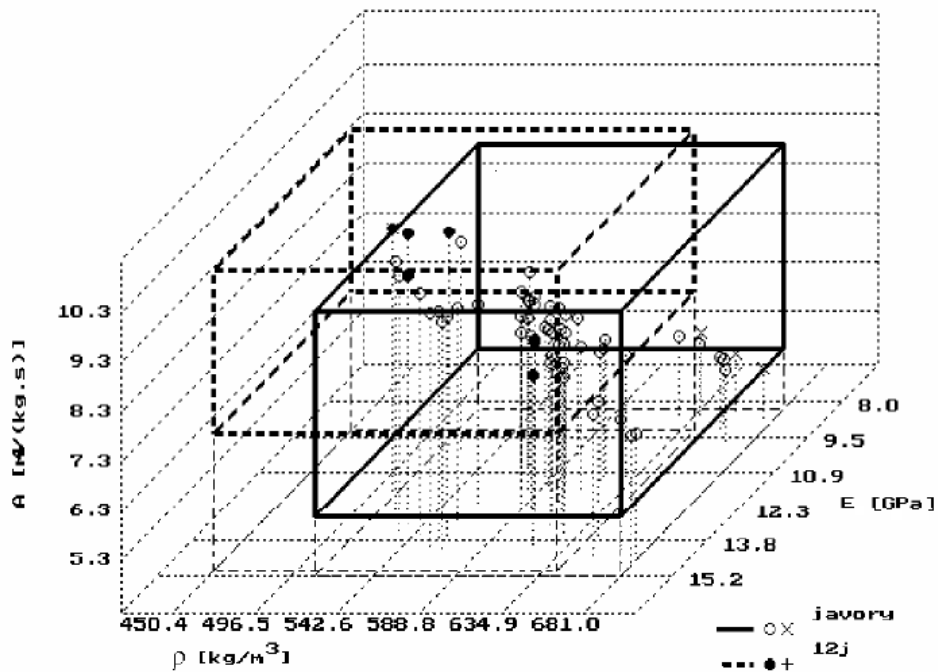


Obr. 15 Funkce odezvy klínu získaná pomocí FFT analyzátoru (Rajčan et. al., 1998)

Výše uvedená metoda je metodou nedestruktivní a její výhodou je, že hodnotíme desky po slepení, hodnotíme tedy i kvalitu lepeného spoje (Rajčan et. al., 1998). Přední desky u smyčcových nástrojů jsou nejčastěji vyrobené ze smrku a jsou vždy lepeny. Zadní desky mohou být lepeny či nemusí, záleží především na estetické hodnotě desky a jejím rozměru. S oblibou houslaři používají tzv. švartnu. Jedná se v pilařském názvosloví o boční řezivo, v našem případě přířez, který je ceněn pro zajímavou kresbu dřeva.



Obr. 16 Graf kde porovnáváme soubor houslových desek určených pro mistrovské housle (majstr) a se smrkovým dřevem obyčejným (12s). (Rajčan et. al., 1998)



Obr. 17 Graf, kde porovnáváme soubor javorových desek pro výrobu houslí (javorů) s javorovým dřevem, které nebylo určené na houslové desky (12s). (Rajčan et. al., 1998)

Soubory zkoumaných desek tvoří malé skupiny pro provedení objektivních statistických testů. Výhodou je ale transparentní zviditelnění akusticko – fyzikálních vlastností v grafickém provedení. V praktickém použití by bylo vhodné při zjištění akusticko – fyzikálních vlastností (u jednotlivých desek či větších souborů) porovnání s katalogovými hodnotami vybraných dřevin zejména E_y případně G_{xy} a podle toho hodnotit nový materiál. Jako jednu z nejdůležitějších vlastností pro hodnocení rezonančních desek uvádí Rajčan (1998) poměr E_y / E_x . Rajčan (1998) uvádí vztahy:

$$G_{xy} = k_1 \cdot m \cdot f_1^2 \qquad E_y = k_2 \cdot m \cdot f_2^2 \qquad E_x = k_3 \cdot m \cdot f_5^2$$

m – hmotnost desky

f_i – frekvence jednotlivých módů

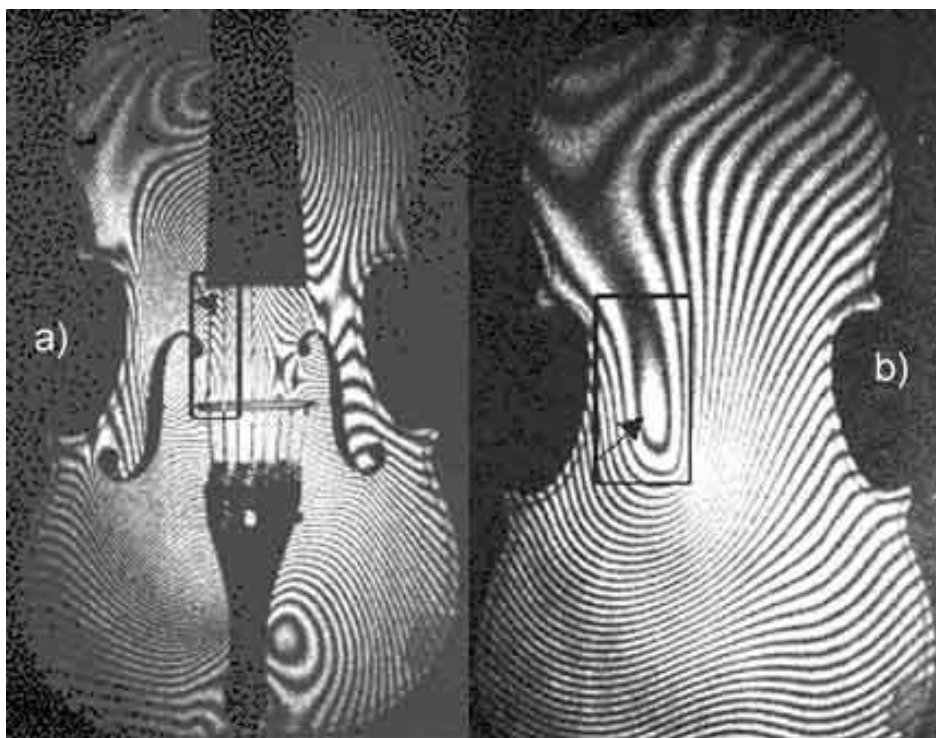
k_i - konstanty pro módy 1, 2 a 5

Molin et. al (1986) uvádí hodnoty konstant pro slepené houslové desky:

$$k_1 = 17 \text{ kPa} / \text{kg} \cdot \text{Hz}^2, \quad k_2 = 4,4 \text{ kPa} / \text{kg} \cdot \text{Hz}^2, \quad k_3 = 89 \text{ kPa} / \text{kg} \cdot \text{Hz}^2$$

4.5. Holografická interferometrie

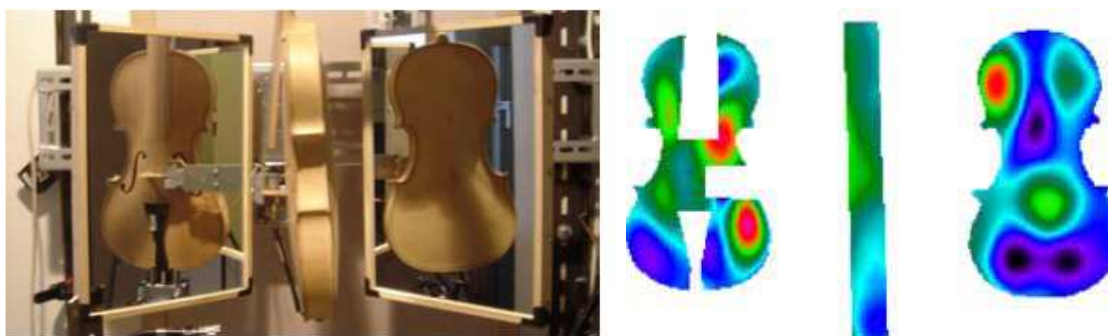
Holografická interferometrie umožňuje výzkum zviditelnění kmitů na nejrůznějších hudebních nástrojích a jejich částech. Největšího uplatnění našla v případě měření houslí (Syrový, 2006). Nepoužíváme ji tedy přímo na hodnocení řeziva, ale na následné vyhodnocení kvality celého nástroje. Interferogramy svým vzhledem nápadně připomínají Chladniho obrazce (tj. metodu, která zobrazuje pomocí drobných mechanických částeček uzlové čáry – body, kde těleso nekmitá), avšak ve své podstatě se jedná o interferenční proužky, nikoli výše zmíněné uzlové čáry či izokřivky. Pomocí této metody zaznamenáváme umístění interferenčních proužků, jejich tvar a odpovídající frekvence. Velká výhoda je, že tuto metodu používáme v reálném čase, tedy změna tvaru křivek závisí na budící frekvenci. Budící zařízení může být mechanické – vibrační hlava či akustické – reproduktor. Módy kmitání celého nástroje jsou jiné než módy volných desek. (Danihelová, 2009)



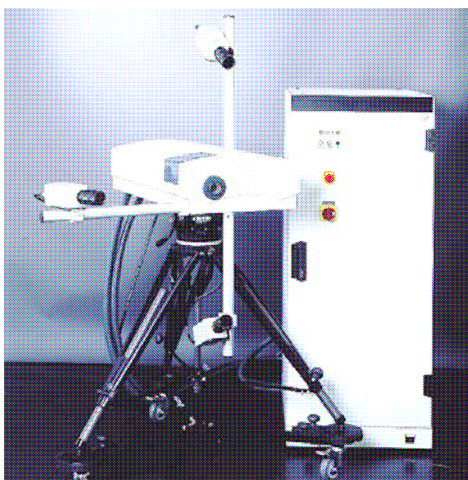
Obr. 18 Interferogramy houslí (Černecký, 1998)

4.6. ESPI interferometrie

Je metoda, která využívá rozptylu laserového světla skvrn (speckle) na nerovnostech zkoumaného povrchu. Kmitající předmět je ozářen dvěma po sobě jdoucími pulzy rozptýleného laserového paprsku, kdy jeho odraz snímá senzor (CCD kamera). Touto metodou získáváme fázovou a amplitudovou mapu, která vyjadřuje absolutní deformaci plochy v mikrometrech pro určitou frekvenci. Metoda ESPI nefunguje v režimu on-line, přesto výsledky jsou k dispozici bezprostředně po osvětlení laserem. Opakování osvětlení je limitováno dobou nabití 10 – 15 sec. Rozptýlený paprsek je možné odrážet zrcadly, což nám umožňuje pozorovat objekt z více směrů. Měřená plocha standardně dosahuje 1,5 m², větší plocha je omezena silou osvětlení a zorným úhlem senzorů (Syrový, 2006). ESPI metoda zobrazuje jednu fázi výchylky od bílé po červenou stranu spektra a opačnou fázi od bílé po modrou stranu spektra. (Danihelová, 2009)



Obr. 19 Kmity houslí buzených budičem na kobylce (Syrový, 2006)



Obr. 20 Systém měření ESPI (Syrový, 2006)

5. Vlastnosti, podle kterých se hodnotí kvalita rezonančního dřeva

5.1. Mechanické charakteristiky desky

Pro snazší pochopení demonstrováme měření na houslových deskách. Houslová deska jako geometrický útvar je plošná konstrukce se středovou osou. Typické rozměry přířezu pro houslovou desku jsou 400 x 120 x 12 až 22 mm případně i méně, záleží na konečném tvaru a velikosti nástroje. Vlivem okolních sil jsou desky namáhány staticky či dynamicky. Pod dynamickým namáháním si představujeme kmitavý pohyb, který má vlnový charakter. Deska vykazuje ortotropní charakter, tedy mechanické vlastnosti jsou závislé na směru. Ohybové vibrace se řídí nezávislými elastickými konstantami E_x , E_y , G_{xy} , a dvěma Poissonovými čísly (ν_{xy}, ν_{yx}). (Rajčan et. al., 1998). Bucur (1995) uvádí, že modul pružnosti se mění s časem. Nejvyšší hodnoty dosahuje při 200 letech a dále se snižuje. Příčinou je rekrystalizace celulóзовých řetězců a pomalá disociace celulózy. Dalším vlivem je oxidace ligninu. Maximální bod krystalinity dosahuje dřevo až při 350 letech. Danihelová uvádí teoretický vztah pro výpočet frekvence pravoúhlé desky:

$$f_{mm} = 0,453h \left[c_L \left(\frac{m+1}{L_x} \right)^2 + c_T \left(\frac{n+1}{L_y} \right)^2 \right]$$

m – počet uzlových čar ve směru osy X

n – počet uzlových čar ve směru osy Y

h – tloušťka desky

příčemž platí:

$$E_x = 12\eta \cdot D_1$$

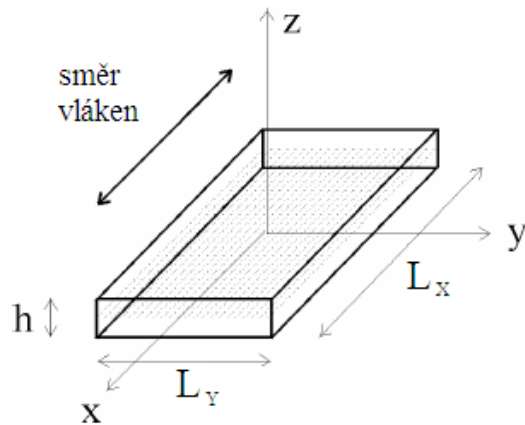
$$E_y = 12\eta \cdot D_3$$

$$\eta = 1 - \nu_{xy}\nu_{yx}$$

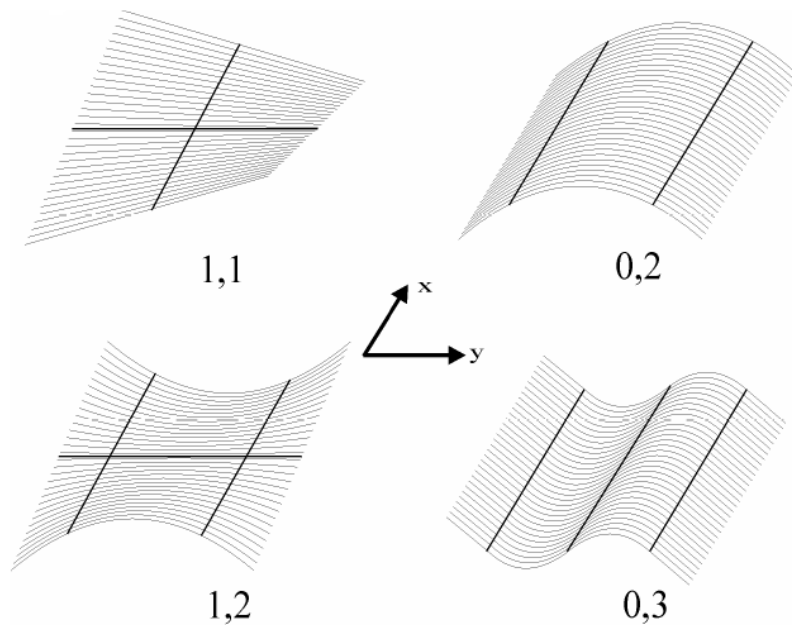
$$\frac{\nu_{xy}}{E_y} = \frac{\nu_{yx}}{E_x}$$

$$D_3 \approx \frac{f_2^2 \rho \cdot L_y^4}{h^2}$$

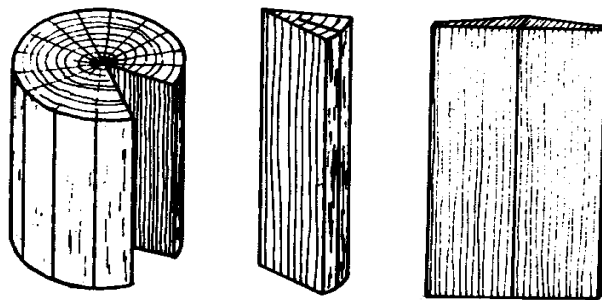
$$D_1 \approx \frac{f_5^2 \rho \cdot L_x^4}{h^2}$$



Obr. 21 Schematické zobrazení houslové desky (Rajčan et. al., 1998)



Obr. 22 Zobrazení základních módů kmitání ortotropní desky, zvýraznění čáry představují uzly kmitání a čísla uváděná pod jednotlivým obrázkem jsou počty uzlových čar v jednotlivých směrech. (Rajčan et. al., 1998)



Obr. 23 Vyobrazení vymanipulování smrkového přířezu (Zadina, 2007)

5.2. Teoretický základ fyzikálních vlastností dřeva

Dřevo jako materiál na výrobu hudebních nástrojů, zvláště pak rezonanční dřevo, se vyznačuje schopností přenášet zvuk, mechanické vlnění, bez znatelného zkreslení. Dřevo přenáší zvuk jednak ve slyšitelném spektru 16 Hz až 24 Hz, které je u hudebních nástrojů žádané, ale i vyšší harmonické, které mají zásadní vliv na barvu tónu. Z pohledu akustiky tón definujeme frekvencí, amplitudou, fázovým posuvem, délkou vlny a rychlostí šíření (Kurfürst, 2000).

5.2.1. Hustota dřeva

Nejběžnější rozšířená metoda hodnocení dřeva pro hudební nástroje. Už samotná váha přířezu zkušebnímu houslaři leccos napoví. Uvádí se průměrná hustota rezonančního dřeva smrku mezi 450 – 450 kg/m³, kdy nejvyšší hustota použitého přířezu pro výrobu byla 538 kg/m³. Pro zajímavost uvádím i hustotu dřeva javorového, průměrnou hodnotu v rozmezí 550 – 610 kg/m³, kdy nejvyšší hodnota použitého přířezu pro výrobu byla 857 kg/m³ (Pilař, Šrámek, 1986).

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

m – hmotnost dřeva

V – objem dřeva

5.2.2. Rychlost mechanického vlnění ve dřevě

Při mechanickém vlnění musíme rozlišovat dva typy vlnění. Kmitání příčné a kmitání podélné. Při podélném směru se dřevo (popřípadě pro představu houslová deska) smršťuje po celé délce a zase rozšiřuje. Zcela jiný směr a pohyb hmoty vzniká ve směru kolmém na podélný, posuvem (smykem) částic nahoru a dolů a říkáme jim vlny příčné. Podélné vlny vznikají v plynných, kapalných a pevných látkách. Vlny příčné se vyskytují pouze u pevných látek. U většiny pevných hmot jsou podélné vlny rychlejší než ty příčné (Ille, 1974). Pro představu, ve smrkovém dřevu se zvuk šíří podél vláken rychlostí 4500 m/s, v javoru se šíří 4000 – 5300 m/s (Pilař, Šrámek, 1986). Rychlost

vlnění je závislá na druhu dřeva, vlhkosti dřeva, teplotě a popřípadě tlaku. Požgaj (1993) uvádí vztah pro rychlost šíření vlnění:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E – Youngův modul pružnosti

ρ – hustota dřeva

Požgaj (1993) uvádí poměry rychlosti šíření vln v jednotlivých anatomických směrech.

$$c_{\parallel} : c_r : c_t = 15 : 5 : 3$$

c_{\parallel} - rychlost šíření vln v podélném směru vláken

c_r – rychlost šíření v radiálním směru

c_t – rychlost šíření v tangenciálním směru

5.2.3. Akustická konstanta

Jeden z nejobektivnějších parametrů, podle kterého lze hodnotit rezonanční dřevo, či jakékoliv jiné pro výrobu hudebních nástrojů. Akustická konstanta vyjadřuje intenzitu vyzářování a reprezentuje i empirickou zkušenost, kdy rezonanční materiál by měl mít co nejmenší hmotnost a zároveň co největší tuhost. Z definice vyplývá, že akustickou konstantu lze získat měřením rychlosti šíření vln, tak měřením Youngova modulu pružnosti E. Obě metody vyžadují zjištění hustoty dřeva. Měření prokázala, že rezonanční smrkové dřevo má výrazně vyšší akustickou konstantu nejen ve srovnání se dřevem smrkovým nerezonančním, ale také ve srovnání s jinými druhy dřeva využívanými pro výrobu hudebních nástrojů (Zelinger et. al, 1988). Akustická konstanta má vliv i na amplitudu kmitání dřeva. Čím větší je akustická konstanta, tím nižší je mezní frekvence, od které je dřevo schopno vyzářovat akustickou energii. (Pilař, Šrámek, 1986)

$$A = \frac{c}{\rho} = \sqrt{\frac{E}{\rho^3} \left[\frac{m^4}{kg \cdot s} \right]}$$

c – rychlost vlnění

E – Youngův modul pružnosti

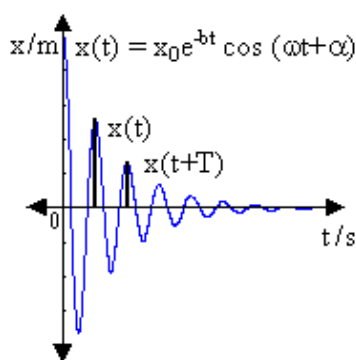
ρ – hustota dřeva

Pro základní rezonanční frekvenci tyče je dynamický modul pružnosti definován vztahem (Rajčan et. al., 1998) :

$$E = 4 \cdot L^2 \cdot f^2 \cdot \rho [Pa]$$

5.2.4. Logaritmický dekrement útlumu

Logaritmický dekrement útlumu vyjadřuje pohyb kmitavě tlumený. Pohyb, kdy hmotné body se pohybují z jednoho místa na druhé a jejich trajektorie přetíná rovnovážnou polohu. Amplitudy kmitání mají klesající charakter, až úplně zmizí. Tlumící síla se skládá z vnitřního tření a odporu prostředí (Dániel, 2007).



Obr. 24 Graf útlumu (Dániel, 2007)

Útlum λ je definován jako podíl po sobě jdoucích kladných amplitud, kdy b je koeficient harmonických kmitů

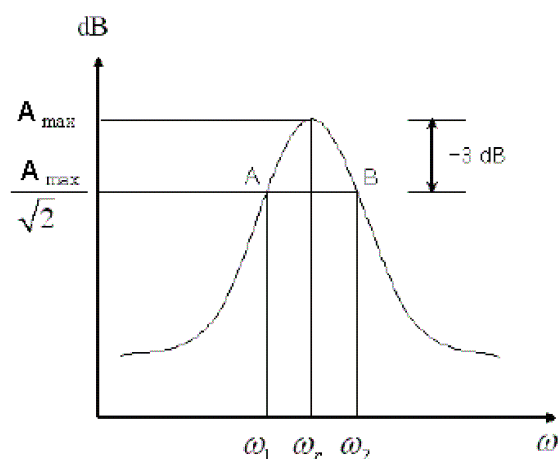
$$\lambda = \frac{x(t)}{x(t+T)} = \frac{x_0 e^{-bt} \cos(\omega t + \alpha)}{x_0 e^{-b(t+T)} \cos(\omega(t+T) + \alpha)} = e^{bT}$$

Logaritmický dekrement útlumu δ je pak roven přirozenému logaritmu útlumu.

$$\delta = \ln \lambda = bT$$

Nejjednodušší metodou měření logaritmického dekrementu útlumu je z rezonanční křivky a samotné rezonanční frekvence.

$$\delta = \pi \frac{f_2 - f_1}{f_0}$$



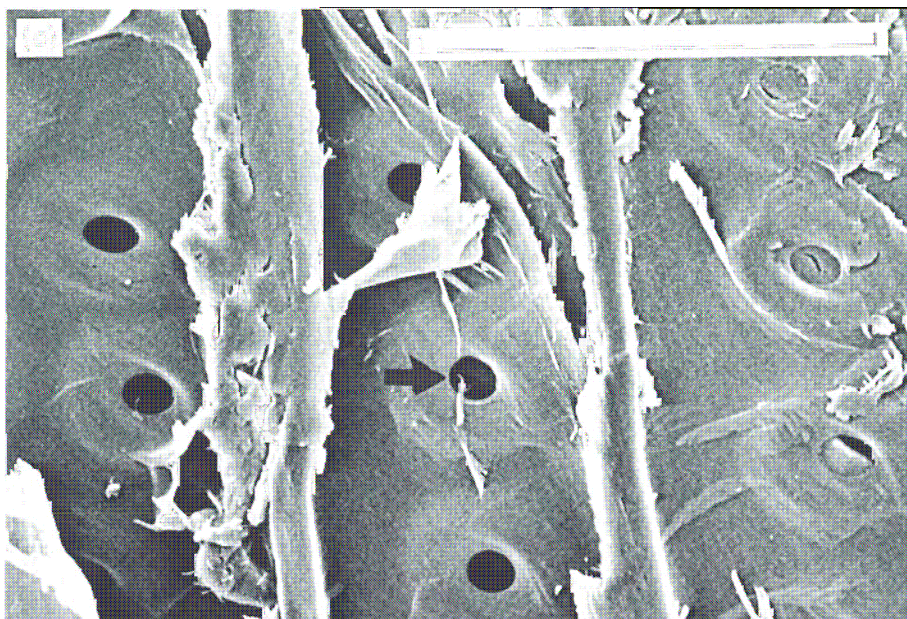
Obr. 25 Graf rezonanční křivky (Dániel, 2007)

Logaritmický dekrement útlumu je frekvenčně nezávislý přibližně do 1 KHz a nadále exponenciálně vzrůstá až k 80 % při 10 kHz. Velikost útlumu se snižuje se zvyšující frekvencí, to znamená, že vyšší harmonické složky zní déle, než by bylo v případě konstantního tlumení (Dániel, 2007). U smyčcových hudebních nástrojů je žádané vyšší tlumení (Pilař, Šrámek, 1986). Ale v podstatě se dá říci, že na toto téma jak u fyzikálních akustiků, tak u samotných houslařů nepanuje jednotný názor.

5.3. Klasifikace dřeva pro výrobu hudebních nástrojů a jakost dřeva

Nároky na rezonanční dřevo je možno shrnout do jednoho základního požadavku: dřevo musí být lehké, ale zároveň pevné. Nejvyhledávanějším představitelem rezonančního dřeva je smrk ztepilý (*picea abies* (L.)). Jsou další druhy smrku, které jsou vyhledávány, jako například smrk sitka, smrk Engelmanův (Procházka, 2010) a dále dřevina, uváděná pod obchodní hlavičkou cedr. Výše uvedené druhy připadají v úvahu při výrobě vrchních desek u kytar. U smyčcových nástrojů k takovým experimentům s materiálem na vrchní desku nedochází. Jednak z pohledu ryze konzervativního přístupu houslařství jako oboru a dále z důvodu, že každá dřevina má „jiný zvuk“. Musíme přesto dodat, že v dřívějších dobách se s úspěchem jako rezonanční dřevo používala i jedle, ačkoliv byla obtížně sušitelná a trpěla na odlupčivost. Pilař (1986) uvádí, že těžba dřeva pro hudební nástroje je všeobecně doporučována v zimním období z důvodu otevřenosti buněčných lumenů, která snižuje vnitřní tření. V dřívějších dobách bylo dříví dopravováno plavením; tento způsob přepravy zajišťoval otevřenost teček a dvojteček zvláště u smrku a tím lepší akustické vlastnosti. I toto je jedna z tezí, proč

staré italské housle dobře hrají, ale rozhodně se tato teorie nedá aplikovat na všechny staré nástroje bez rozdílu.



Obr. 26 Šipka ukazuje na otevřenou dvojtečku u smrku, snímek je ze starých italských houslí (Barlow, Woodhouse, 1990)

5.3.1. Jakostní znaky rezonančního dřeva smrku

Požadavky na kvalitu smrku se určitým způsobem odvíjejí od velikosti nástroje. Začneme základním požadavkem na dřevo, určené na houslovou desku. Nejlepší dřevo poskytují stromy z horských oblastí, nebo z míst, kde jsou podmínky velmi podobné. Nadmořská výška výskytu je rozdílná na základě regionu. U evropských Alp hovoříme o výškovém rozpětí od 800 do 1900 m n. m., v oblasti Karpat od 800 do 1200 m n. m. a významná je také Šumava, která patří k tuzemským zdrojům rezonančního dřeva. Rezonanční smrky mají vysoko nasazenou korunu, kůra je šupinatá a šedá. Vlastnosti letokruhu stojícího stromu můžeme zjistit pomocí Preslerova nebozezu. Dřevo z těchto oblastí má krátké vegetační období a díky němu úzké letokruhy (4 až 10 na 1cm) (Požgaj, 1993). Nízký podíl letního dřeva 20 % a tudíž i nízkou objemovou hmotnost (do 500 Kg/m³).

Rezonanční dřevo, které se vytváří zhruba od 120 do 220 roku věku stromu, nabývá šíře přibližně osmi centimetrů. Přílišným stářím stromu narůstá pravděpodobnost degradace dřeva a s tím související napadení hnilobou. Pro obecnou představu mají housle svůj nejširší rozměr v dolních lících kolem 20,5 cm. Kontrabas $\frac{3}{4}$ má spodní

rozměr líce kolem 60 cm. Dá se tedy říci, že každý nástroj obsahuje pouze část rezonančního dřeva. Všeobecné požadavky jsou na pravidelnost letokruhu, jeho kolmost na základnu přířezu, prostého jakýchkoliv růstových vad (suků, zásmolů) a poškozeních způsobenými biotickými činiteli. Balabán (1955) uvádí, že obzvláště ceněná je varianta smrku označovaná jako smrk lískovec. Jeho anatomickou zvláštností je zvlněný letokruh po obvodu, houslaři je ceněn pro údajně lepší akustické vlastnosti.

5.3.2. Ostatní dřeviny pro výrobu hudebních nástrojů

5.3.2.1. Dřeviny pro smyčcové nástroje

Co se týče ostatních dřevin na stavbu hudebních nástrojů, je výběr velmi rozmanitý. Začněme tedy u houslí, kde zavedeným standartem je javor klen (*acer pseudoplatanus*). Používá se na zadní desky nástrojů, na krky a na luby nástroje (Pilař, Šrámek, 1986). U větších smyčcových nástrojů, jako jsou violoncello či kontrabas, se v minulosti používal jako méně hodnotná dřevina topol či vrba. Dokonce i tuto náhradu používal takový velikán, jako byl Antonio Stradivari (Sacconi). Použít tedy jinou dřevinu znamenalo mít dostatek řemeslné zkušenosti k upravení desky tak, aby se časem nebortila a zároveň hrála. Co se týče ostatních součástí, jako jsou kličky, struník, hmatník, žalud, byl vyhledávanou dřevinou eben. Díky rozmanitým estetickým požadavkům samotných hráčů či přímo výrobců, se používají na garnitury dřeviny o vysoké hustotě, jako jsou zimostráz, šeřík, hloh, hruška aj.

5.3.2.2. Dřeviny pro drnkací nástroje

Při stavbě kytar se však dostáváme do ještě širšího spektra dřevin, které je zpravidla rozšířeno o exotické dřeviny. Tato tematika by si jistě zasloužila širšího rozvedení, ale tato práce se jí dotýká pouze okrajově. Pro příklad však uvedeme, že standartně se na krky kytar používá mahagon *sapelli* a na zadní desky a luby například palisandr, wenge, padouk aj. To ovšem neznamená, že v praxi nejsou použity i tuzemské dřeviny jako javor, ořech aj. Na přední desky se používá obvykle smrk ztepilý, mezi kytaráři je oblíben cedr. Procházka (2010) uvádí použití i jiných druhů smrku.

5.3.2.3. Dřeviny pro bicí nástroje

Při stavbě bicích nástrojů používáme mnoho dřevin, proto je nutné provést jejich hrubé rozdělení:

- Bicí soupravy
- Djembe
- Idiofonické nástroje druhu xylofón

Bicí soupravy prošly v posledních desetiletích různým vývojem. Podléhají určitým módním trendům vzhledu, kdy v dobách dřívějších byla žádána povrchová úprava v perleti či sparkl. V dnešních dobách je spíše žádána přirozená textura dřeva a s tím i související větší variabilita exotických dřevin, které se používají jako povrchová dýha korpusu. Korpus se sestává z trojvrstvé dýhy požadované tloušťky. V dřívějších dobách byl na korpusy používán buk, vývojem a díky požadavkům zákazníků se uplatnily i jiné dřeviny jako je javor, bříza a topol. Druh dřeviny se významně podílí na konečné ceně nástroje. Celkově se dá říci, že nejvýše ceněné jsou korpusy z javoru, dále bříza a jako nejlacinější materiál bychom mohli označit topol. Avšak nutno dodat, že každá dřevina má jiný zvuk a díky tomu i své příznivce. Velmi efektivní se ukázalo například dřeviny kombinovat. Firma Sonor kombinuje javor s bukem s vynikajícími výsledky (Červenka, 2007). Do tohoto oddílu můžeme zařadit bonga i konga. Jsou to jednotlivé bubínky, které jsou tvořeny též lepeným kopusem a platí pro ně totéž, co pro celé soupravy. K bicím soupravám neodmyslitelně patří též paličky, které se převážně dělají buď z habru obecného (*Carpinus betulus*) nebo z ořechovce vejčitého (*Carya ovata*) a jeho dřevo se obchodně označuje jako hikor. Obecně platí, hikorové paličky vydrží více než habrové.

Nástroj djembe pochází z Afriky jako domorodý buben, kterým se kmeny dorozumívaly či ho používaly jako doprovodný nástroj při obřadech a oslavách. Originální djembe je ručně vyrobené, ačkoliv v Evropě existují výrobci, kteří je soustruží. Pokud se budeme držet originálu, materiálovým standartem je Mahagon Iroko (*Chlorophora excelsa*) či Mahagon Lingue (uvádí Malina). V tuzemském regionu

můžeme použít téměř jakoukoliv dřevinu. Z osobní zkušenosti se mi nejvíce osvědčil javor, ale jako vždy u všech nástrojů záleží na individuálním zpracování. Ve své podstatě tvrdší dřeviny jsou lepší.

U idiofonických nástrojů, jako je xylofon, dřívka a ozvučné kvádry, označované jako woodblock, používáme též široké zastoupení druhu dřevin. Exotická dřeva jako Bubinga (*Guibourtia demeusei*), Palisandr, Sucupira (*Bowdichia nitida*). S úspěchem používáme taktéž domácí dřeviny jako je buk, javor.

5.3.2.4. Dřeviny pro dechové nástroje

Dechové nástroje jsou takové, u kterých je zvuk tvořen turbolentním prouděním vzduchu, či dochází k rozkmitání plátku prouděním vzduchu. Dechové nástroje, jako je klarinet, hoboj, se původně vyráběly z javoru a třešně. Postupně docházelo z dovozu kvalitnějšího, avšak dražšího materiálu ebenu. Pro jeho nedostupnost byl však eben nahrazen dřevem grenadilovým a ten se používá dodnes (Žitný, 2009). Zobcové flétny se vyrábí nejčastěji z hrušky a varhaní dřevěné píšťaly obvykle ze smrku a buku.

6. Zhodnocení výhod a nevýhod použití daných nedestruktivních metod pro třídění

6.1. Metody subjektivní

6.1.1. Výhody

- Rychlost ohodnocení, jednoduchost, nenáročnost
- Hrubé třídění při pořezu kulatiny
- Nedestruktivnost měření

6.1.2. Nevýhody

- Dovednosti a zkušenosti předávané z generaci na generaci – možná ztráta kontinuity předávaných zkušeností
- Individuální posuzování => neobjektivita

6.2. Metoda měření vlhkosti

6.2.1. Výhody

- Jednoduché zjišťování průběhu sušení na skladu, či ohodnocení vhodnosti přířezu ke zpracování
- Měření bez narušení či znehodnocení zkoumaného vzorku
- Cenová dostupnost
- Malé rozměry přístrojů – výborná mobilita

6.2.2. Nevýhody

- Měření do bodu nasycení vláken (odchylky do deseti procent dle druhu dřeviny), měření nad bod nasycení => velké nepřesnosti
- Měříme vlhkost pouze na povrchu či v jen v určitém bodu, ne v celém průřezu vzorku
- Měřená vlhkost je údaj, který vypovídá o stavu dřeva, má vliv na akustické vlastnosti, ale není hlavním hodnotícím údajem

6.3. Systém AKUSTOMAT

6.3.1. Výhody

- Jednoduché měření pomocí počítače, kdy naměřená data software zpracuje přímo do 3D grafu či do tabulky
- Nedestruktivnost měření
- Přesná metoda ke kvalitativnímu porovnávání naměřených souborů hodnot

6.3.2. Nevýhody

- Měříme tělíška - tyče, ne desky v celém průřezu
- Nízká mobilita – pracujeme v laboratorním prostředí

6.4. Kladívková impulzní metoda

6.4.1. Výhody

- Jednoduchost měření, velká variabilita měření – měření vetknutých desek, desek volných a tyčí

6.4.2. Nevýhody

- Nepřesnosti v měření (síla úhozu paličkou ovlivňuje měření)
- Nízká mobilita – pracujeme v laboratorním prostředí

6.5. Ultrazvukové metody

6.5.1. Výhody

- Nedestruktivnost měření, jednoduchost
- Metoda poskytuje okamžité výsledky, můžeme měření opakovat několikrát za sebou
- Můžeme měřit jak tyče, celé desky => hodnotíme v celém průřezu

6.5.2. Nevýhody

- Vliv klimatických podmínek teploty a vlhkosti
- V případě měření větších profilů se zvyšuje nepřesnost měření

- Výsledky mohou být ovlivněny anizotropií, nehomogenitou dřeva
- Výsledky je třeba doplňovat vizuální metodou či je porovnávat s dalšími metodami měření

6.6. Modální analýza

6.6.1. Výhody

- Můžeme měřit jak přířezy, slepené desky, tak hotové houslové desky, či tuto metodu používáme přímo k jejich ladění
- Metoda velmi přesná, hodnoty můžeme vyobrazit v 3D grafu a porovnat s jinými metodami
- Nedestruktivnost měření, jednoduchost měření varianty Chladniho obrazců

6.6.2. Nevýhody

- Při buzení rázem je obtížné desky pomocí gumiček ukotvit tak, aby kmitaly a zároveň nebyly tlumeny
- Snímání při buzení rázem je potřeba na více místech => drahé sondy a měřící přístroje

6.7. Holografická interferometrie

6.7.1. Výhody

- Umožňuje pozorovat v reálném čase změnu tvaru interferenčních křivek
- Bezkontaktní měření

6.7.2. Nevýhody

- Měření pouze hotových nástrojů
- Vidíme dle interferenčních proužků jaké části nástroje kmitají, ale nevíme s jakou fází výchylky
- Vyšší pořizovací cena, náročnější na obsluhu

6.8. ESPI interferometrie

6.8.1. Výhody

- Je schopna zjistit fázi výchylky a její amplitudu
- Bezkontaktní měření
- Komplexní metoda měření

6.8.2. Nevýhody

- Používá se na měření hotových nástrojů
- Vyšší pořizovací náklady

7. Závěr

Práce podává ucelený přehled o metodách dosud používaných v hodnocení řeziva pro výrobu hudebních nástrojů. Každý nástroj má své specifické nároky na kvalitu dřeva a je tedy možné, že dřevo nepoužitelné pro jeden typ nástroje je možné použít na jiný.

S vývojem moderních technologií dochází i k modernizaci posuzování kvalit dřeva. Některé metody, jako metoda Chladniho obrazců, je v praxi mezi houslaři hojně rozšířena, ačkoliv existují i takoví „staromilci“, kteří se spoléhají pouze na svůj vlastní úsudek a praktické zkušenosti a moderní metody neuznávají. Vrátime-li se k hodnocení metod řeziva pro výrobu hudebních nástrojů v této práci, docházíme k závěru, že k dosažení optimálních výsledků měření je dobré použít nejvhodnější možnou metodu měření. To znamená, že některé uvedené metody jsou vhodné přímo na měření desek či přířezů (klínů) slepených či oddělených. Metody, které vyžadují, aby měřený předmět byla tyč, jsou spíše vhodné pro hodnocení dřeva z pokusných lokalit či jiných, které zatím nejsou známy výskytem řeziva pro hudební nástroje.

Například Domin (1903) uvádí, že podnebí a krajinný ráz Středních Brd je velmi podobný šumavskému podnebí, a proto například zde by bylo možno nalézt zásobu rezonančního dřeva byť v menším objemu.

Poslední dvě metody jsou určeny k hodnocení hotových nástrojů – tedy sesazených nástrojů, které se dosud v praxi neužívají; jednak kvůli vysoké pořizovací ceně a jednak kvůli náročnější obsluze. Z hlediska objektivit je dobré naměřené hodnoty jednotlivých metod statisticky zpracovat, mezi sebou porovnat a pak z nich učinit konečný závěr.

Mé osobní závěry z této práce jsou takové, že by bylo dobré vytvořit katalogové hodnoty měřených veličin - ethalony, které by v praxi umožnili rychle a objektivně posuzovat dřevo pro výrobu hudebních nástrojů. S tímto souvisí i možnost prozkoumat pomocí metody AKUSTOMAT lokality netradičního výskytu rezonančního dřeva v České Republice.

8. Seznam Literatury

BARLOW, C.y.; WOODHOUSE, J. Bored pits in spruce from italian violins. In *Journal of microscopy*. Cambidge : Cambridge university, 1990. s. 211.

BÖHM, M., ŠEDIVKA, P., BOMBA, J., INIGUEZ, G. *Vliv délky zkušebního tělesa na výsledky získané nedestruktivní (vibrační) metodou zjišťování mechanických vlastností dřeva*. Konference mladých vědeckých pracovníků COYOUS, 2. 4. 2008, Česká zemědělská univerzita v Praze, ISBN: 978-80-213-1778-9.

BUCUR, Voichita. *Acoustics of wood*. Boca Raton : Crc press, 1995 284 s. ISBN 0-8493-4801-3.

DÁNIEL, Vladimír . VÝPOČET LOGARITMICKÉHO DEKREMENTU ÚTLUMU AKUSTICKÉHO SIGNÁLU. In *Proceedings of the 3rd International Symposium Material* [online]. Praha : Musical Acoustics Research Centre, 2007 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <http://wood.mendelu.cz/cz/sections/FEM/DA/files/MAP_Daniel.pdf>.

DANIHELOVÁ, Anna. *KMITANIE TYČÍ, PRAVOUHÝCH TENKÝCH DOSIEK A MEMBRÁN* [online]. Zvolen : -, 2009. 33 s. Oborová práce. Technická univerzita vo Zvolene. Dostupné z WWW: <http://ufv.science.upjs.sk/_projekty/smolenice/pdf_09/04_danihelova.pdf>.

DANIHELOVÁ, Anna. *Vybrané nedeštruktívne metódy skúmania vlastností smrekového dreva*. Zvolen, 2009. 4 s. Oborová práce. Technická univerzita vo Zvolene.

DOMIN, Karel. *Brdy: studie fyto geografická*. Praha : česká společnost zeměvědná, 1903. 84 s. cnb 000567099.

Fakkop. Laboratory practice. In *PC based Fast Fourier Vibration analyzer* [online]. Agfalva : 2005 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.fakopp.com/site/download>>.

ILLE, Rudolf. *Výzkum rezonančního dřeva smrku*. Praha : Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 1974. 59 s.

INDRA, Pavel; ŘEZÁČ, Jan. *Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v české republice*. Trutnov : Pratr a. s., 2002. 73 s.

ÍÑIGUEZ, Guillermo . *Non-destructive methods for the quality control of structural Tali timber*. Madrid : --, 2007. 8 s.

JANSSON, Erik. *ACOUSTICS FOR VIOLIN AND GUITAR MAKERS* [online]. Stockholm : Royal Institute of Technology (KTH), 2002 [cit. 2011-04-23]. Chapter V: Vibration Properties of the Wood and Tuning of Violin Plates, s. . Dostupné z WWW: <<http://www.speech.kth.se/music/acviguit4/part5.pdf>>.

KLOIBER, Ing. Michal ; KOTLÍNOVÁ, Ing. Mária. *TZB info* [online]. 8.3.2010 [cit. 2011-04-23]. Nedestruktivní defektoskopické přístroje používané při provádění stavebně technických průzkumů historických dřevěných konstrukcí. Dostupné z WWW: <<http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6295-nedestruktivni-defektoskopicke-pristroje-pouzivane-pri-provadeni-stavebne-technicky-pruzkumu-historicky-drevenych-konstrukci>>

KLOIBER, Michal. *Nedestruktivní zjišťování vlastností dřeva*. Brno, 2007. 105 s. MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA V BRNĚ.

KÜRFIRST, Pavel. *Základy hudební akustiky*. Brno : MU arál kraví hora, 2000. 41 s. ISBN 80-210-2333-3.

PILAŘ, Vladimír; ŠRÁMEK, František . *Umění houslařů*. Praha : Paton, 1986. 524 s.

POŽGAJ, ALEXANDR, et al. *štruktúra a vlastnosti dřeva*. Bratislava : Príroda, 1993. 484 s. ISBN 80-07-00600-1.

PROCHÁZKA, Petr. *Kytary procházka* [online]. 2008 [cit. 2011-04-24]. Materiály. Dostupné z WWW: <<http://www.guitar-makers.com/www/materialy.php>>.

RAJČAN, Emil; DANIHELOVÁ, Anna; URGELA, Stanislav. *APLIKÁCIA AKUSTIKY PRI ŠTÚDIU VLASTNOSTÍ DREVA*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1998. 63 s.

SACCONI, Simone ferdinando. *The Secrets of Stradivari*. Cremona : Libreria Del Convegno, 1979. 101 s.

SYROVÝ, Václav . OD CHLADNIHO K 3D PULSESPI. In *Proceedings of the 2nd International Symposium Material* [online]. Praha : Musical Acoustics Research Centre, 2006 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://zvuk.hamu.cz/vyzkum/dokumenty/Lit136.pdf>>.

ZADINA, Zdeněk . *Technologie stavby smyčcových hudebních nástrojů* [online]. 2007. Cheb : [s.n.], 2007 [cit. 2011-04-23]. Výroba přířezů na hudební nástroje, s. . Dostupné z WWW: <<http://www.violinschool.eu/>>.

ZELINGER, Jiří; FRIES, Tomáš . Objektivní hodnocení rezonančního dřeva smrku. In *Sborník VŠCHT S 18*. Praha : VŠCHT, 1988. s. 214. ISSN 0139-908X.

ŽITNÝ, Radek. *Klarinet* [online]. 2009 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://klarinetweb.wz.cz/klarinetajehovyvoj.htm>>.

Djembe iroko [online]. 2010 [cit. 2011-04-25]. Bubny. Dostupné z WWW: <<http://www.udu.tumi.cz/bubny.htm>>.

Sonor orff [online]. 2007 [cit. 2011-04-23]. Xylophone. Dostupné z WWW: <http://shop.sonor-orff.com/product_info.php?info=p91802500_Deep-Bass-Xylophone.html>