

# HODNOTENIE DREVA ORGANOVÝCH PÍŠŤAL Z POHLADU FREKVENČNÉHO SPEKTRA ZVUKU PÍŠŤAL A FYZIKÁLNO- -AKUSTICKÝCH CHARAKTERISTÍK

ANDREJ ŠTAFURA – ŠTEFAN NAGY – MARTIN ČULÍK

*Mgr. art. Andrej Štafura, PhD.; Ústav hudobnej vedy SAV, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava 4; e-mail: andrej.stafura@savba.sk*

*Ing. Štefan Nagy, ArtD.; Ústav hudobnej vedy SAV, Dúbravská cesta 9, 841 04 Bratislava 4; e-mail: stefan.nagy@savba.sk*

*Ing. Martin Čulík, PhD.; Drevárska fakulta, TU Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen; e-mail: culik@acoustics.sk*

## ABSTRACT

This paper aims at an experimental evaluation of the quality of the wood used in the manufacture of wooden organ pipes. For this purpose we created a stock of pipes, using various types of wood for the walls of the pipes and for the front board. Using this trial stock of pipes, we conducted a series of experimental measurements, proceeding from an analysis of the sound spectrum. It was shown that what exerts the most fundamental influence on the quality of the sound spectrum is the measure of the pipe and its intonation. This reality is confirmed by the fact that despite the use of varying materials and varied thickness of walls, under constant conditions (pressure, temperature) the resonance mode of all the pipes examined is at the same frequency. A further finding is that the material of the front board and walls may under certain conditions and circumstances have an influence on the creation of a disturbing (humming) component of the tone of the pipe, and indeed on the creation of harmonic tones. Even a small change in the original tuning of a historical pipe causes a relatively marked changes in the actual sound system of the pipe. This fact has significant consequences in the field of restoring historical organs and on changes to the tuning of those instruments.

**Keywords:** organ, pipe, wood, sound spectrum, tuning, measure, intonation

## Úvod

Problematika hodnotenia dreva použitého na výrobu organových píšťal je témou presahujúcou túto štúdiu. Napriek tomu aspoň čiastočné vyriešenie tejto témy prinesie ojedinelé poznatky aj v oblasti aplikácií, ktoré sa budú týkať reštaurovania či stavby nových organov. V tejto súvislosti nás zaujímali poznatky hlavne z dendrologického a akustického pohľadu, ktoré vytvárali potrebné súvislosti pre komplexnejší pohľad. Samotný výskum sme postavili nielen na našich experimentoch a výskumoch, ale aj na výskumoch z oblasti použitia dreva pri hudobných nástrojoch. Napriek tomu bol základným podkladom na používanie určitého dreva terénny výskum drevených organových píšťal nástrojov stredného Gemera.

## Historický kontext

Poznanie histórie využívania jednotlivých drevín pri stavbe našich historických nástrojov nás znova učí, akým spôsobom organári v minulosti pristupovali k používaniu drevín na výrobu drevených píšťal. Tento výskum priniesol poznatky o variabilite, s akou organári pristupovali k využívaniu drevín, pričom vôbec nemali k dispozícii dnešné technologické vybavenie, ktorým by vedeli kontrolovať svoje výstupy.<sup>1</sup> Napriek tomu ich výstupy vykazujú istú systematicku, resp. podľa našich dnešných poznatkov aj empiricky zistenú vysokú kvalitu. Pre konkrétnejší pohľad na túto problematiku prinášame sumárne poznatky ohľadom využívania drevín na výrobu organových píšťal pri vybraných nástrojoch organov stredného Gemera.

Výsledkom uvedeného prieskumu je vyselektovanie dvoch skupín píšťal, u ktorých sa ako stavebný materiál použilo drevo rozličnej kvality. Prvou skupinou sú píšťaly, ktoré majú drevo výberovej kvality a ktoré je rezané radiálne, bez nejakých veľkých chýb dreva, akými sú hrče, točenie či živicové kanáliky. Medzi tieto nástroje patrí organový pozitív z Mokrej Lúky, Tornale, Levár a Držkoviec. Druhú skupinu reprezentujú ostatné nástroje, ktoré majú rezy dreva tangenciálne, aj keď sa nájde použitie radiálnych rezov bez nejakého systematického usporiadania, aspoň v primárnom zmysle. Zároveň drevo týchto píšťal obsahuje mnoho chýb (hrče, točivosť, živicové kanáliky). Okrem rozdielov v makroskopických znakoch použitého dreva sme zaznamenali odlišnosti aj v primárnej či sekundárnej modifikácii týchto drevených píšťal. Sekundárnu modifikáciu vnímame ako neskorší zásah do hmotnej, a tým aj hudobnej podstaty drevených píšťal, čo viedlo k zmene zvukového výsledku, a teda aj hudobného štýlu. Toto môže byť dôsledok reštaurátorských zásahov minulosti, ktoré dnes vnímame ako „nešťastné“.

Dôležitou súčasťou akustických vlastností je hlavne primárna modifikácia, ktorá vznikala ako zámer staviteľa nástroja. Takouto modifikáciou bola napríklad petrifikácia nástrojov v Muráni a Revúcej, ktoré boli podľa doterajších poznatkov petrifi-

<sup>1</sup> Exaktné hodnotenie dreva z pohľadu jeho akustických vlastností, aké využívame dnes, v minulosti nebolo možné.

Tabuľka 1: Prehľad použitia drevín pri organoch stredného Gemera

	Obec	Datovanie	Použité dreviny	Kvalita drevín	Čer-votoč	Bolus	Petrifi-kácia
1	Mokrá Lúka	1698	smrek/buk – predkrývka	časté radiálne rezy, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Nie	Nie
2	Ratkovské Bystré	1797	smrek/dub – predná doska, dub, predkrývka	časté radiálne rezy, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Nie	Áno
3	Levkuška	1802	smrek/buk – predná doska, buk, predkrývka	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Nie	Nie
4	Kameňany	1804	smrek/dub – predná doska, dub, predkrývka	časté radiálne rezy, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Nie	Áno
5	Sása	prvá tretina 19. stor.	smrek/buk – predná doska, jaseň štíhly – predkrývka	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Nie	Nie
6	Ratková	1842	smrek/dub – predkrývka	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Áno	Nie
7	Chyžné	1854	smrek/buk – predná doska, buk – predkrývka	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Nie	Nie
8	Tornaľa	1868	smrek/dub – protez. – predná doska, predkrývka	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Mierne	Áno	Nie
9	Leváre	druhá pol. 19. stor.	smrek/dub – pred. doska, buk? – predkrývka	radiálne rezy pravidelne, podľa základnej obhliadky snaha o kvalitu materiálu	Bez	Áno	Nie
10	Držkovce	druhá pol. 19. stor.	smrek/dub – pred. doska, buk? – predkrývka	radiálne rezy pravidelne, podľa základnej obhliadky snaha o kvalitu materiálu	Áno	Áno	Nie
11	Muráň	1896	smrek/dub – protez. – predná doska, predkrývka	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Bez	Áno	Áno
12	Revúca	1897	smrek/buk – predná doska, dub – predkrývka	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Bez	Áno	Áno
13	Hrlica	prelom 19. a 20. stor.	smrek/buk – predná doska	radiálne rezy, tangenciálne, mnohé chyby ako hrče, točivosť, živičné kanáliky	Áno	Nie	Nie

kované v primárnom zmysle.<sup>2</sup> Týmto spôsobom sa vytvoril rovnako jedinečný zvukový výsledok týchto historických organov. Okrem modifikácie petrifikáciou sme zachytili aj primárnu modifikáciu formou nanesej vrstvy červenej hlinky, tzv. bolusu. Tenkú vrstvu červenej hlinky sme zachytili na vnútorných stenách organov v Ratkovej, Tornali, Levároch, Držkovciach, Muráni a Revúcej. Zaujímavosťou je, že ide o organy druhej polovice 19. storočia, ale zároveň aj o organy, pri ktorých organári dbali na výber drevnej hmoty a používali prevažne radiálny rez dreva. Pri organoch v Muráni a Revúcej táto požiadavka nie je síce dodržaná, ale pri týchto nástrojoch môže zvukový charakter ovplyvňovať už spomínaná primárna modifikácia petrifikáciou. Odôvodnenie aplikácie červenej hlinky na vnútorné časti drevených píšťal momentálne nevieme vysvetliť, rovnako sme túto skutočnosť ešte nepreverili pomocou merania frekvenčného spektra zvuku. V tejto súvislosti potrebujeme do budúcnosti zistiť aspoň zloženie danej hlinky, ako aj spôsob nanášania, resp. zloženie tzv. nosiča tejto hlinky, pretože rôzny spôsob nanášania, resp. zloženie nosiča môže ovplyvňovať výsledné frekvenčné spektrum. S pomocou poznania funkcie, zloženia a spôsobu nanášania danej hlinky vytvoríme najidentickejšie kópie historických píšťal na ďalšie experimenty. Takéto kópie s pomocou spomínaných experimentov prinesú objektívne výsledky, ktoré vytvoria obraz o pôvodných zvukových vlastnostiach píšťal.

Stavitelia organov v minulosti využívali červenú hlinku pri cínovaní píšťal, keď ju natierali na spoje pred cínovaním, aby nedochádzalo k prepáleniu organového plechu.<sup>3</sup> V tejto súvislosti môžeme uviesť spektrálnu analýzu červenej hlinky, ktorú máme k dispozícii z iného výskumu týkajúceho sa organového kovu.

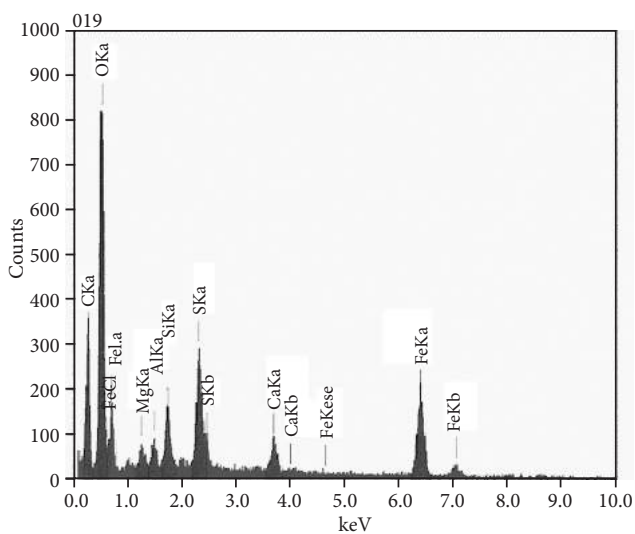
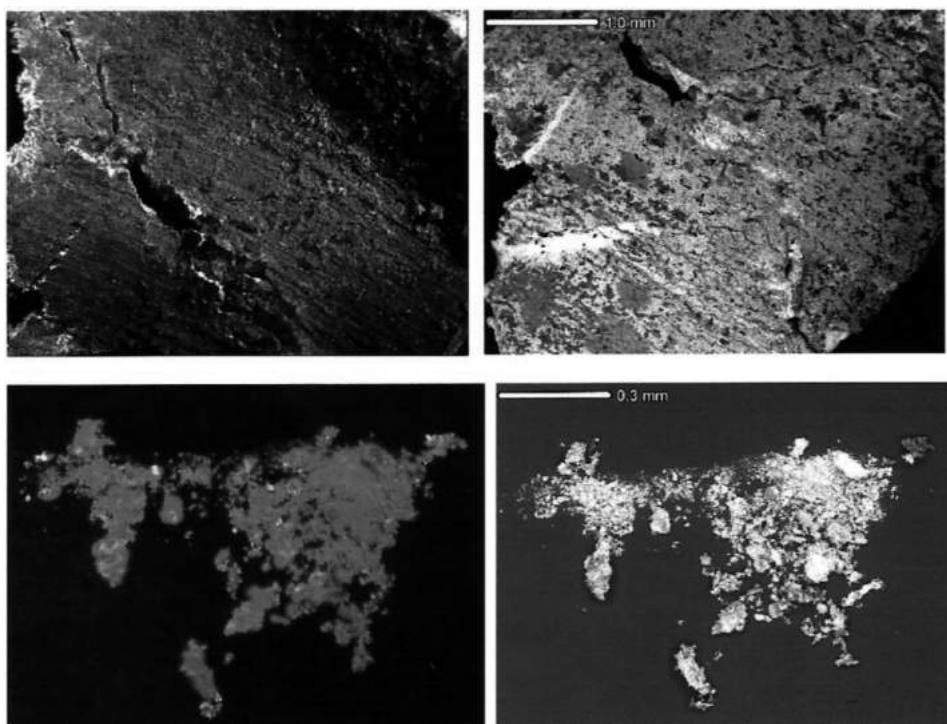
Analýza preukázala prítomnosť železitých pigmentov, ale aj sadry, pričom je potrebné ešte zistiť, aký nosič mohol byť použitý pri dreve – či išlo o vodu, olej alebo nejakú glejovú vodu.

Okrem jednotlivých kvalít dreva a jeho modifikácií sme sledovali aj samotné používanie rôznych druhov dreva pri stavbe organov stredného Gemera, pričom tieto poznatky sme rozšírili aj o dreviny, ktoré už boli v doterajších výskumoch identifikované.<sup>4</sup> Na základe týchto výskumov môžeme konštatovať, že na prednú dosku alebo len na horné lábium používali organári nasledovné dreviny: smrek obyčajný (*Picea abies*), dub letný (*Quercus robur*), dub zimný (*Quercus petraea*), buk lesný (*Fagus sylvatica*), jedľa biela (*Abies alba*), občas smrekovec opadavý (*Larix decidua*), hruška divá (*Pyrus pyraister*) či javor horský (*Acer pseudoplatanus*). Na jadro a tým aj na nohy sa používal hlavne dub a pri predkrývkach sme zachytili výrobu z buka, duba, smreka, jedle, smrekovca. Keďže doteraz sa v tejto oblasti neuskutočnil dôkladný výskum, je možné, že na stavbu drevených píšťal sa použilo viac druhov dreva, ako sme spomenuli.

<sup>2</sup> Pri archívnom výskume týchto nástrojov sme nezaznamenali sekundárnu petrifikáciu, a keďže nástroje sú neskoršieho datovania, prikláňame sa k názoru, že táto modifikácia je primárneho charakteru.

<sup>3</sup> Zloženie organového kovu je aj v súčasnosti z olova a cínu, občas s prímiešaním nejakých iných prvkov, samozrejme, v rôznych pomeroch. Porovnaj: JAKOB, Friedrich: *Die Orgel und das Metall*. Männedorf : Orgelbau Kuhn, 1998.

<sup>4</sup> Porovnaj: MAYER, Marian Alojz: *Dejiny organa na Slovensku od najstarších čias po súčasnosť*. Bratislava : Divis-Slovakia s.r.o., 2009, s. 168, 169.



Obr. 1: Spektrálna analýza čer-  
vej hlinky

Zhodnotenie vyššie uvedených poznatkov prinieslo mnoho ďalších otázok, ktoré sme otvorili pri našich výskumoch. V tejto štúdií sme sa zamerali aj na predné dosky organových píšťal, ktoré sme zároveň dali do súvislosti s bočnými doskami. Keďže predchádzajúci výskum priniesol len sumarizačné poznatky o používaní druhov použitého dreva, ako príklad uvádzame aspoň jeden detailnejší rozbor registra Copula 4' organového pozitívu v Sáse, na základe ktorého sme aj spracovávali novodobé kópie.

Tabuľka 2: Copula 4' – organový pozitív v Sása

Tóny	Strana A Typ rezu	Strana B	Strana C	Strana D	Rybyna	Zátka	Pred- kryvka	A hrče (počet)	B hrče	C hrče	D hrče
C	RT	RT	RT	RT	áno	áno	R	4	2	5	2
D	TR	RT	R(T)	RT	áno	áno	R	2	3	0	1
E	T	RT	RT	TR	áno	áno	R	0	0	1	0
F	T	RT	R	R(T)	áno	áno	R	0	0	0	0
G	T	R(T)	TR	RT	áno	áno	R	0	0	2	2
A	T	TR	TR	T	áno	áno	T	0	0	1	0
B	T	RT	R	RT	áno	áno	T	0	3	0	3
H	T	RT	R	RT	áno	áno	T	0	2	0	2
c	R	T	R	T	áno	áno	T	0	2	0	3
cis	T	R(T)	RT	RT	áno	áno	T	0	0	1	1
d	T	T	R	RT	nie	áno	T	0	0	0	2
dis	T	T	R	TR	áno	áno	T	0	2	0	1
e	R	TR	R	T	nie	áno	T	0	1	1	1
f	R	RT	RT	RT	áno	áno	T	0	1	2	1
fis	T	R(T)	R(T)	RT	nie	áno	T	0	0	0	0
g	R	R(T)	T	R	áno	áno	T	1	1	3	1
gis	T	RT	T	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
a	T	RT	T	RT	áno	áno	T	0	0	0	1
b	T	R(T)	R	R	áno	áno	T	0	0	1	0
h	R	R	T	RT	áno	áno	T	0	1	2	0
c <sup>1</sup>	T	R	T	R	áno	áno	T	0	0	1	0
cis <sup>1</sup>	T	RT	TR	RT	áno	áno	T	0	0	1	0
d <sup>1</sup>	T	RT	R	R(T)	nie	áno	T	0	0	0	0
dis <sup>1</sup>	T	R	R	RT	nie	áno	T	0	0	0	0
e <sup>1</sup>	T	RT	TR	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
f <sup>1</sup>	TR	R	T	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
fis <sup>1</sup>	T	R	RT	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
g <sup>1</sup>	T	RT	T	RT	nie	áno	T	0	0	0	0
gis <sup>1</sup>	T	RT	R	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
a <sup>1</sup>	T	RT	TR	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
b <sup>1</sup>	T	RT	RT	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
h <sup>1</sup>	T	RT	TR	RT	nie	nie	T	0	0	0	0
c <sup>2</sup>	TR	RT	R	RT	áno	áno	T	0	0	0	0
cis <sup>2</sup>	TR	T	RT	T	áno	áno	T	0	0	0	3
d <sup>2</sup>	T	R	RT	R	áno	áno	T	0	0	0	0
dis <sup>2</sup>	TR	RT	RT	R	áno	áno	RT	0	0	0	0
e <sup>2</sup>	T	T	RT	RT	áno	nie	RT	0	0	0	0
f <sup>2</sup>	T	T	RT	R	áno	áno	T	0	0	0	0

Analýza vyššie uvedeného skúmaného registra priniesla zaujímavé informácie, ktoré sme začali postupne ďalej analyzovať, pričom výsledky sme museli vzájomne porovnávať s ostatnými výstupmi. Na základe postupných experimentálnych informácií sme do istej miery pochopili využívanie aj tzv. nerezonančného dreva, resp. dreva, ktoré má svoje chyby a ktoré je rezané viac-menej tangenciálne. Príkladom nám bol práve vyššie spracovaný register, ktorý má pri každej píšťale drevo aj tangenciálne, hlavne čo sa týka bočných a zadnej strany (B, C, D). Zároveň mnohé dosky majú chyby ako hrče alebo točivosť či živicové kanáliky. Dôležité ale je, že využívanie nerezonančného alebo tzv. rezonančného dreva nebolo úplne náhodné, ale dialo sa zrejme skôr na základe empirických znalostí a skúseností jednotlivých staviteľov.

## Analýza

Na základe vyššie uvedených poznatkov sme pristúpili k analýze používania rôznych drevín na prednú dosku drevených píšťal, pričom sme si zostavili metodiku dvoch experimentov, ktoré sme použili ako základ pre riešenie tejto otázky. Predmetom výskumu boli dreviny použité na prednú dosku drevenej píšťaly ako smrek obyčajný (*Picea abies*), dub zimný (*Quercus petraea*), buk lesný (*Fagus sylvatica*), hruška divá (*Pyrus pyraeaster*). Ako vzor pre repliky sme použili historickú píšťalu f registra Copula 4' organového pozitívu v Sáse. Na lepšie pochopenie akusticko-zvukových analýz uvádzame aj bližšiu charakteristiku jednotlivých skúmaných drevín, ktoré sme použili na predné dosky experimentálnych píšťal.

- **Smrek obyčajný** je prvou dôležitou skúmanou drevinou, ktorá patrí nielen medzi najrozšírenejšiu drevinu na Slovensku, ale aj medzi najpoužívanejšiu drevinu našich historických organov. Z nášho pohľadu sú dôležité informácie o „mäkkosti tohto dreva, pružnosti, pevnosti, ale zároveň je dôležitá informácia o tom, že sa zle impregnuje. Makroskopická štruktúra tohto dreva hovorí, že ide o zrelo drevenú drevinu, pričom jej drevo je bez viditeľného jadra. Hranice ročných kruhov sú výrazné, úzke, letné drevo prechádza pozvoľne do širokého jarného dreva. Medzi letokruhmi je zreteľná hranica; pozvoľnejší prechod medzi jarným a letným drevom v rámci letokruhu. Živičné kanáliky sú malé, menej zreteľné, roztrúsené, voľným okom pozorovateľné len na radiálnych, tangenciálnych dobre opracovaných rezoch, ako jemné, tmavšie, lesklé trhliny. Stržňové lúče sú voľným okom neviditeľné. Stržeň je úzky, najviac 5 mm široký, makroskopicky je nezreteľný. Textúra je pruhovaná alebo fládrovaná, pri ktorej kresba zbiehajúcich sa letokruhových pripomína štruktúru vrstevníc na mape; drevo je matne lesklé, málo dekoratívne. Prevládajúcim elementom anatomickej stavby sú tracheidy – cievice, ktoré zaberajú až 87 – 95 % celkového objemu dreva. Plnia vodivú i mechanickú funkciu. Radiálny priemer jarných tracheíd je 2 – 4  $\mu\text{m}$ , v neskorom dreve 4 – 8  $\mu\text{m}$ . Dĺžka tracheíd (drevených vlákien) je 1,7 – 2,9 – 3,7 mm. Podiel stržňových lúčov je 4,4 – 5,5 %. Úlohou parenchymatických buniek stržňových lúčov (5 až 13 %) je rozvádzať organické zásobné látky. Nechránené a neimpregnované drevo smreka vydrží 10 – 30 rokov. Pod strechou má trvanlivosť 50 až 75 rokov. Pod vodou je

to 60 – 100 rokov a vždy suché drevo smreka vydrží 100 – 900 rokov, čo je údaj, ktorý platí aj pre historické organy, pričom už z tohto je jasné, že ochrana dreva historických organov patrí medzi prioritu.<sup>5</sup>

- **Dub zimný** je ďalšou dôležitou drevinou, ktorá sa využíva nielen v našom hospodárstve, ale aj pri stavbe našich historických organov. „Jadro môže byť aj nepravidelne okrúhle, veľmi často nerovnomerne zložené, šedohnedé s tmavými hraničnými zónami. Beľ je špinavo ružovobiela. Drevo je kruhovito pórovité s výraznými a pravidelnými ročnými kruhmi. Trachey (cievy) v jarnom dreve sú veľké, voľným okom dobre viditeľné. Na priečnom reze ako kruhové otvory, na pozdĺžnych rezoch ako dlhé pozdĺžne trhlinky. Stržňové lúče sú veľmi časté, široké a mohutné. Na tangenciálnych rezoch sú viditeľné ako široké, tmavé a až 7 cm dlhé pruhy, na radiálnych rezoch ako zrkadielka rôznych tvarov a veľkostí. Na priečnom reze sú stržňové lúče dobre viditeľné ako svetlé pásiky vychádzajúce zo stržňa kolmo k letokruhom. Okolo ciev je rôzne vyvinutý drevný parenchým, ktorý na priečnom reze tvorí svetlé škvrnky alebo čiary rôzneho tvaru. Textúra je veľmi dekoratívna. Anatomická stavba všetkých druhov duba je veľmi podobná. Trachey (cievy) sú veľmi široké s jednoduchou alebo mriežkovou perforáciou. Zoradené sú jednotlivo alebo tvoria skupinky po 2 – 4. Perforácia jarných ciev je väčšinou jednoduchá, úzke cievy majú mriežkovitú perforáciu. Priemer jarných ciev sa pohybuje v rozpätí 0,1 – 0,4 mm, letných ciev 0,01 – 0,05 mm. Tracheidy (cievice) sú v dubovom dreve početne zastúpené hlavne v letnom dreve. Librifórmné vlákna sú u duba vyvinuté ako bunky prevládajúce hlavne v pozdĺžnom smere. Zastúpenie librifórmných vlákien sa pohybuje v rozpätí 40 – 60 %. Drevný parenchým je tvorený z krátkych tenkostenných buniek. Je usporiadaný v nepravidelných jednoradových pásoch. Tvorí široké vrstvy najmä v jarnom dreve. Jeho zastúpenie je v rozpätí 2,8 – 8,1 %. V dubovom dreve sa vyskytujú dva druhy stržňových lúčov. Široké stržňové lúče sú tvorené z 12 – 30 radov buniek. Úzke stržňové lúče z jedného alebo dvoch radov buniek. Podiel stržňových lúčov v dreve sa pohybuje okolo 20 %. Celkovo je toto drevo pevné, pružné, trvanlivé, pričom sa zle impregnuje a morí.“<sup>6</sup>
- **Buk lesný** patrí ku hlavnej trojici drevín, ktoré využívalo naše organárstvo v minulosti. „Buk je bezjadrová drevina s častou tvorbou nepravého jadra. Farba dreva tesne po spilení je biela, ale môže byť aj slabo ružovkastá. Po čase sa mení na ružovožltú až bledočervenú. Na čerstvom reze je výrazne zreteľná tmavšia vlhkejšia beľ po obvode priečného rezu. Po vyschnutí sa farebný rozdiel medzi vyzretým drevom a beľou stráca. Cievy sú nezreteľné a ročné kruhy sú ťažko zreteľné. Šírka ročných kruhov sa pohybuje prevažne od 1 do 5 mm, ale samozrejme to závisí aj od vegetačného obdobia. Na tangenciálnom reze sú výrazné nepravé stržňové lúče ako dlhé čiarky 1 – 4 mm. Na radiálnom reze tvoria riedke zrkadielka. Častý je výskyt

<sup>5</sup> GEJDOŠ, Miloš: *Hlavné dreviny SR v obchode s drevom*. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: [[http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna\\_struktura/lesnicka\\_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/kontakt/smrek-obycajny.html](http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/kontakt/smrek-obycajny.html)]: Zvolen, 2012, Cit.: 07. 04. 2014.

<sup>6</sup> GEJDOŠ, Ref. 5. Dostupné na internete: [[http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna\\_struktura/lesnicka\\_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis\\_studentom/hlavna-dreviny/dub-zimny.html](http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis_studentom/hlavna-dreviny/dub-zimny.html)]: Zvolen, 2012, Cit.: 07. 04. 2014.



stržňových škvŕn. Buk patrí k roztrúseno-pórovitým drevinám. Trachey – cievy sú veľmi početné a husto zoradené, ojedinelé, alebo po dvoch až šesť v skupinách. Širšie jarné cievy majú jednoduchú perforáciu, užšie letné cievy majú rebríčkovitú perforáciu. Ich priemer sa pohybuje v rozpätí od 0,02 do 0,1 mm. Stržňové lúče sú homogénne a jednoradové. Librifórné vlákna majú vretenovitý až rúrkovitý tvar. Drevný parenchým sprevádza cievy a je bohato rozptýlený medzi drevnými vláknami. Dĺžka drevných vlákien sa pohybuje od 0,3 – 2,2 mm. Pri tvorbe nepravého jadra sú cievy často vyplnené thylami. Buk je stredne tvrdé, ťažké, pevné drevo, dobre sa štiepa, parené sa dobre ohýba. Nechránené a neimpregnované drevo buka vydrží 10 – 40 rokov. Pod strechou má trvanlivosť 20 až 50 rokov. Pod vodou je to 30 – 120 rokov a vždy suché drevo buka vydrží 200 – 700 rokov, čo je rovnako ako smrek v polovici svojej životnosti pri mnohých historických organoch.<sup>7</sup>

Vyššie uvedené druhy dreva, ako aj ďalšie menej používané, sme postupne podrobili dvom experimentom, aby sme získali výsledky, ktoré by nám vysvetlili doterajšie poznatky z obhliadok organov. Pred tým sme si stanovili potrebnú metodiku, ktorú sme aplikovali v experimentoch.

## Metodika

Pre koreláciu s historickým vývojom sme stanovili metodiku, ktorá spočívala vo vymanipulovaní (t. j. vo výbere materiálu, v spôsobe rezu z časti kmeňa) 20 experimentálnych doštičiek, z ktorých sme neskôr vyrobili kompletne písťaly. Zároveň je potrebné povedať, že 15 doštičiek bolo z jedného kusa smreka obyčajného (*Picea abies*) a na predné dosky sme pripravili ďalších 5 experimentálnych doštičiek z duba zimného (*Quercus petraea*). Z duba sme rovnako pripravili aj jadro, pričom predkrývky boli vyhotovené z hrušky divej (*Pyrus pyraeaster*). Všetky pripravené experimentálne doštičky boli vymanipulované tangenciálnym rezom, no zároveň je potrebné povedať, že doštičky boli z cca storočného dreva, čím sme chceli splniť aj požiadavku degradácie dreva prirodzeným starnutím.

## Experiment

Po vymanipulovaní hranolčekov z jedného kusa dreva sme vyseletovali najprv päť hranolčekov zo smrekového dreva, ktoré sme následne narezali na jednotlivé doštičky. Jednotlivé vymanipulované doštičky smreka obyčajného sme presne evidovali podľa pôvodu, čiže písťala sa vyrobila z doštičiek jedného hranolčeka. Týmto spôsobom sme zachovali kvôli snímaniu charakteristík podmienku rovnakej časti kmeňa a tým aj rovnaké podmienky rastu, vlhkosti, slnečného žiarenia, čiže rovnaké vstupné podmienky. Pre toto meranie sme tak pripravili 15 doštičiek, ktoré sme podrobili experimentu.

<sup>7</sup> GEJDOŠ, Ref. 5. Dostupné na internete: [[http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna\\_struktura/lesnicka\\_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis\\_studentom/hlavna-dreviny/buk-lesny.html](http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenenie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis_studentom/hlavna-dreviny/buk-lesny.html)]: Zvolen, 2012, Cit.: 07. 04. 2014.

Tabuľka 3: Fyzikálno-akustické charakteristiky skúmaných doštičiek

číslo doštičky / pričný rez	Hustota dreva	Modul pružnosti pozdĺž vlákien	Akustická konštanta	Rýchlosť šírenia sa zvuku v dreve
	$\rho / \text{kg.m}^{-3}$	$E_{\ell} / \text{GPa}$	$A / \text{m}^4.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-1}$	$c / \text{m.s}^{-1}$
1A / RT	756	12,31	5,34	4036
1B / RT	416	12,23	13,01	5420
1C / RT	433	13,39	12,84	5561
1D / RT	436	13,96	12,96	5656
2A / T	745	11,35	5,24	3903
2B / RT	437	13,59	12,78	5579
2C / RT	428	13,44	13,08	5603
2D / RT	425	12,89	12,96	5508
3A / T	813	10,88	4,50	3659
3B / RT	411	11,68	12,99	5332
3C / TR	436	10,97	11,49	5014
3D / R	425	11,13	12,05	5119
4A / RT	745	12,10	5,41	4029
4B / RT	435	13,30	12,72	5531
4C / RT	434	10,76	11,49	4981
4D / T	399	9,46	12,20	4869
5A / RT	746	10,68	5,07	3784
5B / TR	427	13,84	13,31	5689
5C / TR	412	10,06	11,99	4940
5D / RT	417	12,53	13,16	5484

Samotné snímanie, resp. hodnotenie experimentálnych doštičiek na výrobu organových píšťal sme vykonali pomocou metódy Chladniho obrazcov pri vlhkosti skúšobných doštičiek  $w = 10\%$ .<sup>8</sup> Po stanovení hustoty dreva sme touto nedeštruktívnou metódou, zviditeľňovaním rezonančných modov pravouhlých doštičiek, získali fyzikálno-akustické charakteristiky ako akustická konštanta, modul pružnosti a rýchlosť šírenia zvuku<sup>9,10,11</sup> pre jednotlivé experimentálne doštičky.

Tabuľka 3 prináša fyzikálno-akustické charakteristiky smrekového (B, C, D) a dubového dreva (A) v tvare pravouhlých tenkých doštičiek, ktoré boli vypočítané na zá-

<sup>8</sup> Vlhkosť bola meraná nepriamou metódou pomocou ihličiek vlhkomera Moisture Meter, MC-7825 PS.

<sup>9</sup> DANIHELOVÁ, Anna: Relevant Physical Acoustics Characteristics of Spruce Wood as a Material for Musical Instruments. In: *Proceedings of the 8<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering wcte 2004*. Lahti, 2004, p. 491-494.

<sup>10</sup> DANIHELOVÁ, Anna: Elastic characteristics of wood and their influence on vibrational properties of violin plates. In: *16<sup>th</sup> Conference of Slovak Physicists*. Zborník. Košice : Slovak Physical Society, 2008, s. 33-34.

<sup>11</sup> DANIHELOVÁ, Anna: Wood characteristics and acoustic quality of musical instruments. In: *ACOUSTICS High Tatras 2009 : Proceedings of the ACOUSTICS High Tatras 2009 "34<sup>th</sup> International Acoustical Conference – EAA Symposium"* [CD Rom]. Nový Smokovec : Technical Univerzity in Zvolen, 2009.

klade potrebných vzťahov. Počet doštičiek pre každú skupinu bol stanovený na 5 kusov (päť kusov experimentálnych píšťal).

Z výsledkov meraní vyplynulo, že tangenciálne rezané doštičky smrekového dreva vykazovali nízku hustotu, modul pružnosti cca od 10 do 14 GPa a akustickú konštantu medzi 11 – 13  $\text{m}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ . Dubové drevo vykazuje vysokú hustotu cca 750  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , modul pružnosti v hodnotách 11 – 12 GPa, ale zaujímavá je akustická konštanta, ktorá vykazuje nízke hodnoty cca 4,50 – 5,45  $\text{m}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ .

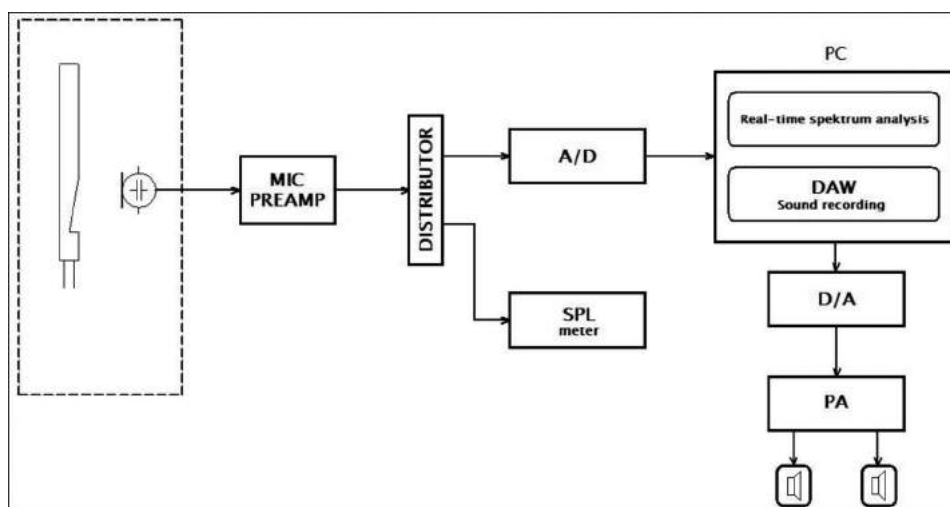
Vyššie uvedené výsledky je potrebné konfrontovať s výsledkami zvukového spektra experimentálnych píšťal zhotovených z experimentálnych doštičiek, pretože je potrebné zistiť, či kvalita samotného materiálu, respektíve rez a orientácia vlákien majú vplyv na samotnú tvorbu zvukového spektra drevených organových píšťal. Tieto poznatky sú veľmi dôležité pri samotnom reštaurovaní historických píšťal, keď mnohokrát dochádza k výrobe historických kópií, respektíve k výmene niektorých ich častí. Ako sme už uvádzali, na túto analýzu sme vytvorili päť kusov experimentálnych píšťal, ktoré sú zložené z presne označených doštičiek, ktoré boli pred zlepením zosnímané metódou Chladniho obrazcov a ich hodnoty sú uvedené v Tabuľke 3. Píšťaly tak tvoria doštičky 1, 2, 3, 4, 5 (strany A, B, C, D) a sú zložené zo smreka (B, C, D) a duba (A), čím sme vytvorili jednotlivé experimentálne píšťaly.

## Frekvenčné spektrum zvuku píšťal

Metóda snímania zvukového spektra je postavená na dvoch hlavných častiach technologického vybavenia (Obr. 2). Primárnou časťou je budenie tónu jednotlivých píšťal, ktoré sa zabezpečuje pomocou experimentálnej vzdušnice napojenej na mech a vzduchové čerpadlo. Druhá časť technológie pozostáva z vyhodnocovania spektier v reálnom čase, na ktorý sa využíva akustický software Arta. Na počítači je ďalej nainštalovaný aj DAW Software Samplitude (Digital Audio Workstation), ktorého úlohou je záznam a editácia spracovávaných signálov jednotlivých píšťal. Táto konfigurácia umožňuje ku každému vyhodnotenému spektru priradiť zodpovedajúci zvukový signál. Jednotlivé grafy spektier vznikli na základe popísanej metodiky, pričom boli nastavené nasledujúce parametre: vzorkovacia frekvencia 44,1 kHz, počet vzoriek 8 192, váhové okno Uniform a lineárne priemerovanie zo 100 vzoriek. Zároveň bol zabezpečený jednotný tlak 74 mm  $\text{H}_2\text{O}$  (=725,7 Pa), teplota sa udržiavala v intervale 25,2  $^{\circ}\text{C}$  – 25,4  $^{\circ}\text{C}$ . Meranie sa realizovalo aj pomocou Hanningovho okna, avšak pre lepšiu názornosť je uvedené len váhové okno uniform. Intonácia píšťal bola jednotná na základe dobovej predlohy, pričom intonácia bola vykonaná na tzv. plnú nohu<sup>12</sup> pri výške výrezu cca 1/3 zo šírky prednej dosky.

Signál z merného mikrofónu, ktorý sníma zvukový signál meranej organovej píšťaly, sa zosilňuje v mikrofónnom predzosilňovači a z jeho výstupu postupuje do distribútora, v ktorom sa rozdeľuje do dvoch ciest. Prvá cesta vedie do A/D prevodníka, kde sa tento digitalizovaný signál následne vyhodnocuje v akustickom softvéri. Sú-

<sup>12</sup> Noha píšťaly je otvorená naplno, bez vkladania drevených klinkov.



Obr. 2: Schéma meracej aparatúry

bežne sa signál zaznamená vo zvukovom programe, čím sa k analyzovanému spektru vytvorí zodpovedajúci zvukový súbor. Druhá signálová cesta z distribútora vedie do akustického analyzátoru, ktorý sa využíva na vyhodnocovanie hladiny akustického tlaku (SPL).

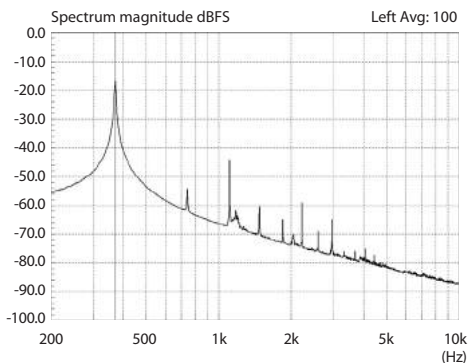
## Výsledok

Na analýzu sme vyrobili čo najdôkladnejšie kópie historickej píšťaly, pričom sme sa rovnako snažili aj o čo najpresnejšiu intonáciu. Tabuľka 4 zachytáva úrovne harmonických tónov meraného zvukového spektra originálnej píšťaly (Orig.) a experimentálnych píšťal (Graf 1 – 5).

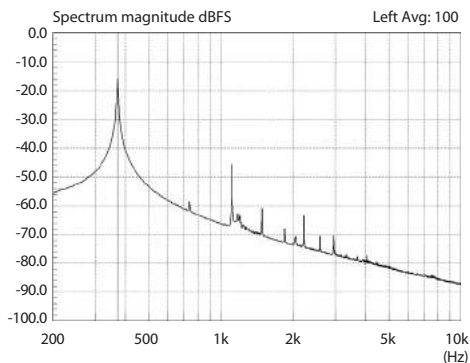
Tabuľka 4: Úroveň harmonických tónov frekvenčného spektra zvuku

Píšťala	Tlak (mm H <sub>2</sub> O)	Frek. (Hz)	SPL (dB)	Hmotnosť (g)	Rez dreva	1f [dBFS]	2f [dBFS]	3f [dBFS]	4f [dBFS]	5f [dBFS]	6f [dBFS]	7f [dBFS]	8f [dBFS]
Orig.	74	369,1	88,0	117,14	T	-6,58	-47,58	-24,81	-37,80	-57,65	-43,99	-57,24	-53,26
Graf 1	74	371,4	83,5	137,23	T	-16,89	-54,34	-44,20	-54,37	-64,73	-59,05	-69,19	-64,82
Graf 2	74	371,4	83,9	158,21	T	-15,96	-58,56	-45,53	-60,82	-67,88	-63,48	-70,51	-71,96
Graf 3	74	371,4	83,7	142,11	T	-17,08	-56,44	-44,95	-63,12	-65,20	-69,09	-65,69	-66,21
Graf 4	74	371,4	83,0	144,91	T	-15,93	-58,28	-45,17	-63,85	-68,30	-69,45	-74,18	
Graf 5	74	371,4	83,9	149,47	T	-15,94	-56,13	-43,69	-57,34	-67,97	-61,15	-74,77	-65,93

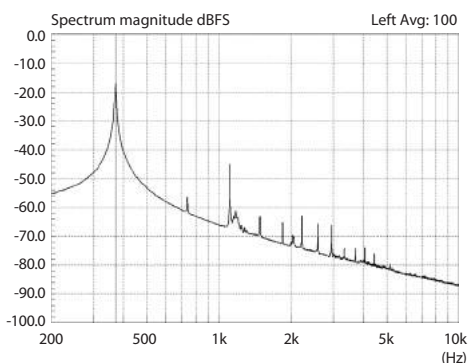
**Graf 1:** Frekvenčné spektrum zvuku 1. experimentálnej píšťaly, dub/smrek, tangenciálny rez, 371,4 Hz



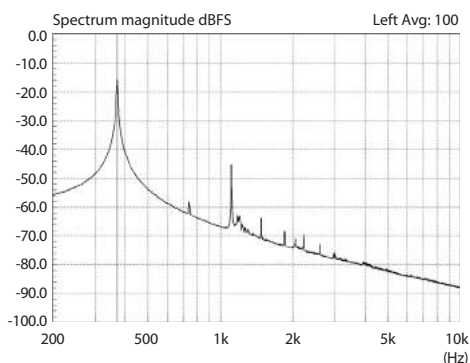
**Graf 2:** Frekvenčné spektrum zvuku 2. experimentálnej píšťaly, dub/smrek, tangenciálny rez, 371,4 Hz



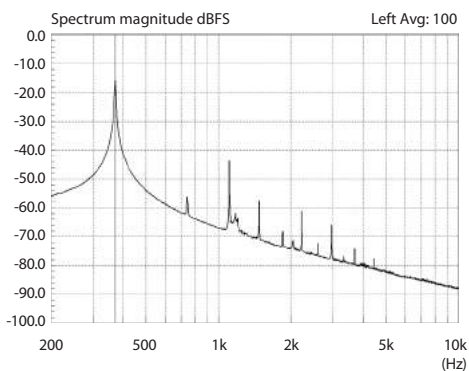
**Graf 3:** Frekvenčné spektrum zvuku 3. experimentálnej píšťaly, dub/smrek, tangenciálny rez, 371,4 Hz



**Graf 4:** Frekvenčné spektrum zvuku 4. experimentálnej píšťaly, dub/smrek, tangenciálny rez, 371,4 Hz



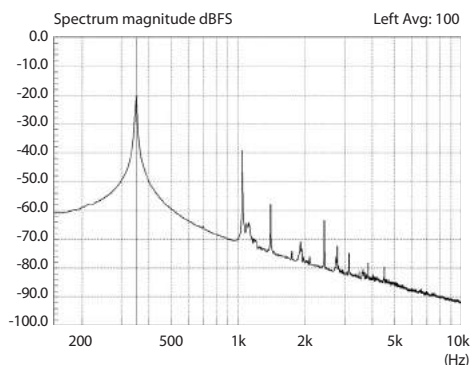
**Graf 5:** Frekvenčné spektrum zvuku 5. experimentálnej píšťaly, dub/smrek, tangenciálny rez, 371,4 Hz



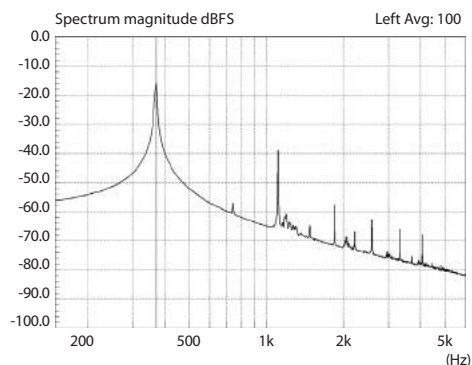
Na základe vyššie uvedených výsledkov môžeme konštatovať, že priebeh frekvenčného spektra zvuku sa do určitej miery líši od originálneho, ale zistili sme aj iný dôležitý fakt: pokiaľ máme tangenciálne rezaný smrek obyčajný na bočné a zadnú stranu, nedochádza k vytváraniu rušivej „šumovej“ zložky.<sup>13</sup> Pre väčšiu názornosť tohto zistenia sme uviedli aj grafy (Graf 1 – 5) frekvenčných spektier zvuku skúmaných experimentálnych píšťal. Tento jav sme zatiaľ skúmali len pri uvádzaných podmienkach a pri teplote 23°C, z tohto dôvodu je potrebné experiment rozšíriť aj o iné podmienky.

Okrem skúmania tzv. šumovej zložky v prípade smreka obyčajného sme podrobili výskumu aj samotnú prednú dosku, ktorá môže rovnako prispievať k tvorbe alebo eliminácii uvádzanej rušivej zložky. Na analýzu sme vytvorili ďalších 5 experimentálnych píšťal, ktoré mali predné dosky z rôznych drevín. Zároveň sme píšťaly postupne naladili na dve frekvencie, a to na 349,9 Hz a 371,4 Hz pri cca 23°C, čím sme vytvorili podmienky na porovnanie ich frekvenčného spektra zvuku, ak dôjde k zmene výšky ladenia, čiže k zmene výšky zvukového stĺpca. Výsledky uvádzame v nasledujúcich grafoch, ktoré poukážu na tvorbu rušivej zložky.

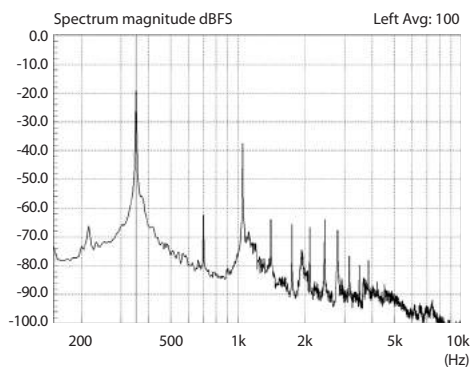
**Graf 6:** Frekvenčné spektrum zvuku, dub/smrek, radiálny rez, 349,9 Hz



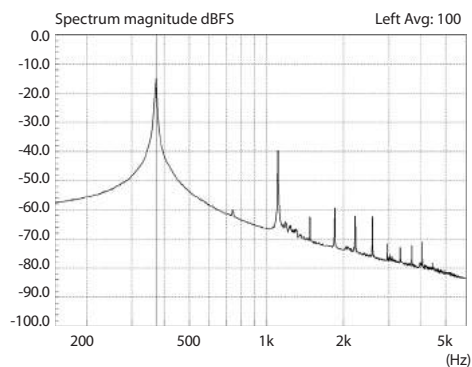
**Graf 7:** Frekvenčné spektrum zvuku, dub/smrek, radiálny rez, 371,4 Hz



**Graf 8:** Frekvenčné spektrum zvuku, smrek/smrek, radiálny rez, 349,9 Hz

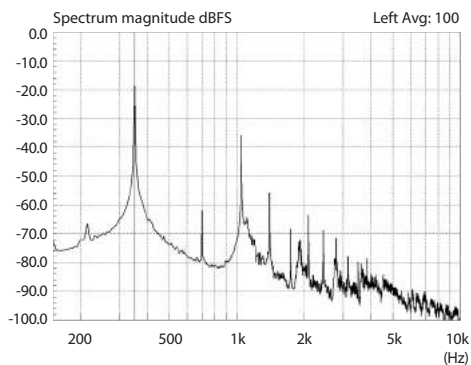


**Graf 9:** Frekvenčné spektrum zvuku, smrek/smrek, radiálny rez, 371,4 Hz

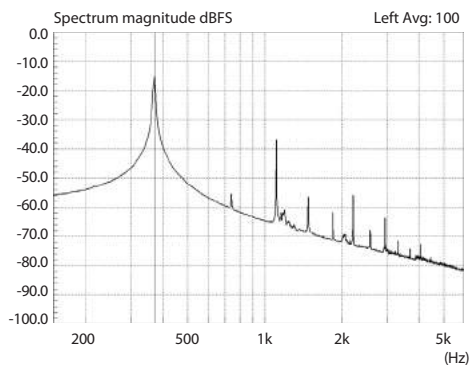


<sup>13</sup> Túto rušivú zložku treba ešte podrobiť skúmaniu, aby sme ju vedeli presnejšie definovať.

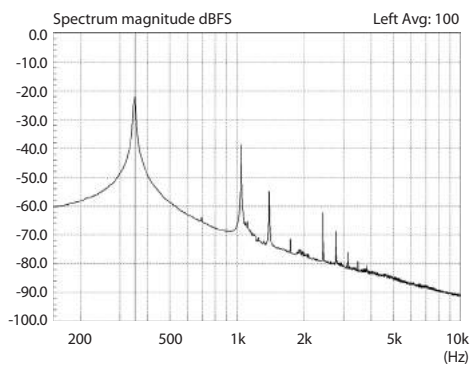
**Graf 10:** Frekvenčné spektrum zvuku, hruška/smrek, radiálny rez, 349,9 Hz



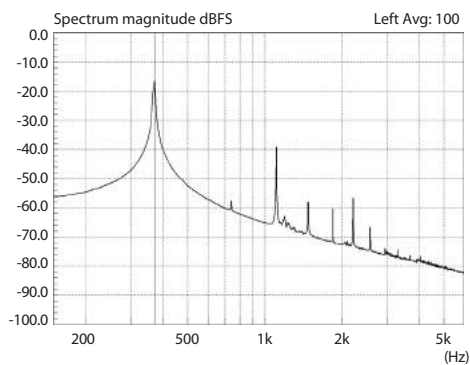
**Graf 11:** Frekvenčné spektrum zvuku, hruška/smrek, radiálny rez, 371,4 Hz



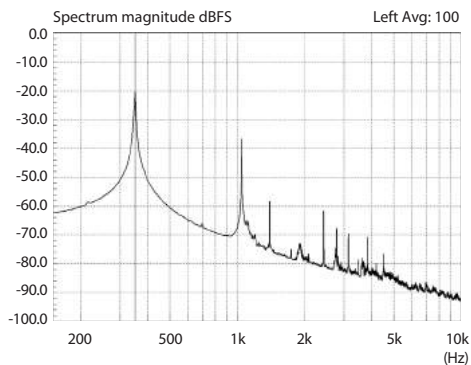
**Graf 12:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, 349,9 Hz



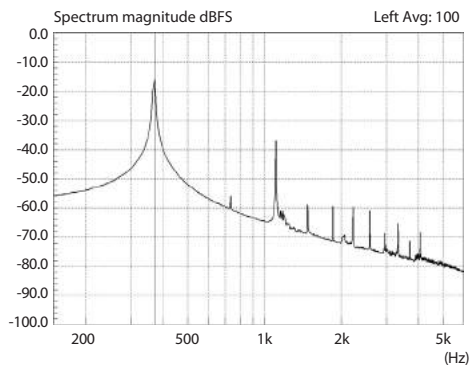
**Graf 13:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, 371,4 Hz



**Graf 14:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, 349,9 Hz



**Graf 15:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, 371,4 Hz



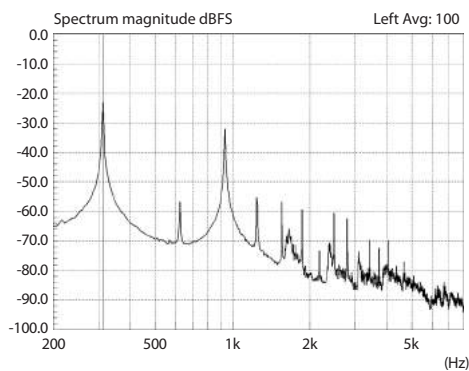
Vyššie uvedené analýzy (Grafy 6 – 15) prinášajú viaceré poznatky, ktoré dopĺňajú naše súčasné znalosti. Primárnym poznatkom je fakt, že pokiaľ pri skúmanej frekvencii 371,4 Hz a menzúre, ktorá je kópiou dobovej píšťaly, sme namerali rozdielne charakteristiky pri radiálnych a tangenciálnych rezoch, tak pri zmene frekvencie na 349,9 Hz, čo je zníženie na pravdepodobne dobovú úroveň<sup>14</sup> originálnej píšťaly, sme zmenu týchto charakteristík nezaznamenali.<sup>15</sup> Napriek tomu nás táto zmena ladenia priviedla k „sekundárnym“ poznatkom, ktoré poukazujú na fakt, že len píšťaly s dubovým a bukovým drevom na predných doskách si zachovali istý jednotný základ frekvenčného spektra zvuku bez rušivej a „šumovej“ zložky.

Na základe vyššie uvedených skutočností konštatujeme, že pri zmene výšky ladenia dochádza k zmene frekvenčného spektra, pričom táto zmena je rozdielna pre jednotlivé dreva aj rezy.

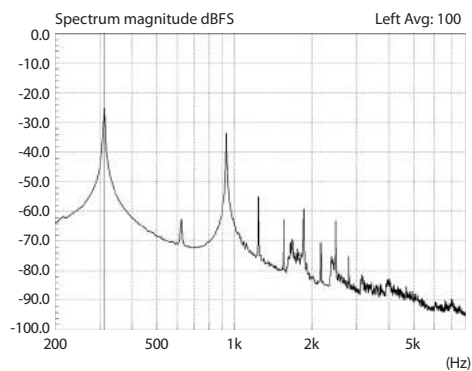
Z tohto dôvodu sme pripravili ďalšie dve vzorky píšťal (Grafy 16 – 51), ktoré sme podrobili analýze ich frekvenčného spektra zvuku pri rôznych zmenách výšky ladenia, pričom ostatné okrajové podmienky ako menzúra, tlak, ostali zachované. Výsledky sú nasledovné:

Frekvenčné spektrum zvukovej oblasti<sup>16</sup> tónu *dis* sa prejavuje pri definovaných podmienkach relatívne nevýrazným základným tónom v hodnotách aj pod -25 dB, pričom sa prejavuje výrazne tretí harmonický tón, čiže kvinta, a to v hodnotách cca -45 dB. Rušivá zložka je výraznejšia pri tangenciálnom reze, ale v závere oblasti sa vyrovnáva s radiálne rezanou píšťalou. Celkovo môžeme hodnotiť túto zvukovú oblasť ako mierne poddimenzovanú, čo sa prejavuje najmä v úrovni základného tónu.

**Graf 16:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, 312,2 Hz, *dis*



**Graf 17:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, 312,2 Hz, *dis*



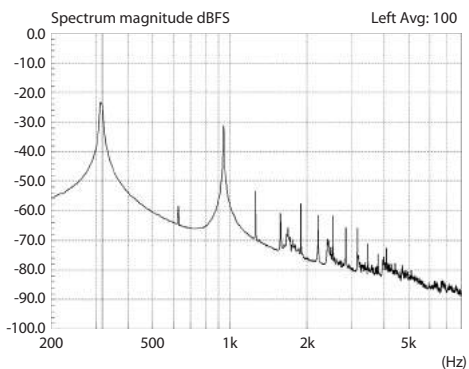
<sup>14</sup> V tejto oblasti sa mohla nachádzať frekvencia tejto píšťaly v minulosti, čo je potrebné skúmať, pričom to neovplyvňuje doterajšie zistenia.

<sup>15</sup> Toto platí pri porovnaní píšťal z buka/smreka pri tangenciálnom reze a pri radiálnom reze (grafy 12 – 13, 14 – 15).

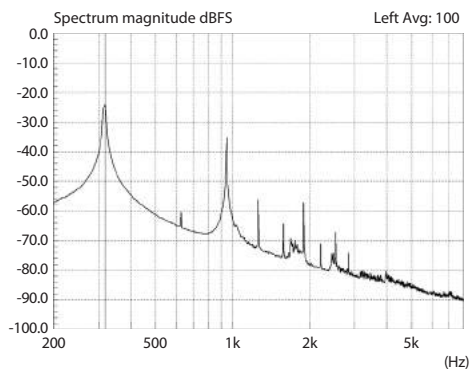
<sup>16</sup> Pod zvukovou oblasťou rozumieme samotný skúmaný tón v tomto prípade *dis* a ďalšie frekvencie nahor, v tomto prípade približne po dvadsať centov. Zvuková oblasť sa končí dosiahnutím ďalšieho poltónu, v tomto prípade *e*.



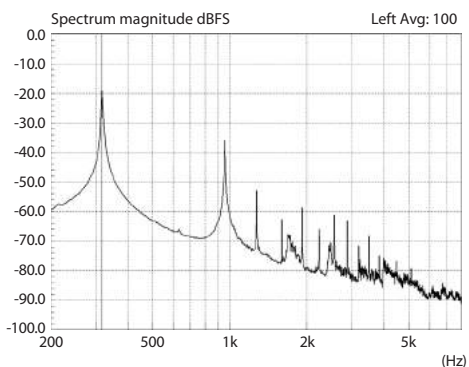
**Graf 18:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, dis + 20 centov



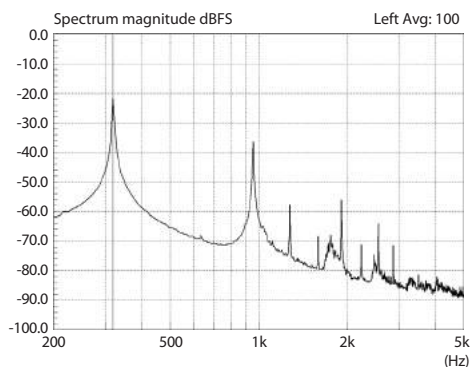
**Graf 19:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, 317,6 Hz, dis + 20 centov



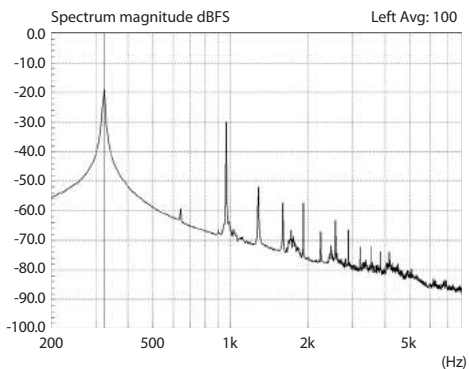
**Graf 20:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, dis + 40 centov



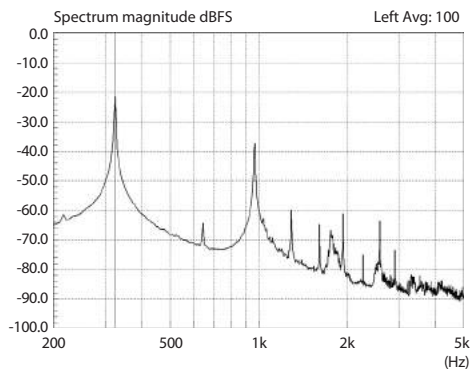
**Graf 21:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, dis + 40 centov



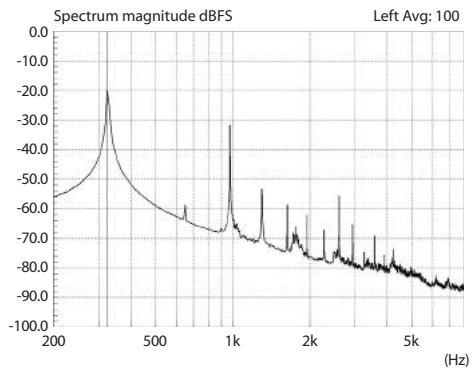
**Graf 22:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, dis + 60 centov



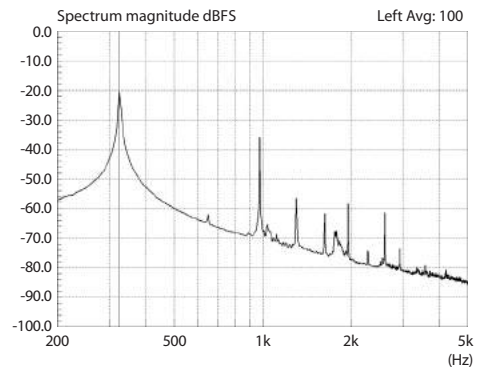
**Graf 23:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, dis + 60 centov



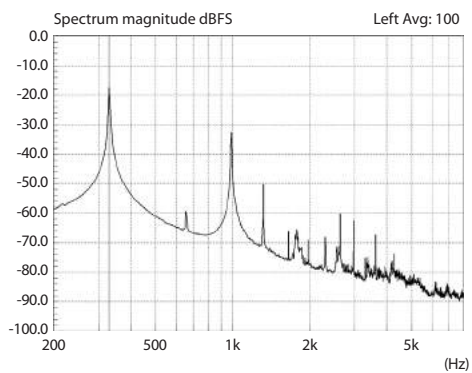
**Graf 24:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, dis + 80 centov



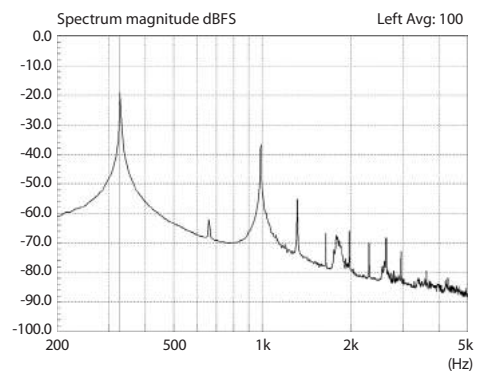
**Graf 25:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, dis + 80 centov



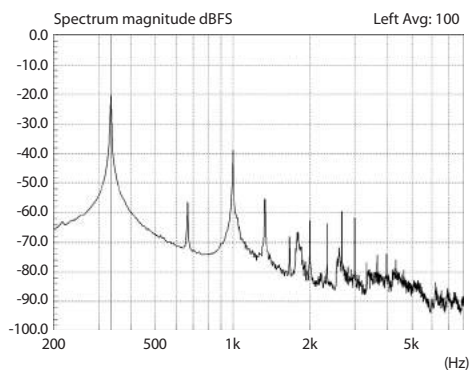
**Graf 26:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, e



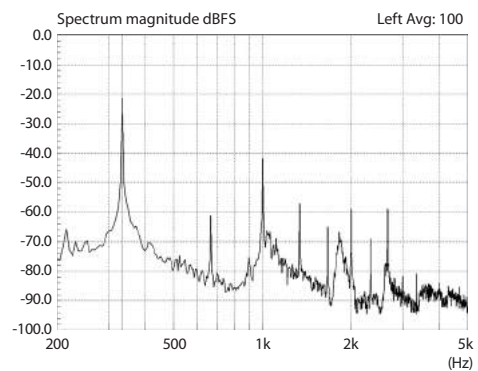
**Graf 27:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, e



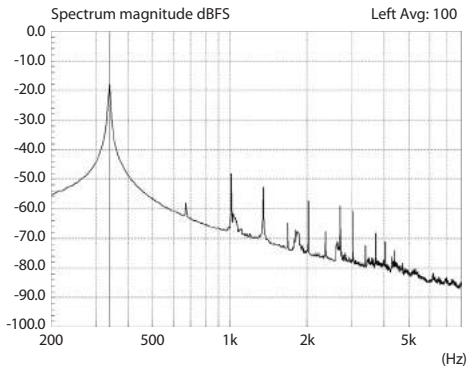
**Graf 28:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, e + 20 centov



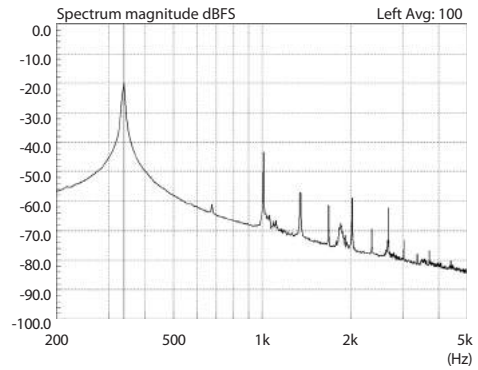
**Graf 29:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, e + 20 centov



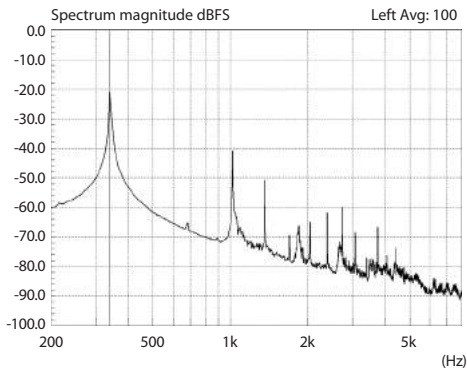
**Graf 30:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, e + 40 centov



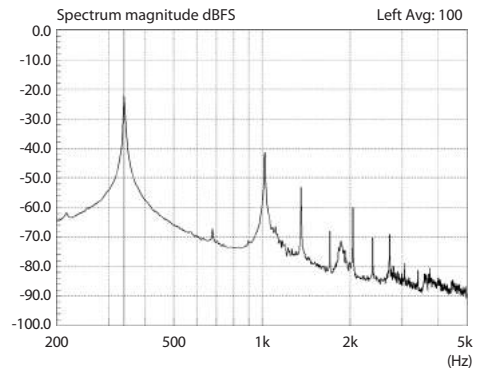
**Graf 31:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, e + 40 centov



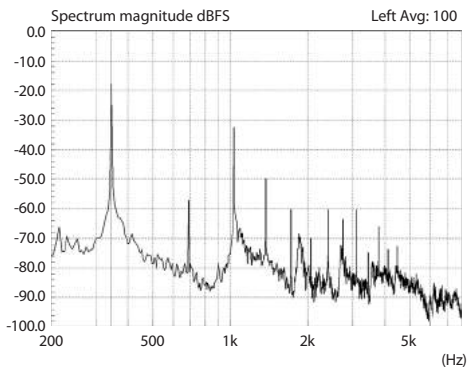
**Graf 32:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, e + 60 centov



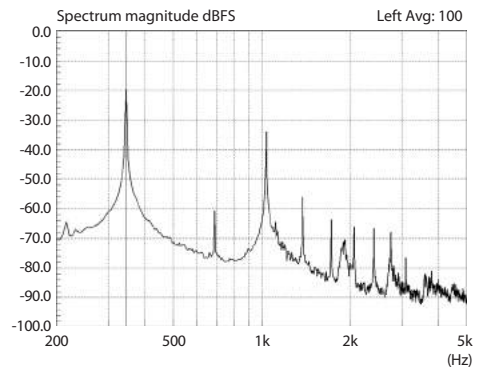
**Graf 33:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, e + 60 centov



**Graf 34:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, e + 80 centov

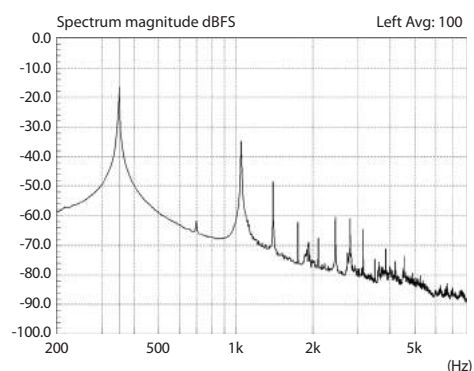


**Graf 35:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, e + 80 centov

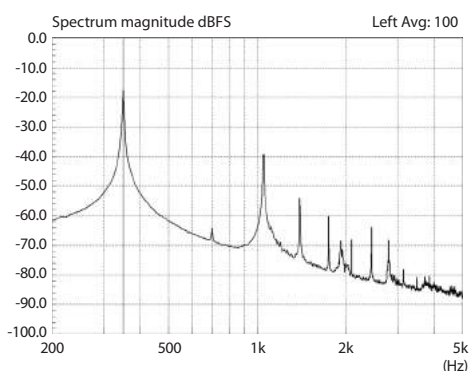


Tón *e* so svojou zvukovou oblasťou je oproti tónu *dis* omnoho diferencovanejším vo frekvenčnom spektre, čo sa prejavuje v odlišných priebehoch ich frekvenčného spektra zvuku. Zároveň môžeme konštatovať, že základný tón tejto oblasti sa začína stabilizovať na vyššej úrovni, aj keď občas s miernym výkyvom. Rovnako je zaujímavý priebeh kvinty (čiže tretieho harmonického tónu), ktorá už začína byť v pomere so základným tónom v nižších úrovniach. Okrem týchto charakteristík sa nám objavilo niekoľko veľmi dôležitých priebehov s dvoma základnými charakteristikami. Prvou charakteristikou, ktorú reprezentuje Graf 29 s radiálnym rezom a Graf 34 s tangenciálnym rezom, je tzv. spektrum s obsiahnutou rušivou zložkou, vidíme však výrazné amplitúdy jednotlivých harmonických tónov. Presným opakom sú Grafy 30 a 31, kde zaznamenávame veľmi čisté zvukové spektrum, ale s celkovo nižšou úrovňou. Pri „tangenciálnej a radiálnej“ píšťale zaznamenávame rozličný vývoj spektra pri preladovaní píšťaly počínajúc tónom *e* pri konštantnej zmene + 20 centov.

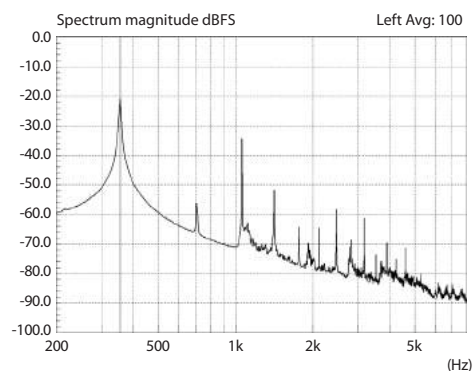
**Graf 36:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, f



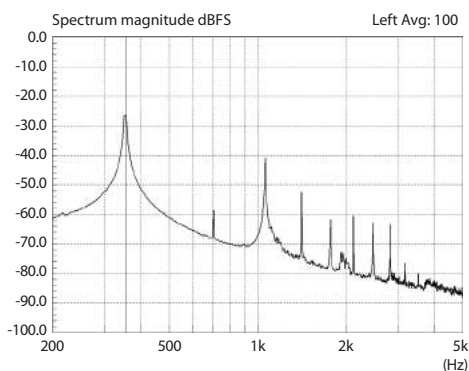
**Graf 37:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, f



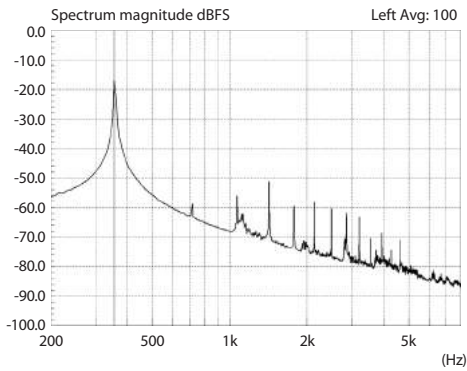
**Graf 38:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, f + 20 centov



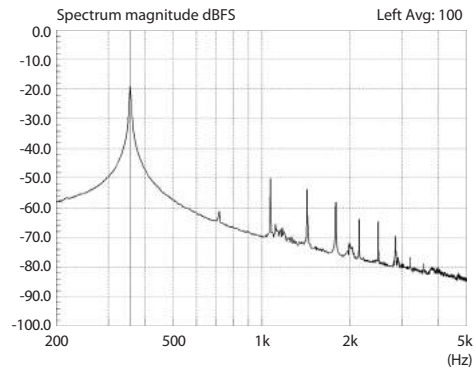
**Graf 39:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, f + 20 centov



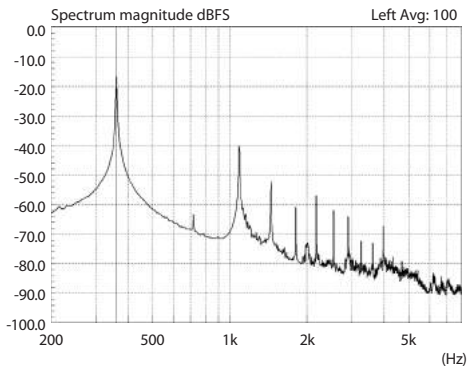
**Graf 40:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, f + 40 centov



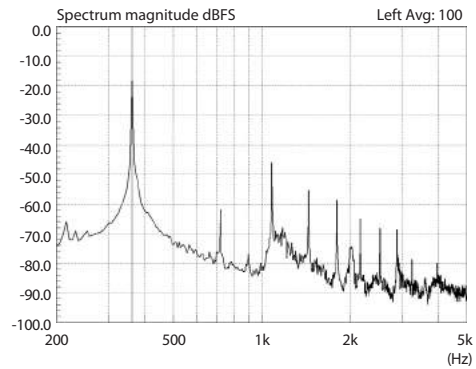
**Graf 41:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, f + 40 centov



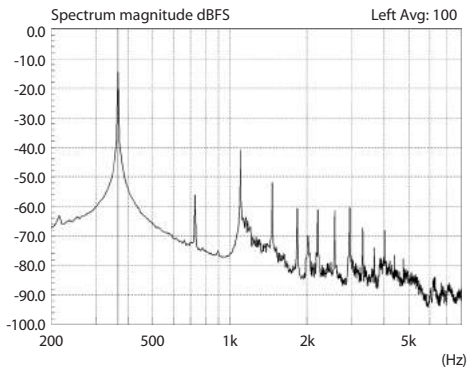
**Graf 42:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, f + 60 centov



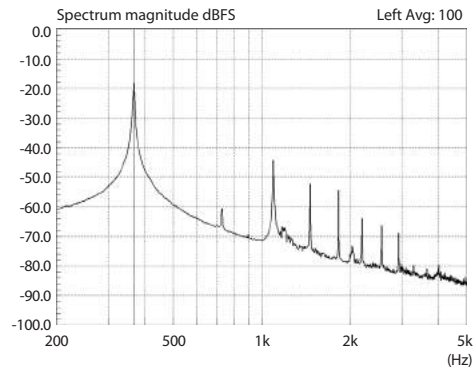
**Graf 43:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, f + 60 centov



**Graf 44:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, f + 80 centov

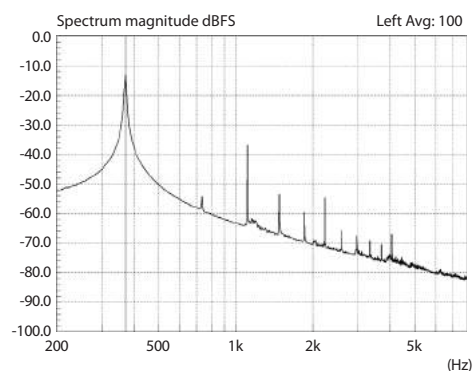


**Graf 45:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, f + 80 centov

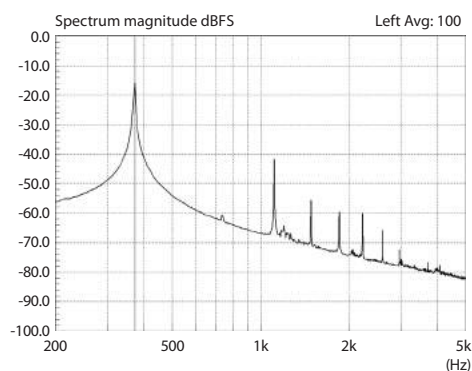


Tón *f* so svojou zvukovou oblasťou je charakterizovaný bohatým a zároveň výrazným frekvenčným spektrom zvuku. Túto skutočnosť vidíme na stabilnom a silnom základnom tóne, pričom tretí parciálny tón je v menších úrovniach. Samotné harmonické tóny zachytávame vo výraznejších hodnotách ako doteraz. Zároveň tu nachádzame frekvenčné spektrá, ktoré sú „poškodené“ tzv. rušivými zložkami – tieto spektrá reprezentujú Grafy 43 a 44. Najdôležitejšie spektrá reprezentujú Grafy 40 a 41, ktoré vykazujú vysoké hodnoty základného tónu, čo ukazuje na jeho stabilitu a zároveň pozorujeme plynulý exponenciálny pokles harmonických zložiek. Okrem toho pozorujeme nízku hodnotu druhého harmonického tónu, ako aj tretieho, čiže kvinty, ktorá má v porovnaní so základným tónom výrazne nízku hodnotu. Z toho vyplýva, že prevládajúcim bude v spektre základný tón. Obidve píšťaly pri tejto frekvencii majú subjektívne najlepší zvuk, ktorý sa prejavuje v už spomínanom spektre, ale zároveň aj v plnosti základného tónu. Čo je ale rovnako podstatné, pri tejto frekvencii dochádza k zhode frekvencie tónu a rezonančnej frekvencie vzduchového stĺpca. Toto je tzv. optimálny režim skúmanej píšťaly.<sup>17</sup>

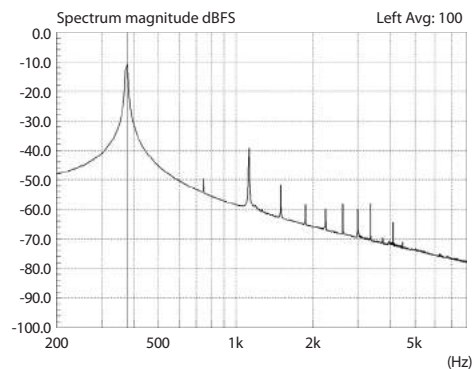
**Graf 46:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, fis



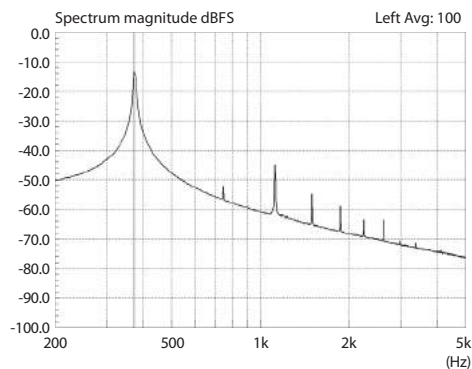
**Graf 47:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, fis



**Graf 48:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, fis + 20 centov

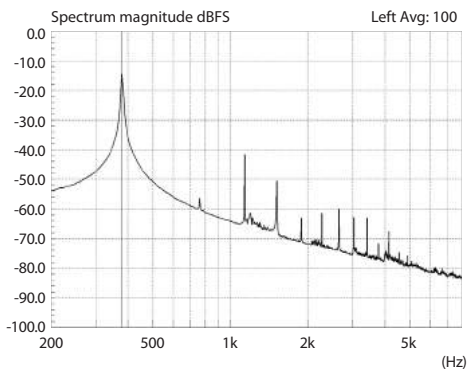


**Graf 49:** Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, fis + 20 centov

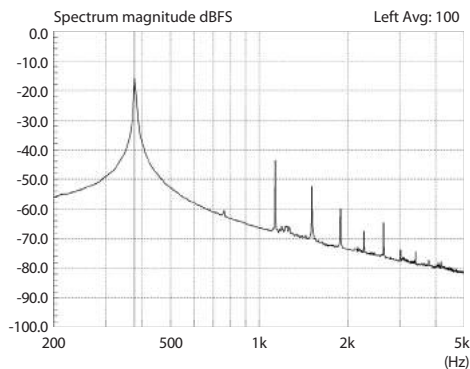


<sup>17</sup> SYROVÝ, Václav: *Kapitoly o varhanách*. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2004, s. 31.

Graf 50: Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, tangenciálny rez, fis + 40 centov



Graf 51: Frekvenčné spektrum zvuku, buk/smrek, radiálny rez, fis + 40 centov



Posledné skúmané zvukové pásmo týchto píšťal bolo na tóne *fis*, ktoré má veľmi charakteristické frekvenčné spektrum. Okrem jasného základného tónu, a to veľmi výrazného, je frekvenčné spektrum zvuku veľmi čisté, v podstate bez „rušivej“ zložky, avšak harmonické tóny sú buď nevýrazné, alebo veľmi nepravidelne rozmiestnené. Výraznejší rozdiel medzi frekvenčným spektrom píšťaly z radiálne píleného a tangenciálne píleného smreka obyčajného sme v podstate nezaznamenali. Jediný rozdiel môžeme zaznamenať v počte tvorených harmonických tónov v tejto oblasti, ktoré sa viac vytvárajú pri „tangenciálne rezanej píšťale“ ako pri „radiálne rezanej“.

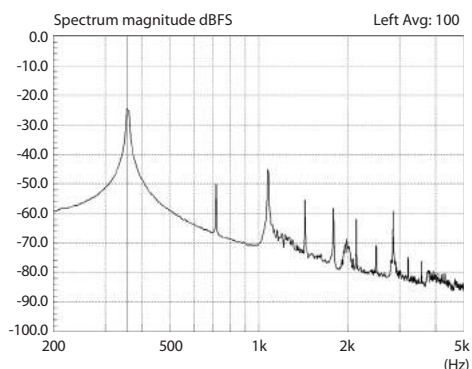
Vyššie uvedená analýza dvoch píšťal, ktoré sú zložené z tangenciálne a radiálne pílených dosiek, priniesla poznatky o charakteristikách frekvenčného spektra pri použití píšťal z rôzneho dreva a rôznych rezov. Tieto nové poznatky vieme definovať nasledovne:

- Jednotlivé rezy smreka obyčajného vytvárajú pri rôznych frekvenciách rôzne frekvenčné spektrá zvuku.
- Napriek rôznym rezom dreva pri rezonančnej frekvencii 355,3 Hz a danej menzúre dosahujú obidve píšťaly svoj vlastný rezonančný mód, čo znamená, že vlastná rezonancia píšťaly je naviazaná na menzúru píšťaly, a nie na materiál.
- Materiál píšťal ovplyvňuje frekvenčné spektrum zvuku len do určitej miery, ako rozhodujúca sa javí menzúra píšťaly a intonácia, pričom netvrdíme, že poznatky z ďalšieho materiálového výskumu nemôžu priniesť nové výstupy. Keďže tieto vlastnosti platia len za týchto okrajových podmienok, dôležité je viesť výskum aj pri zmenených podmienkach, hlavne čo sa týka použitého tlaku.
- Z experimentu vyplýva, že bočné a zadné steny píšťaly nie sú také dôležité ako predná doska, čo prináša do reštaurovania už poškodených píšťal drevokazným hmyzom úplne nový pohľad.
- Súhrnne môžeme povedať, že najdôležitejšia je menzúra a predná doska píšťaly, pričom nemôžeme zabúdať, že toto zatiaľ platí len za týchto spomínaných okrajových podmienok. Znamená to, že tieto experimenty bude nevyhnutné rozšíriť a niekoľkokrát zopakovať.

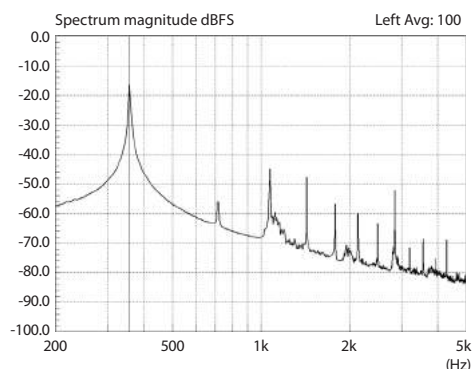
Na overenie spomínaného vlastného rezonančného módu sme vytvorili ešte ďalšie píšťaly z rôznych druhov dreva. Kombinácie sú nasledovné: dub zimný – predná doska / balza (*Ochroma lagopus*) – bočné a zadná doska; dub zimný – predná doska / smrekovec opadavý – bočné a zadná doska; smrek obyčajný / smrek obyčajný, čiže celá píšťala z jednej dreviny, okrem jadra, ktoré je všade podľa historických píšťal z duba. Týmto spôsobom sme dostali výsledky aj extrémne odlišných drev. Výsledky tohto experimentu sú viditeľné na nasledujúcich grafoch:

Na týchto troch grafoch (Grafy 52 – 54) je jasne viditeľné, že napriek diametrálnej materiálovej rozdielnosti dreva majú tieto píšťaly spoločný rezonančný mód, ktorý sa vytvára jednoznačne na základe stanovenej menzúry. Samozrejme, na grafoch vidíme aj mierne rozdiely v spektre, pričom najbohatšie spektrum badáme pri kombinácii dub a smrekovec opadavý, ktorý má experimentálne hrúbku bočných stien a zadnej strany 20 mm. Napriek tomu má rovnakú frekvenciu rezonančného módu ako ostatné experimentálne píšťaly.

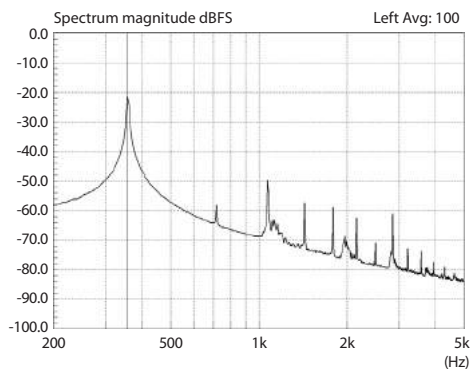
**Graf 52:** Frekvenčné spektrum zvuku, dub/balza, rezonančný mód – 355,3 Hz



**Graf 53:** Frekvenčné spektrum zvuku, dub/smrekovec opadavý, rezonančný mód – 355,3 Hz



**Graf 54:** Frekvenčné spektrum zvuku, smrek/smrek, rezonančný mód – 355,3 Hz





## Záver

Sumár poznatkov získaných prostredníctvom tohto výskumu a viacerých uvádzaných experimentov prináša niekoľko zistení o charakteristikách skúmaného dreva a o jeho vplyve na výsledné zvukové vlastnosti dreveného píšťalového fondu organov. Tieto získané poznatky môžeme zhrnúť do nasledovných bodov.

- Najdôležitejším poznatkom je zistenie, že kvalita zvukového spektra najviac závisí od menzúry píšťaly, intonácie, frekvencie tónu a tlaku prichádzajúceho vzduchu do píšťaly. Pri určitej kombinácii týchto podmienok sme dosiahli samotný rezonančný mód píšťaly, ktorého frekvencia by mohla zodpovedať frekvencii dobového ladenia. Do budúcnosti potrebujeme overiť ešte vplyv teploty miestnosti na tvorbu, resp. frekvenciu rezonančného módu.
- Zaujímavý výstup priniesol výskum vplyvu tangenciálnych a radiálnych dosiek na frekvenčné spektrum zvuku, kde sme zaznamenali rôzny vývoj, čo znamená, že pri niektorých frekvenciách prevažuje kvalita tangenciálneho rezu, niekedy opačne. Dôležité však je, že pri rezonančnom móde píšťal majú tangenciálne a radiálne dosky veľmi zhodné frekvenčné spektrum, až na malé detaily.<sup>18</sup> Keďže pri zmene frekvencie sme zachytili aj tvorbu „rušivých zložiek“, dôležité bude túto skutočnosť ešte preverovať a následne reflektovať pri zmene výšky ladenia historických organov.
- Výskum používania predných dosiek a ich vplyvu na tvorbu frekvenčného spektra zvuku píšťal poukázal na rozdiely pri jednotlivých použitých drevách. Aj pri zmenách frekvencie najčistejšie spektrum sme dosiahli pri prednej doske z duba zimného a buka lesného. Ostatné dreviny priniesli horšie výsledky, avšak aj do budúcnosti budeme túto otázku znova preverovať. Ak by sa tieto výsledky znovu potvrdili, znamenalo by to, že najdôležitejšia pre kvalitu tónu je predná doska. Z toho vyplýva, že pri poškodených historických píšťalách drevokazným hmyzom bude reštaurovanie, ale aj diagnostika, podliehať hlavne predná doska.
- Okrem vyššie uvedených zistení sme výskumom overili aj vzťah medzi fyzikálno-akustickými charakteristikami a frekvenčným spektrom zvuku, pričom výsledkom je fakt, že tieto charakteristiky nemajú vplyv na tvorbu základného rezonančného módu píšťaly. Zároveň však nevylučujeme ich vplyv na tvorbu jednotlivých harmonických tónov, čo bude potrebné do budúcnosti ešte overiť.
- Výsledky sú charakteristické pre aktuálne použitú intonáciu a menzúru, z čoho vyplýva, že ich bude potrebné overiť aj pri rôznych iných typoch intonácie a menzúr, ktoré sme v minulosti zaznamenali.<sup>19</sup>

Na základe vyššie uvedených výstupov môžeme konštatovať, že výsledky prinášajú aj dôležité aplikačné výstupy s presahom do reštaurovania, ktoré bude v budúcnosti

<sup>18</sup> Tieto minimálne zmeny vo frekvenčnom spektre zvuku môžu byť ovplyvnené aj veľmi malými rozdielmi v intonácii experimentálnych píšťal, pretože úplne rovnaká intonácia sa dosiahnuť v podstate prakticky nedá.

<sup>19</sup> Porovnaj: *Lexikon der Orgel*. Eds. Hermann J. Busch, Matthias Geuting. Laaber : Laaber Verlag, 2008, s. 340, 341. ŠTAFURA, Andrej. *Historické organy stredného Gemera. Konštrukcia a reštaurovanie historických organov*. [Dizertačná práca.] Školiteľ Jana Lengová. Bratislava : Ústav hudobnej vedy SAV, 2013.

potrebné ďalej prehľbovať a rozvíjať. Zároveň musíme povedať, že tieto poznatky do istej miery zmenili aj náš pohľad na problematiku, resp. výsledky upriamili ešte väčšiu pozornosť na vzťah menzúry píšťal, materiálu a zvuku.

Príspevok je výstupom grantového projektu Ministerstva kultúry Slovenskej republiky „Organológia v kontextoch I“ (2013).

## Bibliografia

- DANIHELOVÁ, Anna: Elastic characteristics of wood and their influence on vibrational properties of violin plates. In: *16<sup>th</sup> Conference of Slovak Physicists*. Košice : Slovak Physical Society, 2008, s. 33-34.
- DANIHELOVÁ, Anna: Relevant Physical Acoustics Characteristics of Spruce Wood as a Material for Musical Instruments. In: *Proceedings of the 8<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering wcte 2004*. Lahti, 2004, s. 491-494.
- DANIHELOVÁ, Anna: Wood characteristics and acoustic quality of musical instruments. In: *ACOUSTICS High Tatras 2009 : Proceedings of the ACOUSTICS High Tatras 2009 “34<sup>th</sup> International Acoustical Conference – EAA Symposium” [CD Rom]*. Nový Smokovec : Technical Univerzity in Zvolen, 2009.
- GEJDOŠ, Miloš: *Hlavné dreviny SR v obchode s drevom*. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: [[http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna\\_struktura/lesnicka\\_fakulta/organizacne-clenovanie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/kontakt/smrek-obycajny.html](http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenovanie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/kontakt/smrek-obycajny.html)]: Zvolen, 2012, Cit.: 07. 04. 2014
- GEJDOŠ, Miloš: *Hlavné dreviny SR v obchode s drevom*. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: [[http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna\\_struktura/lesnicka\\_fakulta/organizacne-clenovanie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis\\_studentom/hlavna-dreviny/dub-zimny.html](http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenovanie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis_studentom/hlavna-dreviny/dub-zimny.html)]: Zvolen, 2012, Cit.: 07. 04. 2014
- GEJDOŠ, Miloš: *Hlavné dreviny SR v obchode s drevom*. Elektronický zdroj. Dostupné na internete: [[http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna\\_struktura/lesnicka\\_fakulta/organizacne-clenovanie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis\\_studentom/hlavna-dreviny/buk-lesny.html](http://www.tuzvo.sk/sk/organizacna_struktura/lesnicka_fakulta/organizacne-clenovanie/katedry/katedra-lesnej-tazby-logistiky-melioracii/servis_studentom/hlavna-dreviny/buk-lesny.html)]: Zvolen, 2012, Cit.: 07. 04. 2014
- JAKOB, Friedrich: *Die Orgel und das Metall*. Männedorf : Orgelbau Kuhn, 1998.
- Lexikon der Orgel. Eds. Hermann J. Busch, Matthias Geuting. Laaber : Laaber Verlag, 2008.
- MAYER, Marian Alojz: *Dejiny organa na Slovensku od najstarších čias po súčasnosť*. Bratislava : Divis-Slovakia s.r.o., 2009.
- SYROVÝ, Václav: *Kapitoly o varhanách*. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2004.
- ŠTAFURA, Andrej: *Historické organy stredného Gemera. Konštrukcia a reštaurovanie historických organov*. [Dizertačná práca.] Bratislava : Ústav hudobnej vedy SAV, 2013.

## Resumé

### EVALUATION OF THE WOOD OF ORGAN PIPES IN TERMS OF THE SOUND SPECTRUM AND PHYSICO-ACOUSTIC CHARACTERISTICS

The paper is concerned with evaluation of the wood used in the manufacture of wooden organ pipes, in terms of the influence of the wood on the sound qualities of the organ pipes. We carried out the analyses on an experimental stock of pipes by means of trials of various types. We took as our starting point the findings of fieldworkers on the historical organs of Central Gemer, which point to variability in the manner and quality of use of the individual kinds of wood for the manufacture of our historical wooden registers. The field research took account not only of the quality and type of the wood but also of its various primary and secondary modifications.

The field research was followed by a sound analysis of five wooden pipes of tangentially cut wood. In all of these cases the front board was made of winter oak (*Quercus petraea*) and the side walls from tangentially cut Norway spruce (*Picea abies*). Measurement resulted in the finding that under defined identical conditions the tangential cutting of the side walls suppresses the disturbing or humming component. Subsequently we also made an analysis of the front boards of the pipes, having used several types of wood in their creation. The side walls and rear wall were made from radially cut wood, while in the case of one pipe the cut was tangential. From these experiments it turned out that under identical conditions the least disturbing component was produced by winter oak (*Quercus petraea*) and woodland beech (*Fagus sylvatica*) with a front board at frequencies of 349,9 and 371,4 Hz. At the same time we discovered that with a change of frequency the sound spectrum itself notably changes, while the individual timbers with identical conditions at the extremities had differing spectra.

For this reason we made an experiment on further two pipes whose front board was made from common beech (*Fagus sylvatica*). The side walls and rear wall of the first model were made of radially cut Norway spruce (*Picea abies*); the side walls and rear wall of the second model were likewise made of Norway spruce but were, however, tangentially cut. We commenced the tuning of these pipes at a frequency of 312 Hz (for our *D sharp* note) and pushed it 20 cents upwards; we ended the measurement on the *F sharp* note + 40 cents. From this experiment we derived the thesis that the sound spectrum of organ pipes changes according to the pitch of tuning, while in certain frequencies it also reaches the point of producing a disturbing element, and this with both types of cuts. At the same time we discovered that both pipes, despite difference in the quality of the wood, have an identical resonance mode on the level of note *F* + 40 cents (355,3 Hz). To check the resonance mode we created three further experimental pipes from various types of wood (winter oak, balsa, deciduous larch, Norway spruce). This experiment also confirmed that given identical measure and other procedural conditions, the resonance mode is at the level of 355,3 Hz, even with diametrically different quality in timbers used.

In summary, we may say that the quality of the sound spectrum of wooden organ pipes depends to the greatest extent on the measure and intonation of the pipe, with a common resonance mode being achieved despite difference in the quality of the wood used to manufacture the trial pipes. Results point to the fact that the tangential and radial cuts, as well as the differing types of wood, turn out a different sound spectrum, which involves a change in the view we have hitherto held in connection with creating restorers' replicas. Pipes with tangentially cut wood cannot be replaced by pipes created from wood cut radially and vice versa (having regard to their differing sound spectrum). Furthermore, pipes of varying cuts have modes with a maximally disturbing component on various frequencies. Thus it may happen that this disturbing frequency is overlaid with the frequency of the current tuning of the register. At the same time, a further discovery of this research is that the front board plays a more important part in creating the sound, as compared with the side walls.