

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

LESNICKÁ A ENVIRONMENTÁLNÍ FAKULTA



Rezonanční dříví

Vladimír Maulis

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

2007

Univerzita: Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra: zpracování dřeva

Fakulta: lesnická a environmentální
Školní rok: 2005/2006

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

pro: **Vladimíra Maulise**
obor: Dřevařství

Název tématu: **REZONANČNÍ DŘÍVÍ**

Zásady pro vypracování:

- Vymezení pojmu
- Vlastnosti rezonančního dříví
- Dřeviny poskytující rezonanční dříví u nás
- Dřeviny poskytující rezonanční dříví v jiných oblastech
- Využití rezonančního dříví

Rozsah grafických prací: 10-20 fotografií a grafických schémat

Rozsah průvodní zprávy: 30-40 stran textu

Seznam odborné literatury:

- KOLLMANN, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe – Erste Band. Berlin: Springer-Verlag, 1951. 1050 s.
ILLE, R. Výzkum rezonančního dřeva smrku. Praha: SNTL, 1974
NEHYBA, J. Rezonanční dříví
POŽGAJ, A. – CHOVANEC, D. – KURJATKO, S. – BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: Príroda, 1993. 486 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Zeidler, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: květen 2006

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2007


Prof. Ing. Ivan Roček, CSc.

.....
Vedoucí katedry




Prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

.....
Děkan

V Praze dne 1.6. 2006

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Rezonanční dříví“ vypracoval samostatně s použitím uvedených literárních zdrojů a po odborných konzultacích s Ing. Zeidlerem, Ph.D.

V Praze dne 20. dubna 2007

.....

Podpis

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval především houslaři panu Ing. Zdeňku Frodlovi za jeho neobvyklou ochotu a praktické rady k tomuto tématu. Děkuji také svému vedoucímu bakalářské práce Ing. A. Zeidlerovi, Ph.D. a všem, kteří mi poskytli podklady k mé práci.

OBSAH

1.Úvod	1
1.1 Složitá otázka výroby hudebních nástrojů	1
1.2 Cíl bakalářské práce	1
2. Fyzikální vlastnosti dřeva	3
2.1 Akustické vlastnosti dřeva	3
2.1.1 Rychlost šíření zvuku ve dřevě	4
2.1.2 Akustický vlnový odpor, tlumení zvuku	4
2.1.3 Rezonanční vlastnosti dřeva	5
3. Dřevo jako materiál na výrobu hudebních nástrojů	6
3.1 Akustický model	6
3.2 Anatomické charakteristiky rezonančního dřeva	6
3.3 Rezonanční dřevo smrku	7
3.3.1 Výběr a výroba rezonančního dřeva	7
3.3.2 Vady dřeva	9
3.3.3 Doba kácení, způsoby uskladnění a sušení dřeva	10
3.4 Další dřeviny používané při výrobě hudebních nástrojů	12
4. Metody hodnocení rezonančních vlastností dřeva	15
4.1 Hodnocení podle akustické konstanty	15
4.2 Hodnocení podle velikosti útlumu	16
5. Závislost akustického efektu na stáří, makrostruktuře a propustnosti dřeva	18
5.1 Makrostruktura starých smrkových kmenů	18
5.2 Významné závislosti akustického efektu u běli propustné (těsně pod kůrou)	18
5.3 Významné závislosti akustického efektu u jádra (vyzrálého dřeva)	18
6. Úpravy dřeva prováděné za účelem zlepšení jeho akustických vlastností	20
6.1 Chemické úpravy rezonančního dřeva	20
6.1.1 Ošetření dřeva vodou – klasické způsoby	20
6.1.1.1 Vlivy ošetření	21
6.1.1.2 Vliv propustné běli (jarní části letokruhů) na akustický efekt	21
6.1.2 Úpravy dřeva chemickými látkami – moderní způsoby	22
6.1.2.1 Petrifikace (zkameňování)	22
6.1.2.2 Impregnace dřeva roztoky polymerů	24
6.1.2.3 Úprava dřeva extrakcí toluenem	24

6.2 Tepelné úpravy rezonančního dřeva.....	26
7. Povrchové úpravy rezonančního dřeva	27
7.1 Staré italské houslové laky	27
7.2 Přírodní suroviny pro přípravu houslových laků.....	28
7.3 Povrchová úprava rezonančního dřeva houslí.....	30
7.4 Vliv povrchových úprav na akustické vlastnosti rezonančního dřeva	30
8. Strunné hudební nástroje a rezonanční deska	31
8.1 Rezananční deska pian.....	32
8.1.1 Konstrukce rezonanční desky piana	32
8.1.2 Základní požadované vlastnosti rezonanční desky	33
8.2 Konstrukční parametry smyčcových nástrojů.....	34
8.2.1 Chladniho metoda tónování desek	35
9. Závěr	38
10. Seznam použité literatury	39
11. Přílohy	

1.Úvod

1.1 Složitá otázka výroby hudebních nástrojů

Dřevo patří k hlavním faktorům, určujícím kvalitu těch hudebních nástrojů, které mají rezonátory zhotovené na jeho bázi (housle, kytara, klavír apod.). Rezonanční dřevo tvoří konstrukčně rezonátor, který spolu s generátorem a oscilátorem vytvářejí tři základní funkční části hudebního nástroje (tzv. spřáhnutý systém). Tento systém je vlastní každému hudebnímu nástroji.

Dřevo je však materiál sestavený z různých stavebních elementů (heterogenní), v různých směrech, různě uspořádaných (anizotropní) a v přírodě během růstu stromů (za více než století) velmi variabilní struktury, takže zkoušení jeho vlastností je poměrně složité.

Jsou sice veličiny, jako hustota, Youngův modul pružnosti, rychlost šíření zvukové vlny, akustická konstanta a logaritmický dekrement útlumu a metody jejich zjišťování, kterými lze objektivně posuzovat fyzikálně – akustické vlastnosti. Tímto způsobem však můžeme hodnotit pouze materiálovou vhodnost pro výrobu hudebního nástroje.

Přes všechny tyto aspekty a rozvoj techniky, nelze dosud rezonanční dřevo plně nahradit jinými materiály (umělými hmotami apod.).

Řešení otázek spadajících do výroby hudebních nástrojů je tedy velmi náročné a složité. Dalším faktem, který ji komplikuje je také to, že zasahuje nejen do oblasti techniky a vědy (fyziky, akustiky a technologie dřeva), ale zároveň do umění; neboť výroba hudebních nástrojů je umělecké dílo jak výtvarné tak hudební. Konečnou zvukovou kvalitu hudebního nástroje zjistíme teprve hraním a nástroj nejlépe ohodnotí hudební umělec nebo skupina hudebníků.

1.2 Cíl bakalářské práce

Na téma "Rezonanční dřevo" nebyla dosud zpracována literatura, která by poskytovala souhrnný přehled o tomto materiálu. Tato práce by tedy měla být jakýmsi přehledem vlastností rezonančního dříví, dřevin poskytujících tento materiál u nás i v jiných oblastech, jeho použití a je zde věnována i poměrně rozsáhlá část možným úpravám rezonančního dřeva pro zlepšení jeho akustických vlastností a také povrchové úpravě. Tyto úpravy, jsou prováděny většinou pouze experimentálně a v praxi nenašli zatím větší uplatnění, ale jejich studium je s ohledem na budoucnost jistě přínosné.

U nás i v jiných oblastech se k výrobě hudebních nástrojů hodí více druhů dřevin, ale nejen v našich podmínkách je nejvýznamnější a nejvyhledávanější dřevinou takzvaný rezonanční smrk,

který je po několik staletí vyvážen prakticky do celého světa ať již ve formě surového dřeva nebo hotových hudebních nástrojů.

Mezi nejvýznamnější oblasti v produkci tohoto dřeva u nás patří ještě stále Šumava, ale i zde zásoby této ceněné suroviny velmi rychle ubývají. Rezonanční dřevo je stále vzácnější a nestačí již krýt požadovanou spotřebu a díky tomu se používá stále více dřeva podružné jakosti. Je sice možné částečně „českou rezonanci“ nahradit dovozem, to by však významně ovlivnilo cenu hudebních nástrojů.

I z tohoto vyplývá, že je žádoucí zabývat se úpravami rezonančního dřeva chemickou cestou, přesto se však názory na toto téma velice liší a praxí jsou zatím odmítány.

2. Fyzikální vlastnosti dřeva

Vlastnosti určující vztah dřeva ke zvuku patří mezi fyzikální vlastnosti dřeva. Jsou to vlastnosti, které můžeme pozorovat bez narušení chemického složení a celistvosti materiálu. Lze je zjišťovat našimi smysly a nebo přístroji či zkouškami bez porušení dřeva – vnitřní vlastnosti (vlhkost, objemová hmotnost atd.).

Fyzikální vlastnosti se podle ČSN 49 0000 rozdělují do těchto skupin:

1. Vlastnosti určující **vnější vzhled dřeva** - barva, lesk, textura, vůně;
2. Vlastnosti určující **vztah dřeva k vodě** - vlhkost, vlhkostní vodivost, navlhavost, nasákavost, propustnost vody dřevem, sesychání, bobtnání, borcení, praskání;
3. Vlastnosti určující **hmotnost dřeva** - měrná hmotnost dřevní substance, objemová hmotnost (objemová hustota), pórovitost;
4. Vlastnosti určující **vztah dřeva k teple** - tepelná vodivost, tepelná roztažnost;
5. Vlastnosti určující **vztah dřeva ke zvuku** - zvuková vodivost, průzvučnost, rezonanční schopnost;
6. Vlastnosti určující **vztah dřeva k elektřině** – elektrická vodivost, dielektrické vlastnosti určující účinek vysokofrekvenčních proudů, piezoelektrické vlastnosti, magnetické vlastnosti;
7. **Propustnost dřeva** pro světelné a rentgenové paprsky, účinek ultrafialových paprsků, účinek jaderného záření na dřevo.

Akustické vlastnosti jsou vyjadřovány schopností materiálu utlumit, vést nebo zesílit zvuk. Rezonancí dřeva pak nazýváme schopnost dřeva zesilovat zvuk bez zkreslení a za rezonanční dřevo považujeme takové, které vykazuje dobré rezonanční vlastnosti a používá se na výrobu rezonančních desek hudebních nástrojů.

2.1 Akustické vlastnosti dřeva

Dřevo je materiálem s velmi dobrými akustickými vlastnostmi, které ho předurčují k výrobě hudebních nástrojů, například houslí, kytar, klavírů a dalších strunných nástrojů a ke zlepšení akustických vlastností společenských místností (kin, divadel a koncertních sálů). Pro zlepšení akustických vlastností se používá dřevo a některé dřevěné kompozitní materiály, jako například dřevovláknité desky nebo překližky.

Dřevo vede všechny druhy zvuku (infrazvuk – do 20 Hz, zvuk i ultrazvuk nad 20 000 Hz). Zvukem rozumíme mechanické vlnění prostředí, které vnímáme sluchovým orgánem jako zvukový vjem. Jeho vnější příčinou je uspořádaný kmitavý pohyb molekul přenášený působením sil, kterými na sebe vzájemně molekuly působí.

Akustika se zabývá studiem mechanických kmitů bodů a bodových soustav a jejich šíření v prostoru. Zvuk je charakterizován vlnovou délkou, amplitudou vlnění, frekvencí a rychlostí šíření. Vztah mezi rychlostí šíření c , frekvencí f a vlnovou délkou λ vyjadřuje vztah (Požgaj, 1993):

$$c = \lambda \cdot f$$

2.1.1 Rychlost šíření zvuku ve dřevě

Rychlost šíření zvuku ve dřevě závisí na vlastnostech dřeva, teplotě, vlhkosti a případně působícím tlaku (Požgaj 1997). Požgaj (1997) dále uvádí pro vliv materiálu na rychlost šíření zvuku vztah:

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

kde E - je Youngův modul pružnosti

ρ - je hustota dřeva

Ze vztahu vyplývá, že rychlost šíření zvukových vln roste s rostoucím modulem pružnosti a klesající hustotou dřeva. Rychlost šíření zvuku je ovlivněna anatomicou stavbou dřeva. Požgaj (1993) uvádí poměr mezi rychlostí šíření zvuku v jednotlivých anatomických směrech dřeva:

$$c_{//} : c_r : c_t = 15 : 5 : 3$$

kde $c_{//}$ - je rychlost ve směru dřevních vláken c_r - je rychlost v radiálním směru

c_t - je rychlost v tangenciálním směru

Velikost uvedených poměrů závisí jak na dřevině, tak i na hodnotě poměru modulu pružnosti podél vláken a kolmo na vlákna. Tento poměr udává rovnice:

$$\frac{c_{//}}{c_{\perp}} = \sqrt{\frac{E_{//}}{E_{\perp}}}$$

kde $c_{//}$, $c_{\perp}$ - je rychlost šíření zvuku podél a napříč vláken

$E_{//}$, $E_{\perp}$ - je Youngův modul pružnosti podél a napříč vláken

Závislost mezi rychlostí zvuku a hustotou dřeva je nízká. Rychlost šíření zvuku klesá s rostoucí vlhkostí, protože vyplňuje jeho kapiláry, ve kterých se předtím nacházel vzduch. Důsledkem toho se zvyšuje odpor prostředí proti šíření zvukové vlny (Požgaj, 1993).

2.1.2 Akustický vlnový odpor, tlumení zvuku

Odpor proti rovinné zvukové vlně se nazývá akustickým vlnovým odporem a lze vypočítat ze součinu hustoty dřeva a rychlosti šíření zvukových vln podle vztahu:

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

Akustický vlnový odpor Z některých materiálů je uveden v tab. 1 v příloze I.

Při porovnání závislosti intenzity vyzařování na akustickém vlnovém odporu je patrná převaha akustických předností dřeva oproti jiným materiálům (Graf 1 v příloze X)

V prostředí se zvuk tlumí jednak vnitřním třením a jednak vyzařováním – radiací zvuku. Tlumení způsobené radiací závisí především na poměru rychlosti šíření zvuku a hustoty materiálu. U hudebních nástrojů, například u rezonančních desek pianin, se vyžaduje nízké tlumení způsobené vnitřním třením a vysoké tlumení způsobené radiací zvuku (Požgaj, 1993).

2.1.3 Rezonanční vlastnosti dřeva

Rezonanční vlastnosti jsou odvozené vlastnosti dřeva založené na rezonančních frekvencích a uplatňující se při charakteristice visko-elastických vlastností dřeva. Dřevo představuje komplex přírodních polymerů s různým vztahem k pružnosti a vazkosti. Jestliže podrobíme dřevo i velmi malým napětím, pak vzniklá deformace neodpovídá fázi napětí, jak by tomu bylo u ideálně elastické látky. Přitom však fázový posun deformace za napětím neodpovídá 90°, jak by tomu bylo u ideálně plastické látky. Hodnota fázového posunu deformace za napětím odpovídá tedy obecně u dřeva některému z úhlů od 0 do 90°.

Pokud na dřevo působí vnější budící síly o určité frekvenci, vibruje s určitou amplitudou vibrace. Při určitých frekvencích dřevo reaguje s maximální amplitudou vibrace. Tyto frekvence jsou nazývány rezonanční a mají stejnou hodnotu jako vlastní frekvence dřeva. Ve dřevě mohou vzniknout tři druhy rezonančních vibrací: podélné, příčné a torzní.

Velikost rezonančních frekvencí je definována vlastnostmi materiálu v namáhaném směru, geometrií tělesa a podmínkami, při kterých vnější síly na těleso působí. Rezonančních vlastností dřeva je využíváno i pro zjišťování modulu pružnosti dřeva E .

Podobský (*in* Jenček, 2003) doporučuje provádět vyšetřování akustických vlastností materiálů na tyčích obdélníkového nebo čtvercového průřezu. Pokud je tyč čtvercového průřezu upozorňuje na možnost registrovat při měření současně dvojí kmitání ve dvou navzájem na sebe kolmých rovinách odpovídajících radiálnímu a tangenciálnímu směru v materiálu.

Měření vlastností materiálu je vhodné provádět při podepření či upevnění těles v místech, ve kterých těleso při daném tvaru modu nekmitá. Tato místa se nazývají uzly chvění. Podobský (1978) uvádí na výpočet polohy uzlu pro ohybový mod 2-0 vztah:

$$X_1 = 0,224 \cdot l$$

Kde: X_1 – je vzdálenost polohy uzlu od konce tyče délky l

3. Dřevo jako materiál na výrobu hudebních nástrojů

3.1 Akustický model

Aby byla anatomická struktura uvedena do vztahu k akustickému chování dřeva, je nezbytné porozumět některým mechanismům, které během šíření vibrace mohou oddělit buňky a umožnit jim působit nezávisle.

V souladu s mikroskopickými pozorováními, z hlediska kvalitativního vysvětlení chování dřeva v akustickém poli, může být podán zjednodušený model.

Studie strukturního uspořádání stěn buněk dřeva (velice obecně) ukazují, že tracheidy jsou "trubky" celulózové krystalické substance, uložené v amorfní matrici ligninu. Z akustického hlediska může být struktura dřeva považována za pravoúhlý systém průběžných uzavřených homogenních "trubek", uložených v matrici.

Podélná orientace "trubek"- tracheid je částečně přerušována příčnými "trubkami"- dřeňovými paprsky. Je též zajímavé připustit, že v podélném směru se ztráta akustické energie odehrává na koncích "trubek". Tudíž kontinuální a stejnoměrná struktura jehličnatého dřeva, vystavěného z dlouhých anatomických prvků, je příčinou vysokých hodnot akustických konstant (4.1), (Bucur, 1977).

3.2 Anatomické charakteristiky rezonančního dřeva

Smrk – Tracheidy: průměr 20 – 40 μm v radiálním řezu jarního dřeva a menší u letního dřeva, malé dvojtečky na radiálních stěnách uspořádané do jedné řady; typ teček v křížovém poli je piceoidní, tečky jsou malé, stejné velikosti se zřetelnými okraji, zpravidla 2 na křížové pole, uspořádané v řadě.

Dřeňové paprsky: Dva typy, jednovrstevné a vícevrstevné (vřetenovité), jednovrstevných dřeňových paprsků je velké množství (80 – 100/cm) a 1 – 26 buněk na výšku;

vícevrstevné se vyskytují ojediněle, s příčným pryskyřičným kanálkem, mají 3 – 5 vrstev ve střední části, nahoře i dole jsou zakončeny jednou vrstvou buněk, až do 16 buněk na výšku.

Oba typy paprsků jsou obvykle zakončeny hladkými horizontálními (příčnými) tracheidami.

Pryskyřičné kanálky: S tlustostěnným epitelem, podélné kanálky jsou malé, průměr 125 μm , obvykle řídce ($22/\text{cm}^2$); příčné kanálky mnohem menší.

Jedle – Tracheidy: jarní mají průměr 25 – 65 μm na radiálním řezu a letní 10 – 25 μm , rozmístění dvojteček na stěnách tracheid jednořadé, velmi vzácně párové, taxodioidní typ teček v křížových polích, tečky malé, zcela stejné velikosti, se zřetelnými okraji, 1 – 4 v křížovém poli.

Dřeňové paprsky: jednovrstevné, velmi proměnlivé délky (1 – 50 buněk), homocelulární typ dřeňového paprsku, hojný výskyt ($80/\text{cm}^2$).

Pryskyřičné kanálky: normální pryskyřičné kanálky chybí, někdy se vyskytují podélné traumatické kanálky.

Javor – Tracheidy: vláknité tracheidy, se silnými stěnami, velmi nepravidelné uspořádání a různorodá délka (0,01 – 0,3 mm).

Dřeňové paprsky: Až do 5 mm na výšku v tangenciálním řezu, homogenní, nejvíce 2 – 10 vrstev.

Cévy: jednotlivé, 25 – 150 μm v průměru, 30 – 50/ mm^2 , perforace cév jednoduché, ojediněle žebříčkovitá, s několika málo příčkami; dvojtečky prstencovitě oválné, malé, 5 μm v průměru.

Rezonanční dřevo smrku a jedle je charakterizováno vysokým stupněm organizace anatomických prvků, zatímco javor má komplexnější strukturu, plnou nehomogenit, způsobených širokými paprsky a zvlněnými vlákny.

V radiálním směru, prochází akustická vlna trubicovitou strukturou, zajištěnou přítomností dřeňových paprsků, ale v tangenciálním směru tato struktura úplně chybí (Bucur, 1977).

Uváděný model je podpořen hodnotami, uvedenými v Tabulce 2 v příloze I.

3.3 Rezonanční dřevo smrku

Rezonanční dřevo smrku se používá k výrobě rezonanční desky strunných hudebních nástrojů a má za úkol zesílit jemný zvuk vyvozený na strunách a vyzářit maximální množství přijaté zvukové energie do okolního vzduchu. Smrkové dřevo vykazuje řadu dobrých vlastností jako vysokou rychlost zvuku, velký útlum a malý vlnový odpor (Ille, 1968).

O jakosti hudebního nástroje rozhoduje velmi mnoho složitých vztahů. Z lesnicko-děveřského hlediska je třeba předně sledovat: požadavky na jeho jakost, požadavky na jeho

sušení a uskladnění, které souvisí se zráním a stárnutím dřeva a významnou roli tvoří také jeho povrchová úprava (Ille, 1968).

3.3.1 Výběr a výroba rezonančního dřeva

Jako rezonanční dřevo je vhodné zvláště jehličnaté dřevo, které má jednoduchou anatomickou stavbu, buňky v pravidelných řadách a skládá se převážně (90%) z jednoho typu buněk (tracheid). Těmto požadavkům nejlépe vyhovují smrk (*Picea*), popřípadě jedle (*Abies*). Jsou to naše běžné dřeviny, které mají lehké dřevo světlé barvy v celém průřezu kmene a dlouhé dřevní buňky, zvláště v dospělosti stromu (Graf 2 v příloze X)

K výběru a hodnocení rezonančního dřeva je třeba řada zkušeností a obvykle se musí posuzovat celý soubor znaků ať už jde o stojící strom nebo výřezy. U stojících stromů se hodnotí rovný, válcovitý, pravidelně rostlý kmen s bezsukatou spodní částí v délce 5-6 m (Ille, 1968).

Stromy s výskytem rezonančního dřeva jsou obvykle plnodřevné – kmen je málo sbíhavý a mají vysoko nasazenou korunu. Kůra bývá jemná, s malými kulatými šupinkami, bez stop po větvích a sucích, pryskyřice, bez odloupané kůry apod. Koruna má být úplně symetrická, ať už je špičatá anebo plochá (Regináč, 1988).

Základními požadavky na strukturu rezonančního dřeva jsou:

- 1) nízká objemová hmotnost ($400-500 \text{ kg/m}^3$)
- 2) úzké letokruhy ($1,0-2,0 \text{ mm}$)
- 3) nízký podíl letního dřeva (max. 20%)

Jehličnaté dřeviny s úzkými letokruhy mají zpravidla větší podíl letního dřeva. Pro rezonanční dřevo se vyžaduje v tomto ohledu určitá zvláštnost; má mít také jemnoleté dřevo, ale s úzkou letní zónou (obrázek 1 a 2 v příloze IV). Počet letokruhů na 1 cm a průměrná šířka letokruhu ve vrstvě rezonančního dřeva se určí tak, že se na čelní ploše v ozvučné vrstvě označí body v radiálním směru v délce od 2 do 5 cm hranice celých letokruhů. Délka úsečky a mezi body A a B se změří s přesností na 0,5 mm a potom se spočítají letokruhy na úsečce a . Počet a šířka letokruhů se potom vypočítají ze vztahů:

$$n = \frac{N}{a},$$

$$\bar{s} = \frac{a}{N},$$

kde: n – počet letokruhů na 1 cm

N – počet letokruhů na úsečce a

a – délka úsečky, na které bylo měření provedeno

$\bar{s}$ – průměrná šířka letokruhu

Zastoupení letního dřeva v letokruhu [%] se potom vypočítá ze součtu šířky letního dřeva D ve všech letokruzích na úsečce a podle vztahu:

$$m = \frac{D}{a} \cdot 100 \quad [\%]$$

s přesností na 1 %, kde: m – průměrné % letního dřeva v letokruhu

D – součet šířek letního dřeva v letokruzích na délce úsečky a .

(Hrivňák, 1996)

Takové dřevo musíme vybírat především tam, kde jsou k tomu příznivé růstové podmínky (vhodné klimatické, půdní a porostní poměry). Stromy, vhodné pro rezonanční dřevo se vyskytují ve vyšších horských polohách (Alpy, Karpaty) a ve středních polohách (Šumava). V horách s přibývajícím nadmořskou výškou a se zkracováním vegetačního období se snižuje tvrdost vnější části letokruhu, vytvořené koncem vegetačního období (letního dřeva). Optimální nadmořská výška pro růst rezonančního dřeva je podle zeměpisné polohy různá. V Alpách se rezonanční dřevo vyskytuje v nadmořských výškách 1000 až 1990 m.n.m., na Slovensku 700 až 1200 m.n.m., v Čechách potom nad 600 m.n.m. (Hrivňák, 1996). Mistr houslař Zdeněk Frodl uvádí, že nejvyšší kvalitu rezonančního dřeva se nachází až ve výškách 1100-1400 m.n.m a proto dřevo k výrobě svých nástrojů nakupuje výhradně v zahraničí. Takovéto stromy rostou především na severních expozicích, na chudých stanovištích a v porostu u úrovňových nebo podúrovňových kmenů, kdy se tvoří poměrně úzké letokruhy s malým podílem letního dřeva a s tenkými buněčnými stěnami (tj. zvláště lehké dřevo). Marčok (1989) uvádí, že se tyto porosty z 50% nacházejí v oblastech, poškozených exhalacemi a že se rezonanční stromy nevyskytují v uměle založených anebo udržovaných porostech.

Vybírají se staré kmeny – pro housle nejméně 40 cm v průměru – pravidelně rostlé. Dřevo pro rezonanční účely se začíná tvořit asi v 90 letech života stromu. Při požadované hranici maximálně 4 letokruhů na 1 cm šířky a nejmenší přípustné vrstvy rezonančního dřeva 8 cm se může vytvořit za 32 let při celkovém věku stromu 122 let. Produkční doba rezonančního dřeva střední jakosti je 150 až 160 let, což odpovídá 6 letokruhům na 1 cm a 10 až 12 cm široké vrstvy rezonančního dřeva (Požgaj, 1993).

Rezonanční desky se zásadně vyrábějí jako desky radiální (s kolmými letokruhy k ploše). Výřezy z dodaných kmenů jsou nejprve rozčtvrceny a každý blok dále rozřezán tak, aby dřevové paprsky probíhaly po celé šířce prkének. Užší a kratší sortimenty jsou někdy štípány. Do obchodu se dostávají zcela ohoblované, roztříděné podle výšky tónu nebo jen podle velikosti (Nečesaný et al., 1952).

Největší význam radiální desky tkví v tom, že se při sesychání málo smršťuje, proto se nebortí a nepraská. V radiálním směru je pevnost dřeva a modul pružnosti (E) vyšší a tím je zároveň v tomto směru i o něco větší rychlost zvuku než ve směru tangenciálním. Dalším

důvodem je to, že jsou na radiální ploše patrné dřevové paprsky (tzv. zrcátka), která dávají zvláště smrkovému dřevu hedvábný lesk.

Důležitá je rovněž rovnovážnost rezonanční desky. U čerstvého dřeva se odklon vláken nejsnáze zjistí štípáním. Díky tomu že se dříve všeobecně rezonanční dřevo štípalo, a to i pro klavír na čtvrtky, byl tento požadavek splněn. Dnes se rezonanční dřevo štípe pouze na klíny pro housle, cello apod. (Ille, 1968).

3.3.2 Vady dřeva

Pro třídění a použitelnost rezonančního dřeva jsou rozhodující suky, trhliny, odklon vláken, křemenitost, smolníky, vady způsobené houbami a poškození hmyzem.

Suky – pro použití dřeva jako rezonančního, suky nejsou v oddenkové části do délky 1800 mm přípustné. V další části řeziva je povolený 1 suk na jeden běžný metr délky bez ohledu na jeho velikost a umístění. Neuvažují se ty suky, které vychází na plochu a umožňují vymanipulování přířezů o minimální šířce 55 mm v ozvučné vrstvě. Závitky po drobných sucích jsou povolené.

Trhliny – do délky 100 mm jsou přípustné u řeziva. U desek klávesových nástrojů se připouští čelní trhliny, přičemž součet jejich délek na obou koncích nesmí přesáhnout 40 mm.

Odklon vláken – u rezonančního dřeva se toleruje pouze malá točitost doleva (maximálně 3-4 cm/bm). Zůstane-li strom do stáří levotočivý, je dobře štípatelný.

Křemenitost – vzniká reakcí na působící jednosměrné namáhání stromu. Projevuje se rozšířením letního dřeva v letokruhu a tím i jeho celkovým zesílením, což má za následek excentrický růst stromu. Křemenité dřevo má horší vlastnosti a pro výrobu hudebních nástrojů se nepřipouští.

Smolníky – jsou dovoleny u rezonančního řeziva do velikosti 30 mm bez omezení počtu, nad tuto hodnotu jen 2 kusy na 1 bm. U desek klávesových nástrojů se připouští 1 kus na přířezu, když není delší než 30 mm a u tangenciálních přířezů pokud nemá hloubku větší než 3 mm.

Poškození houbami – z ohledem na estetické nároky, stejně jako na funkci rezonančního řeziva se poškození houbami nepřipouští. U desek klávesových nástrojů se u přířezů o délce 450 mm připouští mírné zamodránání na jedné straně, na druhé straně od jedné čelní hrany v délce 150 mm (pod obložení) se připouští bez omezení. Zamodránání však nesmí procházet celou tloušťkou přířezu.

Poškození hmyzem – pro rezonanční dřevo se tento druh poškození nepřipouští.
(Regináč, 1988)

3.3.3 Doba kácení, způsoby uskladnění a sušení dřeva

Všeobecně se pro výrobu rezonančního dřeva předepisuje zimní kácení. V létě se kmeny pouze vyznačí. Pokácené dřevo se nechá vždy v kůře a je třeba ho odvézt ihned nebo nejpozději v březnu.

Ne všichni autoři se však v tomto ohledu shodují. Frohlich (*in* Ille, 1968) uvádí, že se v létě mají kmeny vybrat, prohlédnout, označit a do konce září skácet. Doporučuje tedy podzimní kácení.

Holzel (*in* Ille, 1968) také udává, že doba kácení není pro rezonanční účely lhostejná; poznamenává, že u letního kácení lze poškození dřeva snížit, ponechají-li se kmeny s korunou ležet na stráni dva až čtyři týdny. Přitom má koruna směřovat nahoru do svahu.

Pro výrobu rezonančních desek se vyžaduje dlouhodobé přirozené sušení 3, 5, 15 a více let a dokonalé dosušení na 6-7 % vlhkosti pro uchování dobrých zvukových vlastností dřeva.

Někteří houslaři poukazují na to, že je nejlépe nechat zrát dřevo, jak smrku, tak javoru nejméně 50 let. Tento úsudek podporuje šetření několika technologů dřeva, kteří uvádějí, že poměr oblastí krystalických k amorfním v buněčné struktuře vzrůstá se zráním dřeva. Amorfní materiály absorbují a ztrácejí vodu rychleji než krystalické materiály, z čehož vyplývá že dřevo zrající mnoho let je méně náchylné k nabírání vlhkosti (Hutchins, 1983).

U přirozeného sušení zůstávají celkem zachovány hygroskopické vlastnosti, pružnost a ohebnost. Praxe přiznává příznivý vliv slunečním paprskům pro ozvučné dřevo. Ultrafialové paprsky a příslušná část slunečních paprsků působí pouze povrchově. Vystavíme-li však čerstvé nebo proschlé dřevo při přirozeném sušení přímo slunci, snižují se jeho hygroskopické vlastnosti (sesychá a bobtná méně než dřevo ve stínu sušené). U nás můžeme vystavit rezonanční dřevo slunečním paprskům jen krátce, a proto se někdy doporučuje použít umělých ultrafialových paprsků (Ille, 1968).

Při umělém sušení se pro rezonanční dřevo připouští teplota maximálně do 60°C, vyšší teploty působí velmi nepříznivě. Dále rozhoduje i druh ohřevu, doba působení vyšších teplot, vlhkost sušeného dřeva, rozměry a hustota dřeva.

Vyššími teplotami se však dřevo po určité době stabilizuje, tj. snižuje se jeho navlhavost a dřevo dostává příjemný hnědý tón. Z uvedených důvodů se při zpracování rezonančního dřeva někdy užívá vyšších teplot.

S rezonančním dřevem úzce souvisí pojmy zrání a stárnutí dřeva. Tyto vlastnosti významně ovlivňují kvalitu rezonanční desky. Během sušení (zrání) ztrácí dřevo vodu (vlhkost), dále těkavý terpentýn a jiné látky. Dřevo se postupně dostává do rovnovážného stavu s vlhkostí prostředí (vyrovnává se napětí par ve dřevě a vzduchu) - nastává stav vlhkostní rovnováhy mezi

dřevem a prostředím. Dřevo si však po sebelepším přirozeném sušení uchovává svoje hygroskopické vlastnosti, nelze tedy mluvit o stabilitě.

Pojem zrání zahrnuje také proces obdobný zjadernění. U dřevin jako smrk nebo jedle jde o tvorbu vyzrálého dřeva. Po kácení stromu dochází k uzavření dvojteček tracheid především v jarním dřevě letokruhu (Obr. 3 a 4 na příloze V). Tuto změnu prodělává pouze běl smrku a jedle a má za následek ztrátu propustnosti pro vzduch a kapaliny.

Během dalšího (popř. dlouhodobého) uskladnění rezonančního dřeva (suchého na stav vlhkostní rovnováhy) - stárnutí - se vlhkost dřeva mění podle kolísající vlhkosti okolního vzduchu a při tom se zároveň vyrovnávají vnitřní napětí v různých vrstvách dřeva. Dochází k postupnému ustálení vlastností.

Na dřevo působí také světelné paprsky, které způsobují ztmavnutí (žloutnutí, hnědnutí) dřeva, což je praxí nejvíce ceněno jako následek stárnutí (Ille, 1968).

3.4 Další dřeviny používané při výrobě hudebních nástrojů

V poslední době se stále vzácnějším stává dřevo smrku liskovcového *Picea abies* forma *fissilis* (Hrivňák, 1996). Jako liskovec označujeme smrkové dřevo, ve kterém je průběh dřevních buněk vychýlený, což vytváří zvlněný letokruh. Na radiálním řezu jsou pouhým okem pozorovatelné lesklé prohloubeniny, které dělají dřevo vzhledově nápadnějším. Na příčném řezu jsou viditelné hranice letokruhů rovnoměrně zvlněné, čemuž odpovídá i zvlnění dřevních elementů na tangenciálním a radiálním řezu. Jestli má zvlnění vliv na fyzikálně – akustické vlastnosti však literatura neuvádí. Podle Hrivňáka (1996) použitelnost liskovcového smrku jako rezonančního vysvětluje těsné spletení vláken, takže při působení zvukových vln se nerozechvívají jen jednotlivá vlákna, ale chvěje se celá rezonanční deska anebo její větší část. Tento druh smrku by vyžadoval anatomicko mikroskopický rozbor, s návazným vyhodnocením fyzikálně – akustických vlastností z pohledu jeho využívání na rezonanční účely.

Kromě smrku je při výrobě hudebních nástrojů nepostradatelný javor. Na korpusy některých hudebních nástrojů (především smyčcových) se používá k výrobě spodní desky. Javor pro rezonanční účely roste stejně jako smrk v horských oblastech. Tradiční oblastí těžby je bývalá Jugoslávie (zvláště Makedonie).

Využívá se především javor horský (*Acer pseudoplatanus*), který má často ve spodní části výrazný fládr.

Nejlepší a nejvíce ceněný materiál poskytují kmeny se zvlněnými vlákny v podélném směru, kdy po rozřezání vzniká na radiální ploše zajímavá kresba. U některých houslí lze pozorovat na spodní desce pruhy jiného barevného odstínu. Zpracovávají se i poměrně krátké kmeny v délce 1 až 2 m, ale s průměrem nejméně 35 cm.

K výrobě hudebních nástrojů je rovněž potřeba i čisté bezsukaté kmeny javoru polního (*Acer campestre*), popřípadě jiného druhu javoru s bílým dřevem. Ten se využívá na výrobu kobylek, struníků a různých součástí pro klavíry.

Javor je už dávno vyhledávaný jako vzácná dřevina ve všech státech střední Evropy, v poslední době je ho však čím dál větší nedostatek (Hrivňák, 1996).

Jedle bělokorá (*Abies alba*) – je rozšířena ve střední a jihovýchodní Evropě. Dřevo jedle je velice podobné smrkovému, oproti němu má však plnodřevnější kmen a letokruhy mají širokou zónu letního dřeva. Dřevo je v průměru o něco lehčí (cca 0,4 g/cm³) a má horší tlumící schopnosti. Navíc je její zastoupení v našich porostech pouze okolo 1%. Z těchto důvodů je jedle mnohem méně často zpracovávána jako rezonanční dřevo ve srovnání se smrkem.

Dalším omezením pro zpracování na ozvučné účely jsou důvody estetické (dřevo je náchylné k zabarvení) a technické (nerovnoměrné vysychání).

Jedle se většinou používá na výrobu rezonančních desek nástrojů s nižším rozsahem frekvence, což oproti smrku není až takovou nevýhodou.

Z dalších druhů jedlí je využívána také jedle kavkazská (*Abies nordmanniana*), která je přibližně stejné kvality jako smrk (Richter, 1989).

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) – její dřevo je značně odlišné od smrku a jedle především zbarvením vyzrálé části dřeva (jádra). Dřevo je těžší (0,45 – 0,5 – 0,6 g/cm³) a obsahuje i více pryskyřice a z toho důvodu je pro výrobu rezonančních desek méně vhodné. Přesto se objevovali v 18. století jednotlivé případy, kdy italští a skotští houslaři vyráběli rezonanční desky z borového dřeva – pravděpodobně však pouze takové, na které nebyli příliš vysoké kvalitativní nároky.

Rovněž u nás bylo borové dřevo využíváno v sériové výrobě pro méně náročné hudební nástroje. Houslaři, kteří nevyrábí sériově však toto dřevo většinou odmítají (Richter, 1989).

Douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*) – přirozený areál rozšíření je na západním pobřeží severní Ameriky, do Evropy byla introdukována přibližně před 120 lety.

Dřevo douglasky je podobné borovému, běl je užší než u borovice, čerstvé jádro světlejší, později červenohnědé.

Ve spojení s širokými letokruhy, vysokým podílem letního dřeva (cca 30 – 40%) a vysokým obsahem pryskyřice, je patrné, že douglasky rostoucí v našich oblastech nesplňují kritéria pro výběr rezonančního dřeva, avšak v přirozeném areálu rozšíření (Amerika) rostou tyto dřeviny lepší kvality (jemnější letokruhy, menší podíl letního dřeva). Zvláště dřevo pocházející z Kanady (Britská Kolumbie) je v Anglii často používáno k výrobě rezonančních desek pro Spinety a Cembala (Richter, 1989).

King William Pine (*Athrotaxis selaginoides*) – je domovskou dřevinou v Tasmánii, nad 600 m.n.m.

Běl je světle hnědá, jádro je růžovohnědé. Letní dřevo je úzké, ale zřetelné, jednostraně ostře ohraničené; nemá pryskyřičné kanálky a má jemnou a stejnoměrnou texturu. Tato dřevina je příbuzná Tisovci (*Taxodium distichum*) a sekvoji (*Sequoia sempervirens*).

Australští výrobci hudebních nástrojů se již odedávna snaží vyrábět bicí a klávesové nástroje výhradně z domácích dřevin. Tato dřevina má stejnoměrné přírůstky, rovná vlákna a úzké letokruhy, dřevo je lehké (okolo 0,41 g/cm³), velmi dobře se obrábí a má zvláště dobré technické vlastnosti. V této oblasti se tedy z uvedených důvodů tato dřevina nejlépe osvědčila při nahrazování smrku a jsou jí připisovány velmi dobré rezonanční vlastnosti. Z důvodu malého areálu rozšíření a malých zásob má však oproti ostatním rezonančním dřevinám jenom malý význam (Richter, 1989).

Paulovnie plstnatá (*Paulownia tomentosa*) – patří do čeledi krtičníkovitých (*Scrophulariaceae*). Přirozeným areálem rozšíření je především východní Asie, hlavně Čína.

Její dřevo je velice lehké, pevné a má výborné rezonanční vlastnosti. Nejlepší rezonanční dřevo je z regionu Lankao, v provincii Henan v Číně. Region Lankao je blízko pouště a má suché klima ideální pro tyto stromy ([http://cs.wikipedia.org/wiki/Paulownia tomentosa](http://cs.wikipedia.org/wiki/Paulownia_tomentosa)).

Koa (*Acacia koa*) – strom s endemickým výskytem na Havaji, řadí se do početného rodu akácií. Má hnědé dřevo, které se vyznačuje barevností a atraktivní žíhanou barvou. Tyto stromy rostou v nadmořských výškách 100 až 2500 metrů. Použitelnost tohoto dřeva je tedy z uvedených důvodů velmi limitována. Koa se používá pouze u exkluzivních hudebních nástrojů, především kytar. Ve své domovině je toto dřevo používáno hlavně k výrobě typických havajských ukulele (<http://www.music-store.cz/novinky.asp>).

Z dalších exotických dřevin to jsou **Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)**, který se používá zejména k výrobě xylofonů, **Palisandr (*Dalbergia spruceana*)** rovněž výroba xylofonů, dále to jsou také **Granadillo (*Dalbergia cubilquitzensis*)**, **Wenge (*Nillettia laurentii*)** a **Eben (*Diospyros crassiflora*)** sloužící například k výrobě fléten, klarinetů, klavírů, hmatníků smyčcových nástrojů atd. (Richter, 1989).

4. Metody hodnocení rezonančních vlastností dřeva

4.1 Hodnocení podle akustické konstanty

Intenzitu vyzařování zvukové energie vyjadřuje akustická konstanta a je definována výrazem:

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}} = \frac{c}{\rho} \quad [\text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^4 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Kde E - je modul pružnosti v tahu $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}]$ c - je rychlost zvuku $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

ρ - je objemová hmotnost $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$.

Rezonanční materiál by měl mít co nejnižší hmotnost, aby intenzita kmitání byla co nejvyšší a zároveň vysokou tuhost, aby deska odolávala síle vyvolané napětím strun, z toho vyplývá vhodnost akustické konstanty pro hodnocení rezonančních vlastností dřeva. Výsledky měření uvedených veličin ukázaly, že rezonanční dřevo má mnohem vyšší akustickou konstantu než dřevo nerezonanční. Pro rezonanční dřevo platí, že nižším hodnotám objemové hmotnosti odpovídají vyšší hodnoty modulu pružnosti v tahu. Za rezonanční se považuje dřevo, jehož akustická konstanta $K > 12 [\text{m}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}]$. Akustická konstanta K je závislá na hustotě dřeva a modulu pružnosti a proto je výrazně ovlivňována zejména anatomicou stavbou (točitost vláken) a vnitřními napětími vzniklými během růstu a sušení dřeva. Vnitřní výsušné trhliny rezonanční vlastnosti dřeva výrazně snižují. Akustické konstanty některých dřevin jsou uvedeny v tab. 3 v příloze II.

Rezonanční vlastnosti dřeva mohou být také hodnoceny na základě měření modulu pružnosti ve smyku, který slouží ke stanovení rychlosti vyzařování příčných kmitů. Byly měřeny různé druhy dřevin (jedle, javor, dub, buk) a bylo zjištěno, že z hlediska fyzikálně akustických charakteristik je nejbližší jedlovému dřevu javor, akustická konstanta ostatních dřevin byla o něco nižší.

Akustickou konstantu můžeme získat měřením modulu pružnosti nebo také měřením rychlosti podélných zvukových vln, např. pomocí ultrazvuku. Objemovou hmotnost je potom možné zjistit u pravidelných pravoúhlých útvarů měřením podle (ČSN 49 0108) nebo měřením objemu vytlačené kapaliny u nepravidelných vzorků (Zelinger *et al.*, 1986).

Mistr houslař Ing. Zdeněk Frodl tvrdí, že je třeba vědět o fyzikálních vlastnostech dřeva co nejvíce a v praxi měří právě akustickou konstantu následujícím způsobem. Klíny (Obr. 5, 6, 7, 8 v příloze VI a VII), které jsou již nařezané si vybírá přímo na skladě. Pomocí přístroje změří čas za který projde ultrazvuk klínem tak že na jednom obroušeném čele přiloží vysílač, který vyšle ultrazvukový impuls do přijímače na druhé straně a čas si odečte na displeji. Tento čas se u

dobrých přířezů pohybuje mezi 60 – 65 mikrosekundami. Poté změří délku klínu a pomocí vztahu $c = l/t$ [m.s^{-1}] vypočítá rychlost zvuku ve dřevě. Klínek dále zváží (přesnost alespoň na dvě desetinná místa) a zjistí jeho objem pávě pomocí měření objemu vytlačené kapaliny. Dosazením do vztahu $\rho = m/V$ [kg.m^{-3}] pak získá objemovou hmotnost. Při zjišťování objemu tímto způsobem není chyba velká (pod 1%), u těchto klínů jsou čela zalitá právě kvůli navlhání a tudíž se moc vody nenasaje. Při provádění těchto měření je rovněž nutno znát vlhkost prostředí.

Dalším dosazením těchto veličin do vztahu $K = c/\rho$ [$\text{kg}^{-1}.\text{m}^4.\text{s}^{-1}$] získává akustickou konstantu. Frodl dále udává, že tato metoda je v praxi poměrně průkazná a občasné špatné výsledky přisuzuje logaritmickému dekrementu (4.2), který je v praxi obtížně měřitelný.

K posouzení akustických vlastností lze použít i měrného akustického odporu:

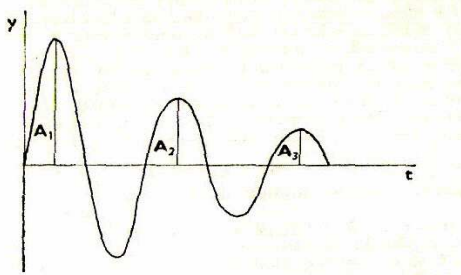
$$Z = c \cdot \rho \quad [\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}]$$

kde c – je rychlost zvuku [m.s^{-1}]

ρ - je objemová hmotnost dřeva [kg.m^{-3}] (Požgaj, 1993)

4.2 Hodnocení podle velikosti útlumu

Útlum je poměr dvou po sobě jdoucích výchylek kmitání na téže straně od rovnovážné polohy. Mírou útlumu je dekrement, tj. přirozený logaritmus útlumu (logaritmický dekrement), charakterizující zmíněný pokles amplitudy kmitů.



$$\text{Útlum} \dots b = \frac{A_1}{A_2} = \frac{A_2}{A_3} = \dots = \frac{A_n}{A_{n+1}}$$

kde $A_1, A_2, A_3, \dots$ jsou amplitudy sousedních výchylek

Logaritmický dekrement útlumu... $\delta = \ln b$

Lze použít také vztahy:

$$\delta = \frac{\pi}{\sqrt{3}} \cdot \frac{df}{fr}$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{df}{fr}$$

kde $\text{tg} \varphi$ je fázový úhel (tg úhlu ztrát) a k jejich výpočtu nám v případě rezonanční metody stačí znát hodnotu rezonanční frekvence – fr a šířku rezonanční křivky – df .

Útlum je také možné vyjádřit činitelem jakosti $Q^{-1} = \operatorname{tg}\varphi$.

Z celkové zvukové energie dopadající na rezonanční desku se část ztrácí, jako nevratná přeměna zvukové energie v tepelnou vnitřním třením v materiálu; část se šíří hmotou dále (kmitáním desky ve vzduchovém prostředí) a přitom se zvuková energie vyzařuje do okolního vzduchu a zároveň se kmitání tlumí (útlum chvění).

Protože se celkový útlum skládá z vnitřního tření a vyzařování zvukové energie do okolního vzduchu, je akustický užitečný účinný či akustický efekt (δ_3), uvedené vyzařování, které se vypočítá z rozdílu celkového útlumu (dekrement měřený na vzduchu - δ_1) a vnitřního tření (dekrement měřený ve vakuu - δ_2):

$$\delta_3 = \delta_1 - \delta_2$$

a představuje především zesílení a nosnost zvuku do dálky.

V literatuře je např. obecný údaj, že vyzařování zvuku u dřeva představuje desetiny (u aluminia setiny a u ocele tisíciny) celkového útlumu (Ille, 1974).

Na rozdíl od akustické konstanty je možné na základě hodnot tlumení dřeva posoudit propustnost jeho pórů. Výzkumy, které prováděl především Ille (1970) bylo prokázáno, že když jsou póry průchodné tlumení dřeva vzrůstá, ale zároveň se snižuje vnitřní tření. Uzavřené póry, které jsou vyplněné vzduchem, pohlcují chvění a zvyšují vnitřní tření.

Podle Kuchtíka (*in Zelinger et al.*, 1986) akustické vlastnosti dřeva, jako rychlost zvuku, akustická konstanta a tlumení, necharakterizují rezonančnost dřeva v plné šíři. Podle autora je prý velmi obtížné nalézt hlavní příčinu rezonančnosti dřeva. Pro výzkum akustických vlastností jsou vhodná měření dynamických mechanických vlastností při frekvencích vyšších než 1 Hz, přičemž jsou vhodnější metody nucených rezonančních kmitů. Podle Podobského (1970) je výzkum rezonančních vlastností dřeva žádoucí provádět statistickými metodami a při interpretaci výsledků je třeba počítat s tím, že ze zkoumaného souboru vzorků větší počet vyhovuje nalezeným korelacím a menší počet nevyhovuje. Dále uvádí, že veličiny kterými lze objektivně posoudit rezonanční vlastnosti jsou objemová hmotnost, modul pružnosti, rezonanční frekvence, tlumení a amplituda kmitání.

5. Závislost akustického efektu na stáří, makrostruktuře a propustnosti dřeva.

Podle Illeho (1974) lze těžko z jednotlivých laboratorních zkoušek vlastností samotného dřeva činit závěry pro praxi, a proto uvádí srovnání s obdobnými údaji literatury, které potvrzují nebo odporují určitým závěrům.

5.1 Makrostruktura starých smrkových kmenů

U starých smrkových kmenů, s nimiž se setkáváme u rezonančního dřeva, stoupá podíl letního dřeva od širších letokruhů (od dřeně směrem ke kůře) do šířky letokruhů 1 až 2 mm a pak klesá. Tím se liší struktura dřeva těsně pod kůrou. Rozsah šíře letokruhů 1 až 2 mm je právě pro výrobu houslí běžný. Nepřihlíží-li se u rezonančního dřeva smrku k této základní závislosti, zastírají se tím často důležité vztahy (Ille, 1974).

Dále se prokázala známá, přímá a velmi významná závislost mezi podílem letního dřeva a hmotností (Ille, 1974).

Rovněž Blossfeld (1967) našel u starých smrkových kmenů stoupající hmotu od širokých letokruhů až do šíře letokruhů 1 až 2 mm a dále klesající. Také Zieger (1960) uvádí, že vliv stáří dřeva, tj. postavení od kůry, je dvakrát větší než vliv šíře letokruhů. V neposlední řadě Vanin (1950) ukazuje, že stářím smrkového dřeva dochází k poklesu hmotnosti (*in* Ille, 1974).

5.2 Významné závislosti akustického efektu u běli propustné (těsně pod kůrou)

Výběr rezonančního dřeva je prováděn nejjednodušším způsobem podle jeho makrostruktury, tj. šíře letokruhů a podílu letního dřeva.

U dřeva těsně pod kůrou, tj. u běli propustné s průměrnou šíří letokruhů 1,5 až 1,7 mm závisí akustický efekt (zesílení zvuku) nepřímo a významně ($\alpha = 0,05$) na šíři letokruhů a na vnitřním tření, dále na podílu letního dřeva a objemové hmotnosti. (Ille, 1974).

To znamená, že se u propustné běli těsně pod kůrou docílí vyšší zesílení zvuku u dřeva s užšími letokruhy při menším tření, dále u malého podílu letního dřeva a tím také menší hmotnosti. Toto jsou vesměs běžně uznávané požadavky kladené na rezonanční dřevo.

5.3 Významné závislosti akustického efektu u jádra (vyzrálého dřeva)

U jádra, které má v průměru poněkud širší letokruhy (kolem 2 mm), je akustický efekt závislý přímo a velmi významně ($\alpha = 0,01$) na celkovém útlumu (dekrement měřený na vzduchu). Celkový útlum zase závisí přímo a významně ($\alpha = 0,05$) na podílu letního dřeva letokruhu a také vnitřní tření (dekrement měřený ve vakuu) závisí přímo a významně na šíři letokruhů (Ille, 1974).

Burmester (1965) měřil rychlosti ultrazvuku u dřeva (borovice) a došel k obdobnému závěru. Našel závislost jednak mezi rychlostí zvuku na délce vláken (tj. v podstatě na šíři letokruhů), jednak na hmotě letního dřeva. Autor k tomu dodává, že obě závislosti mají význam a vysvětluje to tak, že délka vláken ovlivňuje čitatele a hmota jmenovatele v poměru E/ρ (při rychlosti zvuku), případně se mohou uvedené veličiny navzájem vyrovnávat.

Z uvedeného vyplývá, že úzké letokruhy s menším podílem letního dřeva (lehké a propustné dřevo) vedou ke snížení vnitřního tření a poněkud širší letokruhy s větším podílem letního dřeva (těžší dřevo jádra) k vyššímu celkovému útlumu.

6. Úpravy dřeva prováděné za účelem zlepšení jeho akustických vlastností

6.1 Chemické úpravy rezonančního dřeva

6.6.1 Ošetření dřeva vodou – klasické způsoby

Podle Illeho (1968) lze rozdělit pro lepší názornost způsoby sušení a zrání do tří skupin. Do první skupiny řadí dřevo pro běžné použití (stavební, konstrukční, letecké apod.). Smrková kulatina se na jaře včas odkorní z důvodu ochrany lesa i dřeva samotného. Po zpracování na pile se suší řezivo a přířezy přirozeně nebo uměle. Při tomto postupu se však nelze ubránit značnému zkornatění a především čelním a povrchovým trhlinám, a proto se takové dřevo pro rezonanční účely nehodí.

Do druhé skupiny se řadí přirozeně sušené rezonanční dřevo, kdy se kulatina (výřez) ponechá v kůře, aby nepopraskala, a musí být včas zpracována (rozštípána, rozřezána). Kůru je třeba odstranit až na lýko, aby dřevo nezmodralo; někdy je třeba dřevo ošetřit chemicky a čela chránit nátěrem proti praskání. Poté se přířezy suší ve vzdušných a krytých prostorech. Při tomto způsobu sušení dochází k většímu či menšímu kornatění, které lze dále snížit nebo odstranit během dalšího dlouhodobého skladování dřeva při jeho tzv. stárnutí. Ille (1968) dále tuto skupinu dělí do 3. stupňů:

1 stupeň – Dřevo se po rozřezání skladuje řadu let, aby se vyrovnaly napětí (kornatění) ve stále suchém prostředí. Tento postup trvá velmi dlouho.

2 stupeň – Dřevo, které bylo po desetiletí až staletí vystaveno stálému střídání sucha, vlhka a mrazu podle počasí. V tomto případě se předpokládá ustálení (stárnutí) dřeva rychlejší než v předešlém případě.

3 stupeň – Sem patří dřevo, které bylo po přirozeném sušení vystaveno delší dobu vodě, popřípadě dešti, nebo kropeno vodou a pak znovu sušeno. Zde se předpokládá nejrychlejší snížení nebo vyrovnání napětí ve dřevě.

Do třetí skupiny pak zařadil, právě jím pokusně sledované, primární ošetření čerstvého dřeva vodou.

Existují četné doklady o příznivém vlivu ošetření dřeva vodou, především máčením nebo plavením a mnozí autoři (Schwalbe 1938, Dvorszak 1952, Zálaha 1956) předpokládají takovéto ošetření z různých důvodů i u rezonančního dřeva.

Máčení dřeva ve vodě byl dříve běžný způsob ošetření, což uvádí četná literatura. V dřívějších dobách bylo také běžné letní kácení (Zálaha *in* Ille, 1968) a tento způsob ochrany dřeva před poškozením (zabarvením, hnilobou a trhlinami) byl účinný, levný a všude proveditelný. Po zavedení zimního kácení se dřevo snáze uchovalo a vlhké ošetření již nebylo bezpodmínečně nutné.

6.6.1.1 Vlivy ošetření

Příznivý vliv ošetření čerstvého dřeva spočívá především ve vyluhování. Za studena lze u malých vzorků dřeva vyluhovat třísloviny, hemicelulózy, cukry, barviva a organické soli; u kulatiny a řeziva (obecně materiálu větších dimenzí) jen omezeně z povrchových vrstev. Větší množství lze vyluhovat za teploty, popř. tlaku. Čerstvé dřevo se rovněž vyluhuje více a částečně dojde i k vyluhování pryskyřice (Trendelenburg *in* Ille, 1968).

Dalším příznivým vlivem je snížení a vyrovnání napětí ve dřevě (kornatění). Nastávají zde také významné změny v propustnosti běle smrku a jedle. V čerstvém stavu je běl u smrku a jedle dobře propustná, během sušení se však stává nepropustnou jak pro kapaliny, tak i pro plyny. Běl potom nabývá stejných vlastností jako vnitřní vyzrálé dřevo. Tyto změny nastávají během sušení již při poklesu vlhkosti na 60 – 70%. Při tomto procesu dochází k uzavírání dvojteček, a to jak při přirozeném tak i umělém sušení (Ille, 1968).

Uzavírání dvojteček nastává právě u těchto dvou dřevin, především v lehkém jarním dřevě a to se pak stává zvlášť nepropustné. U těchto dvou dřevin je sice běl poměrně úzká (jen asi 2 cm), ale právě tato část má prvořadý význam při výrobě rezonančních desek houslí na kterou Ille (1968) zaměřil svůj výzkum.

6.6.1.2 Vliv propustné běli (jarní části letokruhů) na akustický efekt

Ille (1974) pro přesné stanovení propustnosti jarní části letokruhu (jinak nejobtížněji propustné) použil zkušební tělíska, která byla napuštěna impregnačním olejem a podle zbarvení zjišťoval propustnost jarní zóny letokruhu (Příloha VIII). Na množství otevřených buněk dřeva lze poté usuzovat podle množství přijatého oleje. Olej byl použit proto, že proniká jen volnými otvory buněčných blan a nedifunduje přímo přes buněčné blány jako vodní roztoky.

Důraz kladený na propustnost právě jarní části letokruhu tkví v tom, že větší, tenkostěnné jarní buňky letokruhů se při kmitání lépe uplatňují než tlustostěnné buňky letního dřeva s malými a ojedinělými póry, i když zůstávají propustnější, jejich vliv nikde nevyniká. Naproti tomu jádro s širší letní zónou (třeba i propustnější), ale hlavně větší hmotou, zvyšuje celkový útlum a tím i akustický efekt.

Položí-li se pro vzájemné srovnání u nepropustného jádra v jarní části letokruhu příjem oleje 100%, je u nepropustné běli o něco větší 150% a u propustné běli po ošetření vodou 400%.

V propustné běli v jarní části letokruhu se zjistila přímá a významná závislost ($\alpha = 0,05$) akustického efektu na zvýšené propustnosti podle přijatého množství oleje. Tím se prokázala akustická vlastnost u propustné běli smrku po ošetření vodou (Ille, 1974).

Pokusy provedené Illem (1974) poukazují také na vliv růstových látek auxinové povahy z podkorního pletiva (kambia). Uvedené látky působí buď přímo při kácení letním (v době mízy) u výřezů ponechaných v kůře nebo na jaře po zimním kácení při obnově mízy, a to i u výřezů ponechaných v kůře, ale bez listů a pupenů. Tímto způsobem se dá také vysvětlit v literatuře uváděná často nejceněnější kvalita rezonančního dřeva z vývrátů pralesa, ležících ve vlhké trávě a ve stínu celou řadu let (Svoboda *in* Ille, 1974).

U dřeva je důležité a významné jeho první ovlivnění a to ještě čerstvých výřezů. Čerstvé dřevo je poměrně plastické a rychle během sušení i velmi pozvolného, mění své vlastnosti. Odpařováním vody nastává přibližování či svazování fibril celulózy v buněčných stěnách a tím se uzavírá nejjemnější kapilární systém a mění se jeho hygroskopické (sorbní) vlastnosti. Popřípadě přitom vzniká ještě vnitřní napětí či kornatění dřeva podle výše teploty a rychlosti sušení. U smrku a jedle dochází, jak bylo výše uvedeno, k uzavírání jemných pórů buněčných stěn (dvojteček) v jarní části letokruhu běli.

U jádra tento proces proběhl již za života stromu, kdy jednotlivé letokruhy postupně končí vedení vody z kořenů do koruny.

Podle Illeho (1968) může tedy zvýšená propustnost zvláště jarního dřeva běli s volnými dvojtečkami, popř. i volnější stavbou stěn buněčných, dále dřevo nezkornatělé a ještě částečně vyluhované, příznivě ovlivnit vlastnosti rezonanční desky.

Příznivé zvukové vlastnosti lze očekávat zejména proto, že pohybu zvuku nebrání protitlak vzduchu, který je uzavřen v tracheidách pokud jsou dvojtečky uzavřeny.

U rezonančního dřeva bychom tedy měli znát nejen původ a rok kácení, ale i roční dobu těžby, způsob uskladnění a ošetření především brzy po kácení.

6.6.2 Úpravy dřeva chemickými látkami – moderní způsoby

Do těchto úprav patří moderní způsoby ošetření jakými jsou petrifikace, impregnace atd. Jsou to metody, které byly prováděny pouze experimentálně a nenašli zatím, přes mnohé kladné výsledky, širší praktické uplatnění.

Dřevo podléhá chemickým a fyzikálním změnám a to ve větším nebo menším rozsahu a v závislosti na podmínkách prakticky neustále. Nejdůležitější a největší změny probíhají do prvních několika let od pokácení a ošetření nebo neošetření dřeva v tomto období.

6.6.2.1 Petrifikace (zkameňování)

Sacconi (*in Zelinger et al.*, 1986) si při opravách starých cremonských nástrojů všiml, že neztrácí svůj zvuk i přes značné poškození laku, přičemž většina badatelů se věnovala právě lakům, kterým byl přisuzován velký vliv na konečný zvuk nástroje. Pod lakem přitom zůstávala skořicově zbarvená substance, kterou bylo dřevo napuštěno. Chemickou analýzou preparační substance nanesené na nástrojích se zjistilo pozoruhodné množství křemíku a „všechny složky potaše“.

Dřevo pro housle bylo preparováno nějakou rozpustnou formou silikátu. Tato tzv. silifikace probíhá i volně v přírodě při zkameňování (petrifikaci) dřeva. Dochází k němu nejčastěji ponořením čerstvého dřeva do vody obsahující minerální usazeniny nebo pohřbením do vulkanického popele (*Zelinger et al.*, 1986).

Tato nerozpustná a trvanlivá preparace vedla ke zpevnění a homogenizaci dřeva díky rozdílné nasákavosti podél a napříč vláken. Tento proces způsoboval, že dřevo mělo vyšší modul pružnosti a zvýšenou schopnost vibrace, což umožnilo snížit tloušťku houslových desek a zlepšit kvalitu tónu. Petrifikace působí také proti poškození vláken vibracemi, což má vliv na trvanlivost dřeva. Kromě toho tato úprava bránila nasáknutí laku do dřeva a zároveň vytvářela jakési reflexní pozadí pro jinak průsvitný lak. V neposlední řadě měla preparace i funkci ochrannou – proti vnějším vlivům, a stabilizační – proti vnitřním změnám (*Zelinger et al.*, 1986).

Podle Illeho (1974) byla v dřívějších dobách prováděna úprava dřeva pravděpodobně plavením ve vodě bohaté na minerály. Bylo dosaženo jednak propustnosti bělového dřeva a také byl analýzou zjištěn vysoký obsah Ca a Mg (1,28% - 1,62% v popelu, přičemž normální obsah je

0,18 – 0,45%); napodobujícími pokusy se však nepodařilo k takovýmto výsledkům dojít. Otázkou zůstává, zda se tyto látky mohli dostat do dřeva již při růstu stromu, například na minerálně bohatých půdách.

Petrifikované dřevo je tedy oproti dřevu obvyčnému pevnější, tvrdší, odolnější vůči vlhkosti a biotickým škůdcům, vypadá lépe a je kontrastnější v kresbě (Nagyvary *in* Zelinger *et al.*, 1986).

Tohoto si povšimli již velmi dávno výrobci nábytku, kteří používali částečně zkamenělé dřevo. Lze tedy předpokládat, že houslaři využívali stejné dřevo. Takovéto dřevo však není běžně dostupné a tak již velmi dávno badatelé pátrali po metodách, jak tuto úpravu provádět uměle.

Barghoorn (*in* Zelinger *et al.*, 1986) publikoval poměrně rozsáhlou a podrobnou studii o petrifikaci dřeva. Jako petrifikační činidlo použil ethylsilikát (tetraethoxysilan), což je na rozdíl od látek které používali ostatní autoři (silikátový gel, bentonit, vulkanický popel atd.), chemická sloučenina definovaného složení a vlastností. Jeho práce je věnována úplné petrifikaci s využitím vakuové impregnace. Tento postup je pro úpravy houslových desek nevhodný, ale změnou některých podmínek by se mohl stát použitelným.

Ve své práci uvádí, že oligomerní kyselina křemičitá je ve vodě ještě rozpustná a je tedy nejpravděpodobnějším činidlem, a to i v přírodních procesech. V této formě se pak dostává do dřeva, kde chemisorbuje přes vodíkové můstky na početných hydroxylových skupinách obou hlavních složek dřeva – ligninu a celulózy. Polymerní kyselina křemičitá pak dále ztrácí vodu a přechází postupně z gelu oxidu křemičitého na amorfní SiO₂.

Jedním z hlavních úkolů petrifikace dřeva je tedy vhodným způsobem zvýšit jeho modul pružnosti, což pak dovolí snížit tloušťku desek, které se snáze rozkmitávají a housle získají silnější zvuk (Zelinger *et al.*, 1986).

6.6.2.2 Impregnace dřeva roztoky polymerů

V dnešní době je velké množství syntetických polymerních materiálů a tak se vedle klasických petrifikací naskýtají další možnosti zvyšování modulu pružnosti rezonančního dřeva chemickou cestou. Pro impregnaci dřeva roztoky polymerů nebo polymeraci vhodných monomerů přímo ve dřevě vyhovuje jen několik typů polymerů (polyesterové a epoxidové pryskyřice, polymery a kopolymery esterů kyseliny akrylové a methakrylové, případně polyacetalu). Tyto metody našly zatím uplatnění v konzervátorské a restaurátorské praxi (Zelinger *et al.*, 1981) a při přípravě kombinovaných materiálů dřevo – polymer (Pultar *et al.*, 1969).

Všeobecné základní požadavky aplikace polymerů:

- 1) Použitý polymer musí výrazně zvyšovat modul pružnosti dřeva a pouze málo zvyšovat jeho objemovou hmotnost
 - 2) Postup se musí volit tak, aby buněčné dutiny zůstaly nevyplněny
 - 3) V případě roztoku polymeru musí být voleno takové rozpouštědlo, které snadno vyprchá a nenarušuje dřevo
 - 4) V případě polymerace ve dřevě nesmí výchozí monomer narušovat dřevo
 - 5) Na impregnovaném povrchu by se neměla vytvářet krusta polymeru
- (Zelinger et al., 1986)

6.6.2.3 Úprava dřeva extrakcí toluenem

Při této experimentální metodě byla prováděna úprava těles rezonančního smrkového dřeva za účelem extrakce pryskyřice a jako extrakční činidlo byl použit toluen. Úprava dřeva byla provedena třemi způsoby – extrakce provedená máčením těles v toluenu, máčením těles v toluenu v ultrazvukovém poli za atmosférického tlaku a máčením těles v toluenu v ultrazvukovém poli za zvýšeného tlaku.

Je známo, že aktivní působení ultrazvukové energie s vysokými intenzitami (nad $0,3 \cdot 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$) vyvolává v kapalinách mnoho zajímavých účinků a procesů, které mohou být technologicky využity (Figura in Marčok, 1995). Účinky ultrazvuku (kavitace, difúzní účinky, kapilární účinky a akustické proudění) je možné využít i k přenosu kapalin ve dřevě (Marčok, 1987). S toho Marčok (1995) usuzuje, že intenzivní ultrazvuk může mít vliv na urychlení difúzních extrakčních procesů ve dřevě. Schéma použité aparatury je na obrázku:

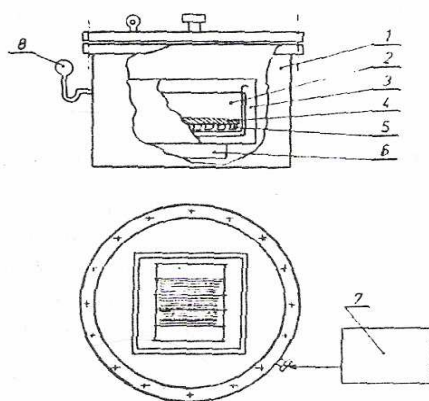


Schéma ultrazvukové aparatury na úpravu rezonančního dřeva extrakcí v toluenu v ultrazvukovém poli

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| 1 - tlaková nádoba | 5 - zkušební tělesa |
| 2 - skleněná nádoba | 6 - ultrazvukový zářič |
| 3 - kovová vana | 7 - ultrazvukový generátor |
| 4 - závaží | 8 - tlakoměr |

Cílem bylo zjištění vlivu této chemické úpravy na tradiční fyzikálně – akustické vlastnosti rezonančního dřeva smrku (hustota, modul pružnosti, rychlost šíření zvukových vln, akustická konstanta a logaritmický dekrement útlumu). Podle Marčoka (1995) lze konstatovat že:

- extrakce této dřeviny v toluenu snižuje jeho hustotu a zvyšuje její modul pružnosti, rychlost šíření zvukových vln a akustickou konstantu u všech třech způsobů úpravy,
- akustická konstanta roste s časem extrakce, přičemž nejvyšší hodnoty byli pozorovány při působení ultrazvuku za zvýšeného tlaku,
- logaritmický dekrement útlumu se u všech třech úprav a v závislosti na čase extrakce projevil různě, přičemž procentuální změny této veličiny byli v porovnání s ostatními fyzikálně – akustickými vlastnostmi nejvýraznější při všech způsobech.

Průměrné hodnoty fyzikálně – akustických vlastností rezonančního smrkového dřeva jsou uvedeny v tabulce 4 na příloze II.

6.2 Tepelné úpravy rezonančního dřeva

Tepelná úprava rezonančního dřeva je založena rovněž na odstranění pryskyřice ze dřeva, a to jejím odpařením ve vakuové peci. Obsah pryskyřice ve dřevě značně tlumí akustické kmity což způsobuje, že dřevo s vyšším obsahem pryskyřice má horší akustické vlastnosti.

Tyto úpravy rezonančního dřeva však nejsou dosud dostatečně prozkoumané, jsou ve stádiu experimentů a nemají pro praxi velký význam (Marčok 1995).

7. Povrchové úpravy rezonančního dřeva

Pokud se v literatuře pojednává o povrchových úpravách rezonančního dřeva, pak se to téměř vždy týká smyčcových nástrojů. Důvodem je především skutečnost, že při povrchové úpravě smyčcových nástrojů je celý postup velmi náročný na práci i materiály a je dodnes zdrojem často protichůdných názorů a informací.

Lakování lze charakterizovat jako souhrn dílčích operací, následujících v určitém (částečně variabilním) sledu. Výsledná kvalita poté závisí na pečlivém provedení jednotlivých fází.

Vedle funkce ochranné (vůči vlivům fyzikální i chemické povahy) a estetické má povrchová úprava rovněž i určitý vliv na fyzikálně akustické vlastnosti rezonančního systému – hotových houslí. Odhad vlivu povrchových úprav je velmi obtížný. Z materiálového hlediska používáním přírodních surovin značně proměnlivých vlastností, z fyzikálního hlediska komplikovanou povahou vibrací a po stránce matematické (rozměrové) složitým tvarem houslí (nástrojů). Z důvodu toho, že se účinky povrchových úprav projevují komplexně, nelze je

jednotlivě uspokojivě popsat. Lze však předpokládat, že lak, stejně jako každá další složka vibrujícího systému se projevuje takovými účinky, které korespondují s hmotou, tuhostí a vnitřním třením (tlumením). (Štefcová, 1988).

7.1 Staré italské houslové laky

Ideálem dokonalé povrchové úpravy (lakování) smyčcových nástrojů, především houslí byly a až do dnešní doby jsou staré nástroje z období klasické periody italského houslařství.

Historie výroby laků je poměrně dlouhá a v období let 1550-1750 bylo jejich používání běžné především v Cremoně, ale byly rozšířeny i do Padovy, Benátek, Říma a Neapole, takže se nelze domnívat, že výroba laků byla nějakým tajemstvím. Postupem času bylo však použití olejových laků postupně opuštěno a důvodem bylo především zavádění nových a snadnějších metod rozpouštění pryskyřic alkoholem. Tyto metody splňovaly podmínky, které houslaři žádali – tj. možnost lakovat výrobky rychleji a bez obtíží se schnutím laku. Tato příčina spolu se ztrátou prosperity církve v Itálii ve spojení s velkým počtem tehdy existujících výborných nástrojů vedla k postupnému opuštění tohoto starého italského laku.

Tímto problémem se velice podrobně zabýval Mailand (*in* Štefcová, 1988), jehož hlavním přínosem byla především kompilace formulí a předpisů publikovaných v Itálii během uvedených dvou století. Nověji potom Sacconi (*in* Štefcová, 1988) popsal charakteristické vlastnosti cremonského laku takto:

- je to substance, která nástroj nedusí, nenapadá preparační vrstvu a drží na ní díky ukotvení v pórech, nikoliv díky průniku nebo prostupu;
- je křehký a jemný, při nárazech se velmi snadno drobí;
- je řídký a porézní, takže dovoluje průchod oleje a zadržuje špínu;
- je poddajný a citlivý na teplo;
- vykazuje měkký, tučný lesk, kterého nabývá třením;
- bez barviv má jantarovou barvu;
- je transparentní, takže propouští světlo, které se pak odráží od základu

7.2 Přírodní suroviny pro přípravu houslových laků

Každý lakový systém je směsí mnoha látek různých vlastností. Při přípravě kvalitního laku je nutné znát alespoň částečně vlastnosti použitých materiálů a surovin. Výsledný efekt celého postupu lakování je podmíněn charakteristickými vlastnostmi, čistotou ale i zvláštnostmi jednotlivých komponent laku.

Základními surovinami pro přípravu laků k povrchovým úpravám rezonančního dřeva jsou doposud především přírodní látky (pryskyřice, balzámy, oleje, gumy, barvivo aj.). Z chemického hlediska to jsou většinou složité směsi a přesný popis těchto materiálů z hlediska chemické struktury zde není možný.

Balzámy – husté, silně lepivé tekutiny, které vznikají v mnoha rostlinách pryskyřičnatěním silic, zvláště jejich terpenových částí. Balzámy obsahují těkavou část, tvořenou terpentýnovou silicí a pevnou, pryskyřičnatou část. Patří sem benátský balzám, štrasburský balzám, kanadský balzám, kafr aj.

Přírodní pryskyřice – převážnou většinou vznikají z balzámů samovolným odpařením silic, oxidací a polymerací. Jsou to látky amorfnní, sklovité, které při zahřívání měknou a tají. Ve vodě jsou nerozpustné, zatímco v organických rozpouštědlech bobtnají nebo se rozpouští.

Rozlišují se pryskyřice recentní ze stromů živých (mastix, damara, sandarak, měkké kopály) a pryskyřice fosilní (některé druhy kopálů, jantar). Kromě rostlinných existuje i pryskyřice živočišného původu (šelak). Měkké pryskyřice (kalafuna, mastix, damara, sandarak, šelak aj.) samy o sobě neodolávají atmosférické vlhkosti, rozpadají se a časem žloutnou. Tvrdé pryskyřice (jantar, tvrdé kopály) jsou stálejší, nesnadno se rozpouštějí a jejich použití k přípravě laků je proto omezené. Mezi méně známé pryskyřice používané k přípravě laků patří benzoe, anime, bílý jantar = gummi animi, gumilak = gummi laceae a dračí krev.

Rostlinné oleje – ovlivňují mechanické a optické vlastnosti barevného filmu. Tyto látky podléhají v největší míře vlivům přirozeného stárnutí i vlivům okolního prostředí. O rychlosti vysychání (polymeraci iniciované vzdušným kyslíkem) a schopnosti tvořit pevný film rozhoduje tzv. stupeň nenasycenosti, jehož měřítkem je tzv. jodové číslo. Podle jeho hodnot se oleje dělí do tří skupin: 1) rychle vysychavé oleje (např. lněný olej),

2) pomalu vysychavé oleje (makový a ořechový olej)

3) nevysychavé oleje (olivový a ricinový olej)

Při přípravě laků k povrchovým úpravám rezonančního dřeva je nutné rozlišovat mezi přirozeným lněným olejem, lněným olejem zahuštěným, oxidovaným lněným olejem a vařeným lněným olejem (fermež), protože vlastnosti těchto olejů se poněkud liší a proto i jejich použití je různé. Jsou používány také makový, ořechový nebo ricinový olej.

Éterické oleje – používají se pro zpomalení schnutí olejových vrstev; při přípravě laku slouží ke zlepšení elasticity nebo k rozpouštění přírodních barviv. Mezi nejčastěji používané patří rozmarýnový olej, hřebíčkový olej, levandulový olej, spikol, eukalyptový olej, terpentýnový olej.

Polysacharidy a sacharidy – pomocné látky k modifikaci výsledných vlastností laku; někdy příprava specifických vrstev před aplikací vlastního laku. Nejpoužívanější jsou třeshňová guma, arabská guma, tragant a med.

Vosky – pevné látky chemicky neaktivní, na rozdíl od olejů stálější, nežluknou, nežloutnou a nepryskyřičnatí. Používají se karnaubský vosk, japonský vosk a včelí vosk, který je mimořádně stálý a má mnohostranné použití.

Proteiny – mají charakter vysokomolekulárních látek převážně živočišného původu. Při povrchových úpravách rezonančního dřeva nachází uplatnění želatina, klíh, kasein a vaječný bílek.

Rozpouštědla – používají se éterické oleje (silice) a rozpouštědla s nízkým bodem varu – alkoholy a éthery.

Sikativa – urychlují vysychání olejových laků. Patří sem různé sloučeniny olova, kobaltu, manganu a zinku. Tyto látky způsobují určitou barevnou změnu oleje.

Anorganické látky – největší význam a uplatnění má kamenec (síran) draselnohlinitý – $Ka(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

Přírodní barviva a pigmenty – při povrchových úpravách rezonančního dřeva byly dlouho jedinými známými a používanými barvivy různé barevné šťávy, výtažky a výměšky. Pro přípravu laků je účelné dělit přírodní barviva a pigmenty z hlediska jejich barvy.

Přírodní žlutá barviva a pigmenty: reseda barvířská, gumigutta, kurkuma, šafrán (pravý), orleán.

Přírodní červená barviva a pigmenty: mořena barvířská, orseille, různé druhy červených dřev aj.

Přírodní oranžová a hnědá barviva a pigmenty: černý ořešák, aloe, hena, hnědé katechu. (Štefcová, 1988)

7.3 Povrchová úprava rezonančního dřeva houslí

Povrchová úprava rezonančního dřeva houslí je náročnou a složitou operací. Výsledné vlastnosti závisí nejenom na kvalitě použitých lakových systémů v jednotlivých fázích úpravy, ale také na vlastnostech rezonančního dřeva samotného a pečlivém provedení všech dílčích operací (broušení, nanášení jednotlivých vrstev, leštění apod.).

Těkavé lihové laky – vznikají rozpuštěním pryskyřic v ethylalkoholu. Tyto laky rychle schnou. Po nanesení a odpaření rozpouštědla tvoří lesklý a nelepivý film, který je však křehký, snadno rozpustný a rychle praská. Jeho pružnost lze zvýšit přidáním malého množství změkčovadla (ricinový olej, benátský balzám).

Těkavé laky připravené s použitím éterických olejů (silic) – vznikají rozpuštěním přírodních pryskyřic v éterických olejích (silicích). Rychle schnou, po nanesení tenké vrstvy,

tvoří po odpaření rozpouštědel lesklý, křehký a měkký film, který rychle stárne a jemně praská. Pružnost lze zvýšit opět přídavkem změkčovadel (polymerovaný lněný olej, včelí vosk aj.)

Olejoprskyřičné laky – vznikají kombinací přírodních pryskyřic s vysychavými oleji, film je po vyschnutí tvrdý, pružný a dobře odolává atmosférickým vlivům. Tyto laky mají obvykle světle žlutou až nahnědlou barvu a jsou husté. Před nanášením se ředí terpentýnovou silicí. Po odpaření ředidla vrstva laku nejprve zhoustne na silně lepivý film, který dále tuhne oxidačně polymerační reakcí. Na schnutí působí kladně také sucho a teplo či přiměřené množství sikativ. Výsledné vlastnosti závisí do značné míry na vzájemném poměru a jakosti jednotlivých komponent. Dělí se na laky mastné (1,5 až 2 díly oleje na 1 díl pryskyřice), suché (0,6 dílů oleje na 1 díl pryskyřice), případně polomastné (stejný podíl pryskyřice i oleje) (Štefcová, 1988).

7.4 Vliv povrchových úprav na akustické vlastnosti rezonančního dřeva

V praxi lze k měření využít přístroje pro měření komplexního modulu. Měření fyzikálně akustických parametrů (akustické konstanty, logaritmického dekrementu útlumu) je prováděno na vzorcích rezonančního dřeva bez laku a s lakem. Zjištěné rozdíly ve velikosti sledovaných parametrů slouží k posuzování vlivu povrchových úprav na vlastnosti rezonančního dřeva. (Štefcová, 1988)

Štefcová (1988) v závěru své práce uvádí, “Je zřejmé, že studium povrchových úprav rezonančního dřeva je nutno chápat jako součást komplexního studia vlivu chemických a povrchových úprav, které jsou zcela nepochybně vzájemně propojeny“. Dále uvádí, že preparace dřeva a zvýšení modulu umožní snížení tloušťky desek, což se projeví zvýšením vyzařované energie a pravděpodobně i delším dozníváním. Naopak lak bude mít účinek opačný, který se projeví větším útlumem (rychlejším dozníváním). Celkové ovlivnění akustiky houslí by pak bylo jakousi „optimalizací“ obou protichůdných úprav – petrifikace dřeva a lakování.

8. Strunné hudební nástroje a rezonanční deska

Strunné hudební nástroje mají vždy rezonanční desku nebo skříň ze dřeva. Dělí se podle vibrátoru, tj. podle kmitající části (strun), podle generátoru, který dodává potřebnou energii k rozkmitání vibrátoru (smyčec, kladívková nebo drnkací mechanika), a podle amplifikátoru, který zesiluje kmitavou energii na dostačující hodnotu akustického výkonu (rezonanční deska nebo skříň). Strunné hudební nástroje jsou tedy soustavou dvou akustických systémů, z nichž jeden z nich je zdrojem zvuku (struny) a druhý zvukovým zářičem (rezonanční deska). Do této skupiny nástrojů patří smyčcové hudební nástroje (housle, cello aj.), klávesové s kladívkovou mechanikou (piana a pianina) a drnkací nástroje (např. mandolína, kytara, cembalo, cimbál aj.).

Jakost strunných nástrojů závisí do značné míry na jakosti rezonanční desky a její kvalita zase na výchozím materiálu a na vzájemných vztazích mezi strukturou dřeva, konstrukcí, popřípadě lakem.

Stavba rezonančních desek pro různé nástroje se od sebe liší a proto je nutné posuzovat je v detailech odděleně. Dřevěná rezonanční skříň smyčcových hudebních nástrojů musí být velmi pečlivě vypracována a musí se dodržovat tvarové, konstrukční a rozměrové prvky především se zřetelem na kvalitu dřeva a také vžitou tradici.

Vlastní rezonanční deska u smyčcových nástrojů (horní deska), se skládá ze dvou částí rozpůlením jednoho klínu tak, aby se hustá léta obvodové části kmene dotýkala a byla uprostřed rezonanční desky (pod kobylkou) mezi zvukovými průřezy („efy“).

Rezonanční deska klavíru se skládá z řady rezonančních přířezů (prkének či dlah), která jsou vedle sebe uložena a tvoří jedinou desku. Musí být proto pokud možno z jednoho kmene s pravidelnými a stejnoměrnými letokruhy.

Dalším rozdílem mezi rezonanční deskou klavíru a houslí je to, že u houslí (cell aj.) se využívá hustých letokruhů pod kůrou (bělové části dřeva), která tvoří právě střed rezonanční desky. Zatímco u rezonanční desky klavíru, sestavené z celé řady dlah, se kladou a navazují na sebe dlahy stejnoměrné hustoty letokruhů. Nezapadají sem nejhustší bělové letokruhy ani širší letokruhy vnitřního (jádrového) dřeva a proto se tyto části odstraňují.

Odlišné jsou také drnkací (trsací) hudební nástroje od smyčcových. Otvor je u těchto nástrojů kruhový a je umístěn uprostřed rezonanční desky. Goebel (*in* Ille, 1968) udává, že horní deska mandolín se klíží tak, aby uprostřed byli širší letokruhy než na okraji. Chvění desky je tedy jinak rozloženo a je zde rovněž vítáno určité doznívání pro jemnost tónu. Naopak u smyčcových nástrojů by toto doznívání působilo rušivě a proto musí být rezonanční deska zvlášť silně tlumena.

Při výrobě rezonanční desky klavírů se postupně dociluje velkých úspěchů a na jejím zdokonalení se stále pracuje, zatímco při výrobě houslí, cell aj. bylo dosaženo vysoké zvukové, konstrukční i estetické dokonalosti starými italskými mistry 17. a 18. století a dokonce i v dnešní době velkého technického pokroku je velmi těžké se jen přiblížit parametrům nástrojů z tzv. klasického období cremonske školy, která je reprezentována jmény jako Amati, Stradivari nebo Guarneri. Z těchto důvodů byla velká část výzkumů věnována právě problematice výroby smyčcových nástrojů a sledována především rezonanční deska houslí (Obr.12 v příloze IX) (Ille, 1968).

8.1 Rezonanční deska pian

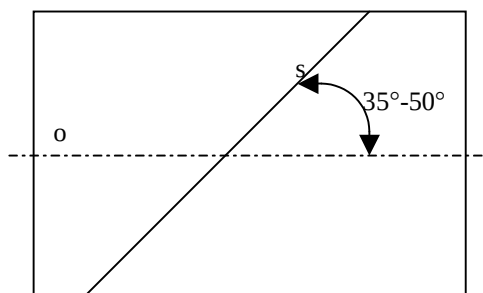
Jak již bylo v předchozím uvedeno patří piana mezi strunné hudební nástroje a zdrojem zvuku je tedy struna, kterou rozechvívá úder kladívka. Struna sama o sobě nemůže vyzařovat zvukovou energii a proto plní tuto funkci rezonanční deska, se kterou je struna spojena. Rezonanční deska má funkci nejen akustickou, ale také musí zaručit dostatečnou pevnost.

8.1.1 Konstrukce rezonanční desky piana

Podle výrobců i pro každou modelovou řadu pian se rozměry desky liší (např. piana značky PETROF jsou konstrukce definovány podnikovými normami: (17-89-01, 20-89-01, 21-89-01, 22-89-01, 23-89-01).

Poměr délky, šířky a tloušťky rezonanční desky jsou přibližně 150 : 100 : 1. Rezonanční deska je slepena z jednotlivých přířezů podle pravidel tvorby klasické spárovky ze dřeva, její tloušťka se pohybuje okolo 10 mm a je přibližně obdélníkového tvaru.

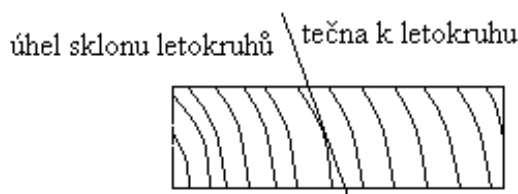
Jednotlivé konstrukce rezonančních desek se liší odklonem vláken od podélné osy rezonanční desky. Nejčastěji se užívá přibližně úhlopříčný směr.



o ... podélná osa rezonanční desky, s ... směr dřevních vláken

Obr. 13 Odklon dřevních vláken od podélné osy rezonanční desky

Samostatná rezonanční deska je s fyzikálního pohledu vlivem diagonálního uspořádání rezonančních přířezů a neradiálností použitých přířezů útvarem s obecně ortotropními vlastnostmi. Obecná ortotropie rezonanční desky je dána odklonem dřevních vláken od hrany desky a rozdílem mezi skutečným a ideálním úhlem (α ideál. = 90°) sklonu letokruhů radiálního řeziva (Podobský, 1978).



Obr. 14 Schéma měření úhlu sklonu letokruhů radiálního řezu

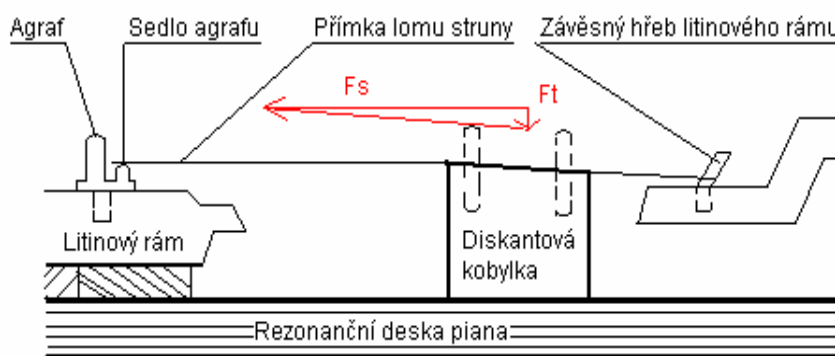
8.1.2 Základní požadované vlastnosti rezonanční desky

Základními požadovanými vlastnostmi výsledné rezonanční desky jsou mimo estetického hlediska i vysoká rezonanční schopnost a dostatečná konstrukční pevnost (Jenček, 2003).

Konstrukční požadavky

V pianě běžného typu je přibližně 220 strun. Každá struna je v nástroji natažena silou okolo $F_s = 800$ N. Struna je natažena od ladícího kolíku skrze agraf a přes vrchní plochu kobylky k závěsnému hřebu na litinovém rámu pianu. Vrchní plocha kobylky tak tvoří lomovou linii struny. Kobylky tak na rezonanční desku přenášejí tlakovou sílu strun. V pianářské praxi je velikost zalomení struny volena přibližně 3 %. Každá struna tak působí tlakovou silou na rezonanční desku přibližně $F_t = 24$ N. Součtová síla tahu strun a velikost zalomení struny na vrchní ploše kobylky tak udává celkové zatížení rezonanční desky tlakovou silou přibližně $F_t = 5000$ N (Podobský, 1978).

Rezonanční deska upevněná v nástroji je vystavena působení okolních klimatických podmínek. Změna těchto okolních klimatických podmínek způsobuje dodatečné bobtnání, popřípadě sesychání rezonanční desky. Tyto objemové změny jsou doprovázeny dodatečnými tlakovými i tahovými silami v průřezu desky, které jsou příčinou dodatečného zatížení rezonanční desky zabudované v nástroji. Před přímými účinky okolních klimatických podmínek částečně chrání rezonanční desku její povrchová úprava.



Obr. 15 Lom struny přes plochu diskantové kobylky

Z praktického hlediska je pro konstrukční odolnost rezonanční desky rozhodující její pevnost ve směru napříč vlákén – konkrétně ve směru radiálním, ve kterém vznikají trhliny v ploše rezonanční desky. V tomto směru je rizikovým faktorem pevnost lepených spojů i pevnost dřeva jednotlivých přířezů rezonanční desky.

Akustické požadavky

Rezananční deska je velmi důležitým akustickým systémem, který má za úkol přenášet vibrační energii strun do okolního prostoru.

8.2 Konstrukční parametry smyčcových nástrojů

Vlivy některých konstrukčních parametrů mohou být testovány současnými vědeckými metodami, zatímco ostatní jsou stále ještě příliš jemné pro běžné technologie k určování a měření.

Boky (luby) – podle interferometrického hologramu boky houslí význačně kmitají při určitých frekvencích. Boky o malé tloušťce budou kmitat snadněji a netříští se tak snadno jako tlusté. Rovněž se lépe tváří při stavbě boční struktury.

Sacconi (1962) udává, že boky houslí a violy by měli mít tloušťku přesně 1 mm kolem dokola, boky cella 1,5 mm a basy 2 mm.

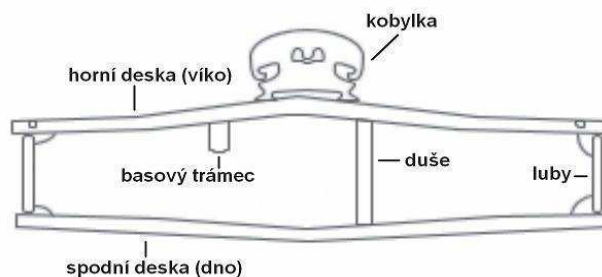
Stradivári někdy u svých čel vyráběl boky o tloušťce 1,3 mm a zesiloval je slabými proužky látky, které lepil zevnitř vertikálně v určitém intervalu.

Kontury klenutí – Extrémně důležité jsou hladké vyrovnané obrysy klenutí. Nerovné stupňovité klenutí zabraňuje vibracím a dokonce je občas zcela potlačí.

Tloušťkování desek – jestliže je tloušťkování nerovné a kostrbaté, tak ani vyhlazený povrch klenutí nevyústí do aktivních vibračních módů, což lze pozorovat na Chladniho obrazcích (tato metoda popsána dále).

Purfling (Bordura, opracování hran) – okraje desek jsou lemovány ozdobným vykládáním (tzv. výložkami), které kromě estetické funkce částečně chrání desky před naštipnutím (u levných modelů jsou výložky naznačeny pouze barvou). Sacconi (1962) uvádí, že vykládání se má do žlábků vkládat lehce a hladce (nenatloukat těsně) s ponecháním konstantní tloušťky dřeva 1,5 mm pod žlábkem obzvláště kolem horního a dolního konce.

F – otvory – okraje F – otvoru se ponechávají tradičně ostré a čisté, tak jak vzniknou po vyříznutí. Na starých houslích bývají tyto konce často vyhlazeny. Tyto zaoblené okraje F – otvorů redukují významně odpor, který ostré okraje kladou proudění vzduchu. Benade (1968) prokázal, že léta hraní na nástroje skutečně zaobluje hrany otvorů pro prsty na některých dechových nástrojích a tím dávají lepší kvalitu zvuku.



Obr. 16 Průřez houslemi

8.2.1 Chladního metoda tónování desek

Chladního metoda tónování desek pomocí obrazců byla původně použita Ernstem F. F. Chladnim v roce 1809 a je určena zkušeným houslařům. Zahrnuje vibrace volných vrchních a spodních desek houslí (viol, čel a bas) pomocí sinusového vlnění zvuku, různých frekvencí vysílaných reproduktorem. (Obr. 17 na příloze IX)

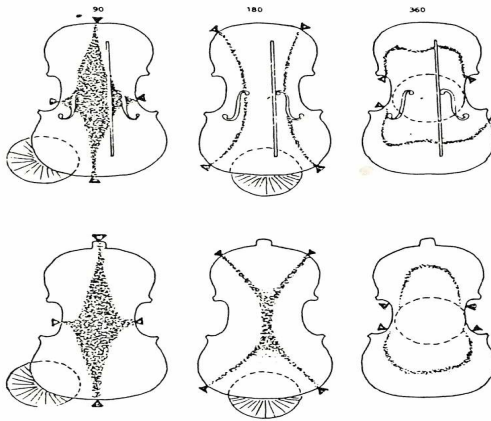
Při pozorování vibrační desek se rozděluje po deskách rozsypaný prášek do obrazců, podle nichž zkušený houslař může často rozhodnout, kde by měl dřevo ještě ubrat.

Tři nejdůležitější a nejužitečnější pohybové vibrace, nebo módy u houslových desek jsou první, druhá a pátá, které leží v tomto pořadí v sestupných frekvencích u každé vrchní a spodní desky houslí.

Mód 1 způsobí kroucení desky, jeden roh nahoru a druhý dolů. Když houslař drží desku na obou koncích, kroučí ji rukama, aby cítil její odpor, cítí tuhost módu 1.

Pokud houslař drží jeden konec desky v obou rukách tak, že palce jsou na vrchní straně desky a prsty rozprostřeny pod deskou, přičemž desku tiskne, ohýbá a lehce zkouší tuhost napříč vláken od jednoho konce k druhému, srovnává relativní tuhost módu 2 mezi dvěma konci.

Pokud drží desku za dva konce ukazováčky a tlačí palci na střed, pak cítí tuhost módu 5. Tyto tři módy tvarování horní a spodní desky ukazuje obrázek:



Obr. 18 Z obrázku je patrné nejen správné umístění reproduktoru, ale i čtyři měkké pěnové podložky

Módy 1, 2 a 5 jsou pokud možno nejbližší tmavým uzlovým liniím, kde jsou navrstveny černé částice. Aktivní oblasti jsou bílé. Kruhy ukazují umístění reproduktorů, které jsou centrovány proti uzlovým bodům každého módu.

Když se drží deska uprostřed jednoho konce nebo u okraje C konce a poklepává se měkkou částí prstu kolem dokola na horní a spodní konce, pak se aktivuje zvuk módu 1, protože bod, za který je držena, je uzlem a křivky spodního a horního okraje jsou protizvuky tohoto módu.

Když je držena na jednom ze čtyř bodů, kde linie módu 2 protínají konce a je poklepáváno na protizvukovou oblast blízko středu nebo na vzdálenějším konci, aktivuje se mód 2. Jestliže se deska drží podél přibližně oválné uzlové linie módu 5 a je poklepáváno na střed desky, je vyvolán zvuk módu 5, který převládá.

Všechny módy odpovídají víceméně zvuku, který je slyšen, když se poklepe na desku. Na dobře vytónovaných deskách, obzvláště jestliže módy jsou o oktávu od sebe, jsou zvuky relativně čisté a lehce rozeznatelné. Jestliže však deska není dobře vytónovaná, je často nesnadné rozlišit a analyzovat sluchem vrcholy zvuku způsobené poklepem. Částečně to vysvětluje, proč houslaři mají velmi často subjektivní interpretaci poklepových tónů a vyzdvihují důležitost Chladního obrazců.

Zeslabením dřeva na jakémkoli místě desky ovlivňuje do určité míry všechny módy. Rovněž neexistují dva kusy dřeva, které by byly přesně stejné a mají tedy různé charakteristiky tuhosti. To znamená, že jakýkoliv soubor instrukcí jak redukovat frekvenci modů musí brát v úvahu relativní tuhost dané horní nebo spodní desky. Pocit ohybu tuhosti desky v prstech je nejlepší indikací (Hutchins, 1983).

Použitím této metody a vedením pečlivých záznamů o konstrukčních parametrech (kvalita dřeva, klenutí, obrysy, rozdělení tlouštěk, vosky a laky) si houslař může vystavět svůj vlastní systém informací s relací na tónové a hrací kvality jeho hotových nástrojů. Tato metoda byla detailně vysvětlena v „SCIENTIFIC AMERICAN“ a „The Catgut Acoustical Society Newsletter“ (Hutchins 1981, 1983).

9. Závěr

Výroba hudebních nástrojů, jejichž rezonanční desku tvoří dřevo, vždy byla a je objektem zájmu mnoha studií.

Každý z těchto nástrojů má své specifické vlastnosti a z nich vyplývající nároky na dřevo z něhož je rezonanční deska vyrobena.

V základních požadavcích na rezonanční dřevo se zpravidla shodují všichni autoři, dřevo má mít nízkou objemovou hmotnost, úzké letokruhy a nízký podíl letního dřeva. Přesto se však různí autoři v mnoha názorech rozcházejí. Příkladem může být práce Nečesaného, v níž uvádí, že máčení či plavení rezonančního dřeva je nepřípustné a snižuje se jím jeho kvalita. Naproti tomu Ille uvádí opak a ošetření rezonančního dřeva vodou věnoval velkou část svého výzkumu.

Illeho závěrům nahrává i historická skutečnost, že v 17. a 18. století, kdy vznikly nástroje vynikající kvality, bylo plavení z horských oblastí nejrozšířenějším způsobem dopravy.

Tyto rozpory, od pěstování přes těžbu až po konečné zpracování, jsou způsobeny zejména tím, že dřevo je přírodním materiálem a je nemožné najít dva stejné kusy stejných vlastností. Na pěstování a následné zpracování takového dřeva nelze aplikovat žádné přesné speciální a předem stanovené postupy. Platí zde názor mistra houslaře Z. Frodla, že rezonanční dřevo je v podstatě „anomálií“.

Část práce je věnována také moderním chemickým a povrchovým úpravám rezonančního dřeva. Chemické úpravy se týkají především smyčcových nástrojů, zejména houslí. Důvodem je, jak již bylo řečeno, dosažení vysoké zvukové kvality těchto nástrojů v 17. a 18. století, které se dnešním výrobcům nedaří docílit. V České republice byly tyto studie prováděny v 80. letech minulého století na VŠCHT, katedře restaurátorství. Přes mnohé kladné výsledky se však nepodařilo žádný z těchto postupů aplikovat do praxe. Výzkumy v tomto směru se zabývali i Marčok nebo Hix v 90. letech. Budoucí uplatnění těchto úprav v praxi lze však obtížně odhadnout, závisí to především na dosažení dalších výsledků a ochotě poněkud konzervativní praxe přijmout tyto moderní postupy.

Povrchová úprava má vliv na konečný zvuk rezonanční desky potažmo celého hudebního nástroje a proto je neoddělitelnou součástí této problematiky.

Hudebních nástrojů majících rezonanční desku ze dřeva je velké množství a popis všech by mohl být tématem samostatné práce.

10. Seznam použité literatury

- Bucur, V.:** Anatomical structure and some acoustical properties of resonance wood. Champenoux – 54280 Seichamps (France), Centre National de Recherches Forestieres (I.N.R.A) Stations De Recherches Sur La Qualite Des Bois, 1977, 24 – 29 str.
- Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v České republice, Pratr,a.s., Trutnov, 2002, 41 str.
- Hrivňák, Š.:** Vyhledávanie a určovanie rezonančného dreva, Drevo, roč. 51, 3/1996, 53 – 56 str.
- Hutschins, M.:** Co chtějí znát houslaři – překlad části studie, Akustická konference Stockholm, 1983, 21 str.
- Ille, R.:** Ošetření a vlastnosti rezonančního dřeva smrku pro mistrovské housle, Hudební nástroje, 11, 1974, 138 – 141 str.
- Ille, R.:** Vlastnosti ozvučného dřeva smrku – závěrečná zpráva, VLÚ v Kostelci nad Černými lesy VŠZ v Praze, 1970, 52 str.
- Ille, R.:** Ozvučné dřevo smrku, Sborník VLÚ VŠZ v Praze, 11/1968, 67 – 87 str.
- Jenček, M.:** Vliv vlhkosti na vybrané mechanické vlastnosti rezonančního dřeva smrku, diplomová práce – Brno 2003, 64 str.
- Křupalová, Z.:** Nauka o materiálech, Sobotáles – Praha, 1999, 235 str.
- Marčok, M. et al.:** Výroba hudebních nástrojů II, Ediční středisko VŠLD Zvolen, 1988, 330 str.
- Marčok, M.:** Vplyv extrakcie rezonančného dreva v ultrazvukovom poli na akustické vlastnosti, Zborník vedeckých prác drevárskej fakulty technickej univerzity vo Zvolene, 1995/I, 7 – 19 str.
- Nečesaný, V. et al.:** Mechanické a fyzikálne vlastnosti dreva, Práca – Bratislava, 1952, 432 str.
- Požgaj, A.:** Štruktúra a vlastnosti dreva, Príroda – Bratislava, 1993, 485 str.
- Podobský, J.:** Fyzikální kritéria akustické kvality pro průmyslovou výrobu rezonanční desky pianina, Rigorozní práce, 1978, 127 str.
- Richter, H. G.:** Holz als rohstoff fur den musikinstrumentenbau, Edition Moeck Nr. 4043, 1989, 43 str.
- Zelinger, J. et al.:** Výzkum vlastností rezonančního dřeva a houslových laků, Výzkumná zpráva, VŠCHT, Praha, 1986
- <http://www.music-store.cz/novinky.asp>, novinky 7/2006 - Framus
- http://cs.wikipedia.org/wiki/Paulownia_tomentosa

11. Přílohy

- Tabulky - přílohy I - III
- Obrázky - přílohy IV - IX
- Grafy - přílohy X - XI

Médium	Akustický vlnový odpor [kg · m ⁻² · s ⁻¹] · 10 ⁵
Ocel	395
Bronz	168
Mosaz	234
Olovo	82,5
Teak	37
Jedle	20
Buk	22
Voda	14
Guma	10
Vzduch	0,004

Tabulka 1 Akustický vlnový odpor podle Brilleho (Kollmann – Côté, 1968)

Druh	Země původu	Objemová hmotnost (kg/m ³)	rychlost zvuku (m/s) v hlavních anatomických směrech					Q - faktor v podél. směru	zdroje
			V _L	V _R	V _T	V _L /V _R	V _L /V _T		
Smrk (Picea Abies)	Itálie	410	5700	1200	-	4,8	-	125	Barducci, 1948
	Francie	450	5500	-	-	-	-		Leipp, 1965
	Kanada	430	5300	1450	-	3,7	-	129	Schelleng, 1969
	-	400	5400	1500	-	3,6	-	127	Schelleng, 1969
	Rumunsko	440	6100	1750	1470	3,5	4,18	105	Bucur, 1977
Smrk sitka (Picea Sitkensis)	U.S.A.	400	5100	1350	-	3,8	-	120	Schelleng, 1969
Jedle (Abies Alba)	Rumunsko	400	5980	1680	1200	3,6	4,98	100	Bucur, 1977
Javor (Acer pseudoplatanus)	Itálie	630	3400	-	-	-	-	55	Barducci, 1948
		580	3650	1850	-	2	-	-	Schelleng, 1969
	Rumunsko	570	4500	2360	1520	2	2,96	35	Bucur, 1977

Tabulka 2 Některé akustické konstanty rezonančního dřeva pocházejících z různých oblastí

Druh dřeva	Vlhkost w (%)	Hustota ρ (kg.m ⁻³)	Modul pružnosti E (MPa)	Akustická konstanta K (m ⁴ .kg ⁻¹ .s ⁻¹)
rezonanční smrk	10	420	11 000	12
borovice	10	500	15 000	11
jasan	10	700	15 000	6,5
buk	10	750	14 000	6
bříza	10	630	14 000	7,5
javor	12	700	11 000	5,8

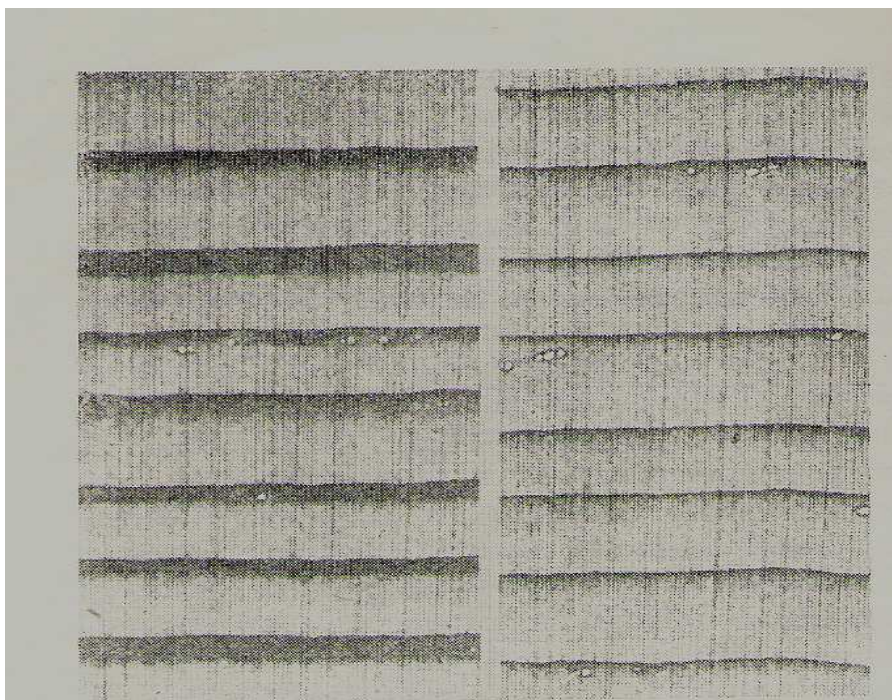
Tabulka 3 Akustické konstanty některých domácích dřev (Požgaj et al. 1993)

Spůsob úpravy	Čas úpravy	ρ_p [kg.m ⁻³]	E_p [GPa]	Λ_p [m ⁴ .kg ⁻¹ .s ⁻¹]	v_p [ms ⁻¹]	ϑ_p
extrakcia	pred. úpr.	472	14,49	11,77	5540	0,0574
	po 3 hod.	468	15,38	12,24	5723	0,0960
	rozdiel	-0,8%	6,14%	3,99%	3,30%	67,2 %
extrakcia + UZ	pred. úpr.	441	13,17	12,50	5455	0,0342
	po 3 hod.	431	13,77	12,88	5594	0,0433
	rozdiel	-0,45%	4,56%	3,04%	2,55%	26,6%
extrakcia +UZ+tlak	pred. úpr.	406	11,23	12,93	5251	0,0605
	po 3 hod.	405	12,28	13,62	5507	0,0647
	rozdiel	-0,39%	9,35%	5,33%	4,88%	6,9%
extrakcia	pred. úpr.	472	14,49	11,77	5540	0,0574
	po 6 hod.	465	15,30	12,33	5729	0,0595
	rozdiel	-1,48%	5,59%	4,76%	3,41%	3,6%
extrakcia +UZ	pred. úpr.	441	13,17	12,50	5455	0,0342
	po 6 hod.	430	13,82	13,03	5624	0,0522
	rozdiel	-1,13%	4,94%	4,24%	3,10%	52,5%

Tabulka 4 Průměrné hodnoty fyzikálně – akustických vlastností rezonančního smrkového dřeva po uvedených úpravách.

ÚČEL POUŽITÍ		Rezonanční výřezy
DŘEVINA		SM
SORTIMENT		A
CHARAKTERISTIKA		Výřezy prvotřídní jakosti S rezonanční vrstvou silnou min. 8 cm na výrobu hudebních nástrojů. 4 letokruhy a více na 1 cm
Suky	zdravé	do 1,8 m délky bezsuké, dále do 3 cm max. 1 ks na 1 bm
	nezdravé	nedovolují se
Trhliny	dřeňové	jednoduché – do ¼ tl. čela
	odlupčivé	do 5 cm od dřeně
	mrazové	dovolují se, pokud nemají kýlu
	výsušné	do 1/10 tloušťky čela
	Současný výskyt	nedovoluje se
Vady růstu	točitost	nedovoluje se
	sbíhavost	do 1 cm/bm
	křivost	nedovoluje se
	excentrická dřeň	nedovoluje se
Vady zp. houbami	zbarvení jádra	nedovoluje se
	hniloba, skvrny	nedovoluje se
Napadení hmyzem		nedovoluje se
Zploštění		-
Rozměry	min. čep b.k.	36 cm
	šířka letokruhů	min. 4 letokruhy na 1 cm
	šířka běle radiálně	-
Dřevina		
Délka		min. 3 m
Stoupání délek		dle dohody
Ostatní vady, technické podmínky		Dle dohody mezi dodavatelem a odběratelem, výřezy I. Jakostní třídy se obchodují po individuální přejímce.

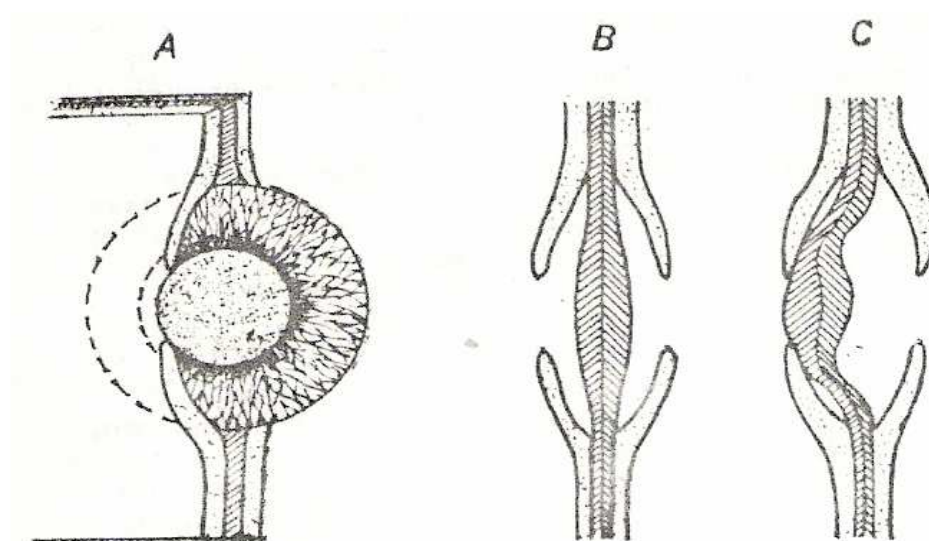
Tabulka 5 Klasifikace vad pro rezonanční výřezy



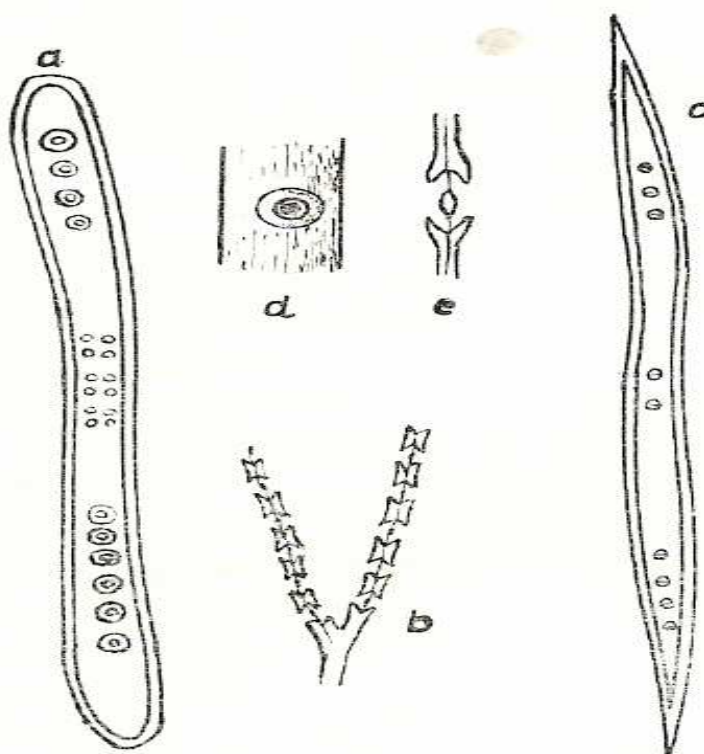
Obr. 1 Mikrofotografie rezonančního smrkového dřeva s jemnými letokruhy (asi 1 mm širokými). Vzorek vlevo má širší zónu letního dřeva a vzorek vpravo velmi úzkou a představuje prvotřídní ozvučné dřevo – zvláště lehké.



Obr. 2 Příčný průřez rezonančním dřevem s jemnými letokruhy a malým podílem letního dřeva v celém průřezu.



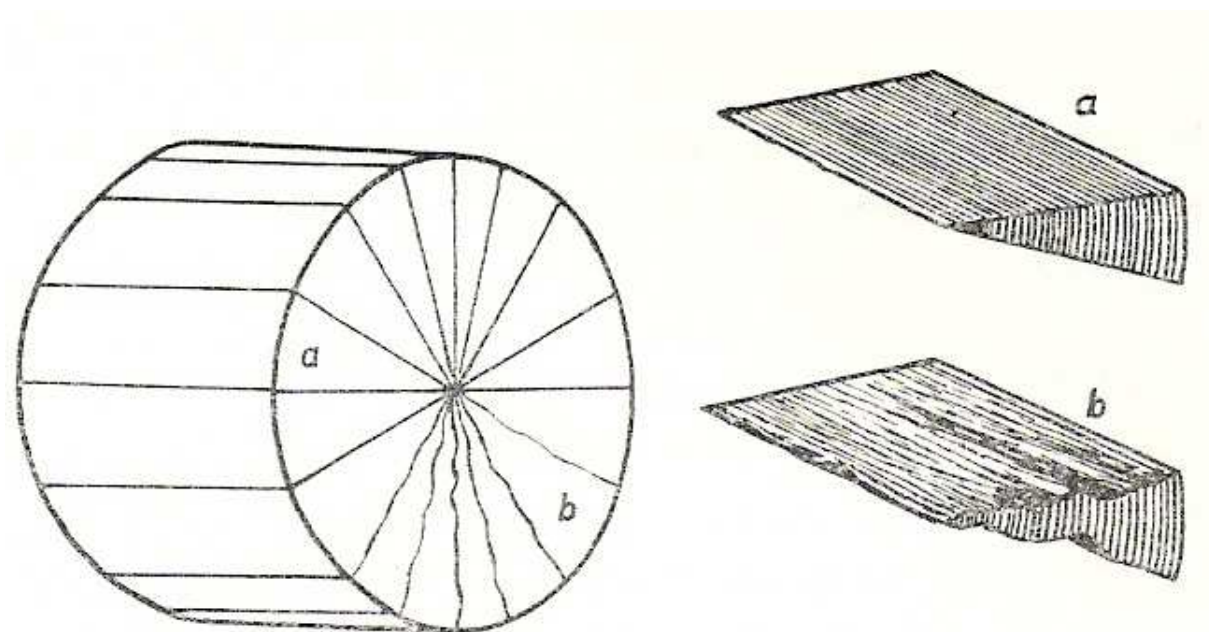
Obr. 3 A. Celkový pohled na dvojtečku tracheidy v průřezu; uprostřed vyniká ztlustění (torus) s okolní propustnou blanou (margem)
 B. Otevřená dvojtečka s torusem ve střední poloze – tangenciální řez.
 C. Zavřená dvojtečka s torusem přilehlým na porus.



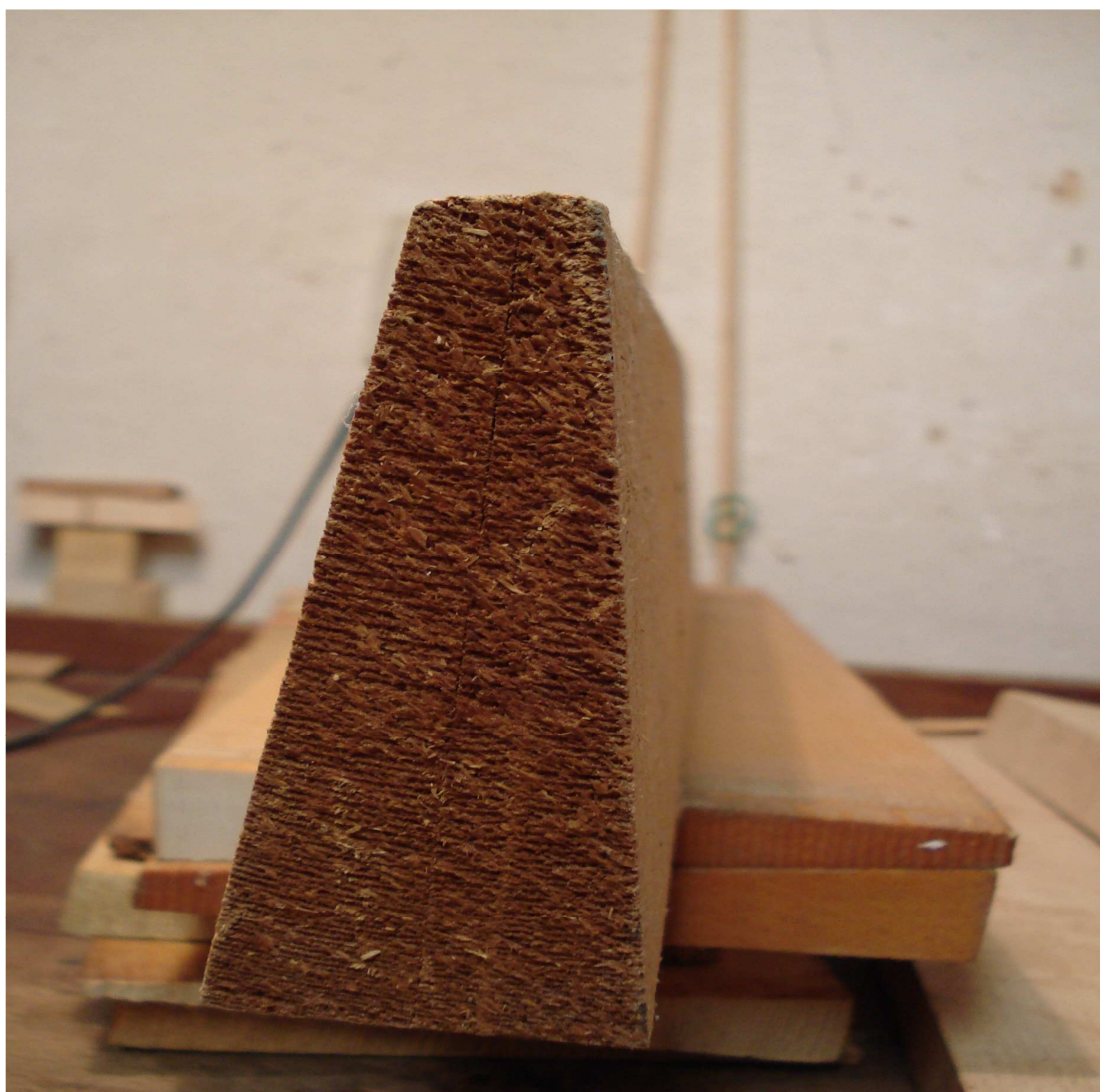
Obr. 4 Silně zvětšená dřevní vlákna (tracheidy) smrkového dřeva: jarní tracheida – radiální pohled (a), zakončení jarní tracheidy – tangenciální řez (b), letní tracheida – tangenciální pohled (c), dvojtečka tracheidy – tangenciální (d) a radiální pohled (e).



Obr. 5 Smrkové klíny, které se nakupují takto nařezané přímo na skladě



Obr. 6 Schéma výřezu smrkového dřeva rozštípaného na klíny; klíny rovnovlákné (a) a klíny s odklonem vláken (b)



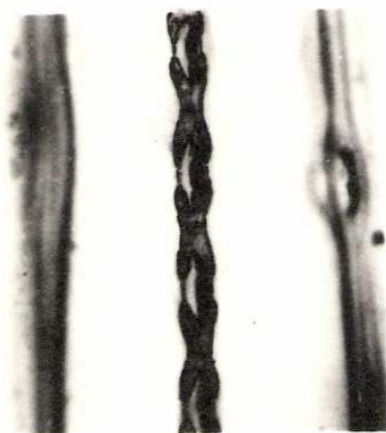
Obr. 7 Splením obou polovin proříznutého smrkového klínu bělovými částmi k sobě vzniká vrchní houslová deska



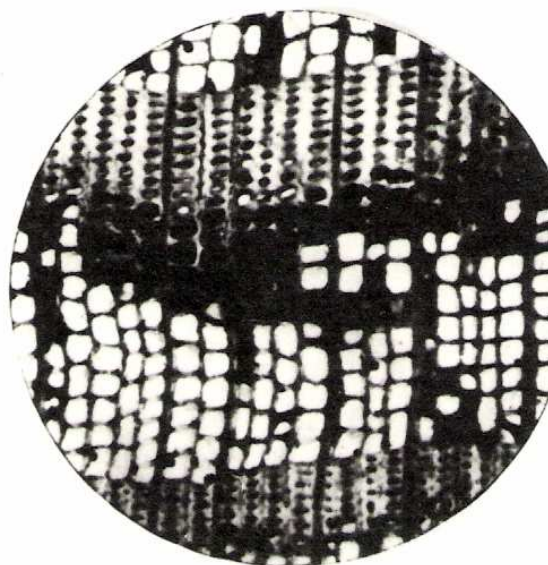
Obr. 8 Proříznutí smrkového klínu



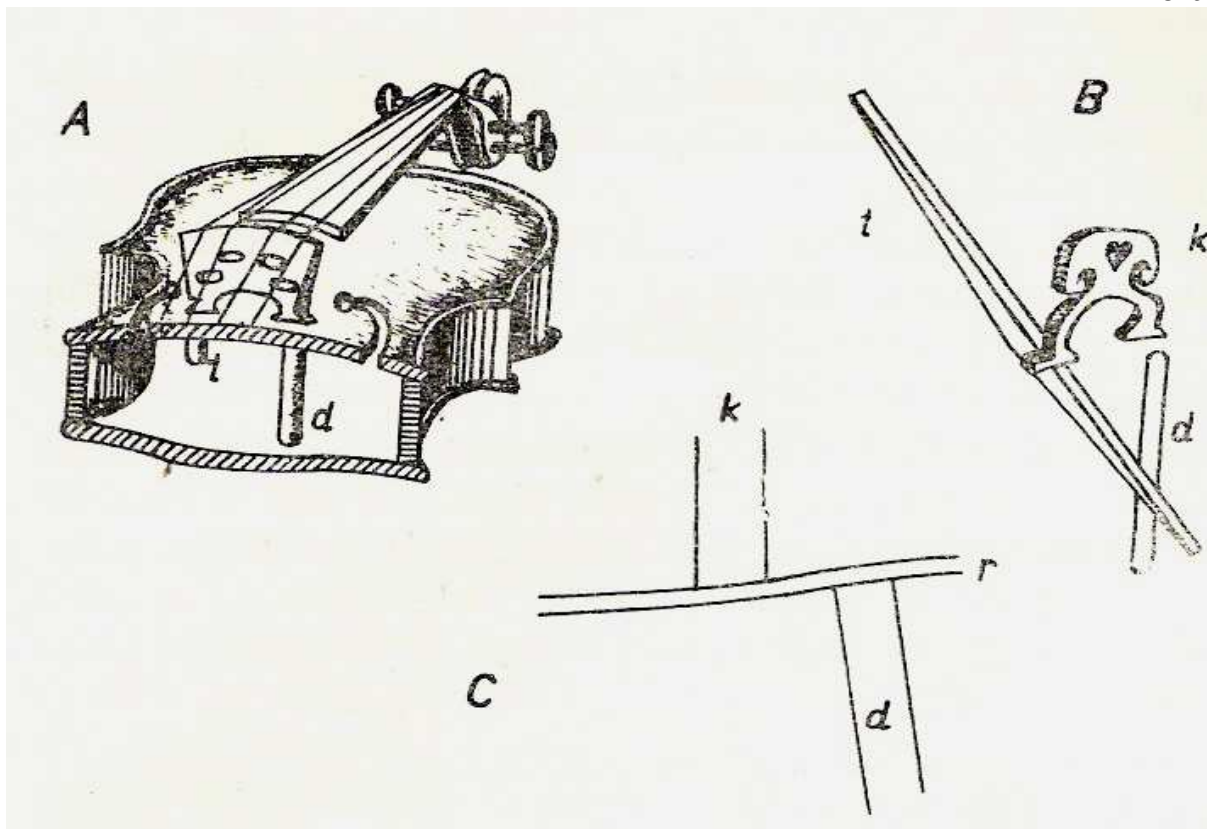
Obr. 9. Těžko propustná běl smrku (83, 265) normálně sušeného.
Propustná běl smrku (87, 266) po ošetření vodou.



Obr. 10. Zavřené dvojtečky tracheid
smrku – tangenciální řez



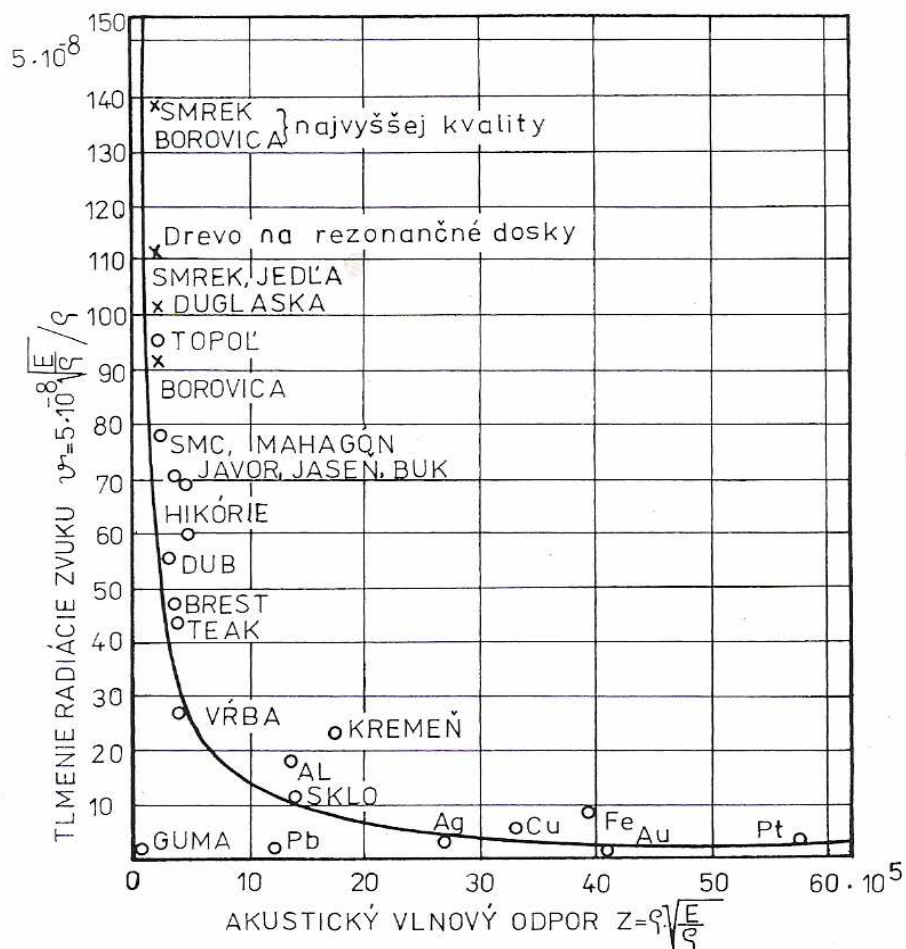
Obr. 11. Olej v jarním (nejtíže
propustném) dřevě smrku
(příčný řez)



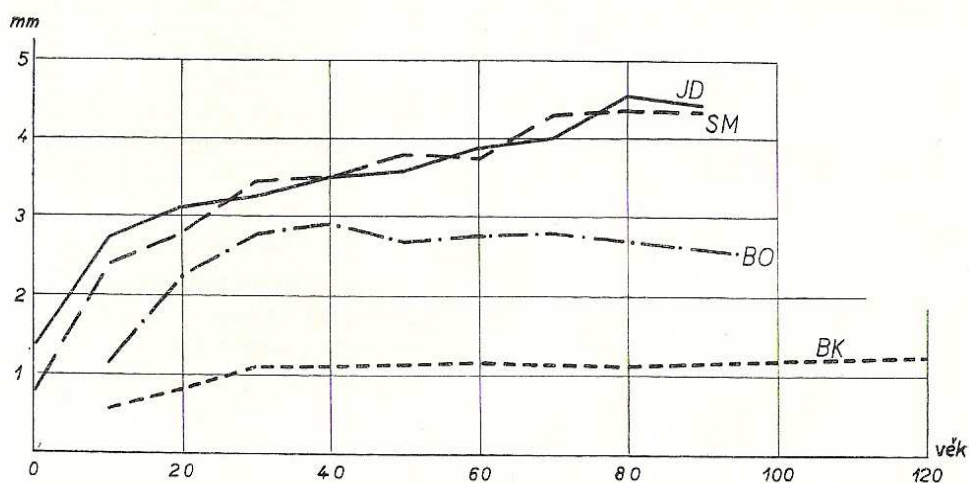
Obr.12. A - Příčný řez houslemi; chvění strun vyvolané smyčcem se přenáší kobylkou na rezonanční desku. B – Vzájemná poloha kobylky (k), duše (d) a zvukového trámce (t) k rezonanční desce – zde průhledné. C – Poloha kobylky (k) a duše (d) na rezonanční desce houslí (r) v podélném řezu.



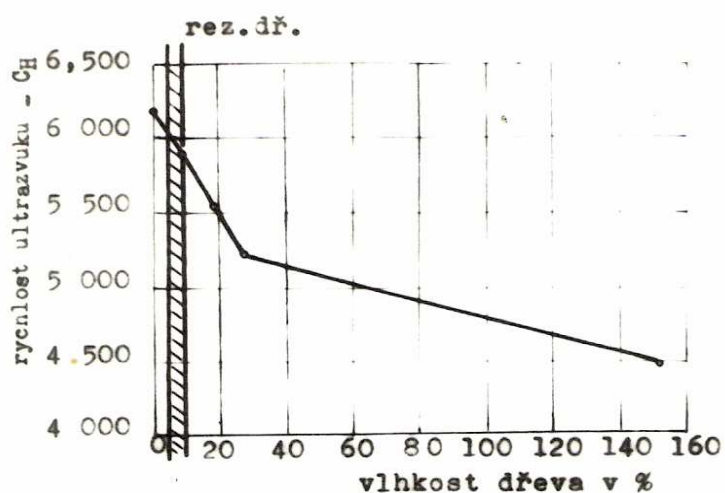
Obr. 17 Generátor sinusového vlnění zvuku (vlevo), ovládací zařízení z jehož displeje lze odečítat hodnoty frekvence vlnění (uprostřed) a reproduktor (vpravo).



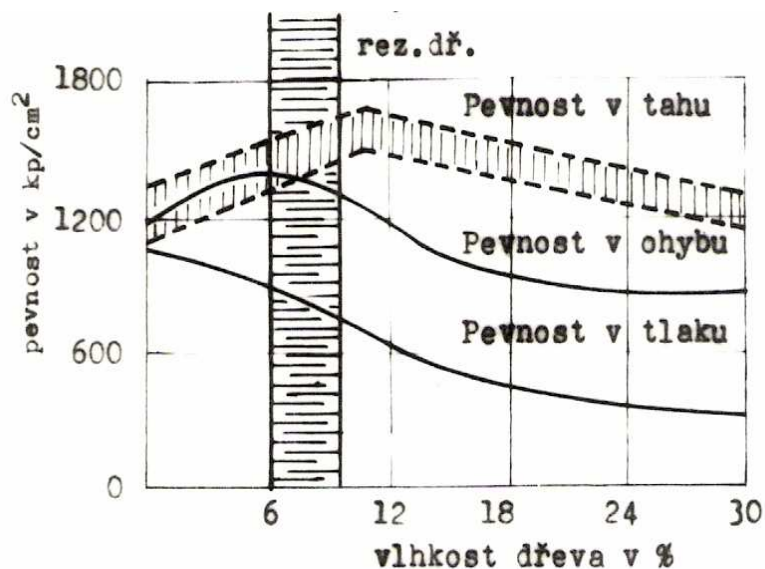
Graf 1 Závislost tlumení radiace zvuku na akustickém vlnovém odporu pro dřeviny a jiné materiály (Kollmann – Côté 1968; podle Horiga).



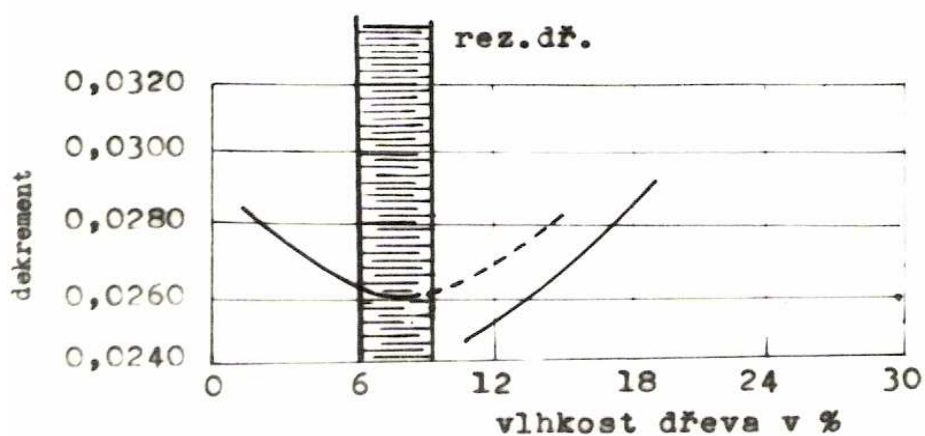
Graf 2 Délka dřevních vláken (tracheid) jehličnatého dřeva (smrku, jedle a borovice) a dřevních (libriformních) vláken listnatého dřeva (buku) v různém stáří stromu (podle R. Trendelenburga 1939).



Graf 3 Závislost rychlosti zvuku (UZ) na vlhkosti dřeva u borovice (podle A. Burmestra, 1965).



Graf 4 Závislost pevnosti v tlaku, ohybu a tahu na vlhkosti dřeva u buku (podle Kucha).



Graf 5 Znáznornění průběhu dekrementu (δ_v) při nízké vlhkosti rezonančního dřeva (podle Doležala).