

3

Odstraňování vlivu velmi hlubokých a širokých nepůvodních vpichů/vrypů na jádřekovou varhanní píšťaly barokního typu na zvuk píšťaly

The elimination of impact of the deep wide unoriginal nicks/notches in the languid of the baroque type metal organ pipe on pipe sound

Zdeněk Otčenášek
ORCID: 0000-0002-9058-5377

Pavel Dlask
AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ, PRAHA

ABSTRACT

This article describes the impact of the numerous deep wide unoriginal nicks (notches) in the languid of the metal organ pipe on sound and how they can be eliminated. The acoustical verification of the elimination technique is objectively documented on the sound spectra changes among the original pipe (without nicks), when the deep notches are made, when the notches are eliminated by smoothing and when the languid is replaced by a new one (without nicks/notches). This verification method suggests that one of the options for the deep nicks impact elimination is the replacement of the straight languid and its flat bevel. The method of smoothing is appropriate only for tenuous punctures (nicks) and is not applicable for deep numerous notches.

1. Úvod

Zvuk varhanní píšťaly může být v průběhu let od jejího vyrobení a prvního naintonování různým způsobem měněn. Změny mohou nastat jak poškozením, tak záměrně. Jednou z možností, jak při intonaci kovové varhanní píšťaly velmi účinně upravit zvuk, je vytvoření vpichů, vrypů či zářezů na přední hraně jejího jádra v místech, kde vzduch vychází průlinkou z nohy píšťaly (základní přehled intonačních úkonů na retné varhanní píšťale viz např. (www1), zobecňující kompilaci i další dostupné prameny lze nalézt

v (Z. Otčenášek, P. Dlask, V. Syrový, V. Hruška, J. Otčenášek, 2018). Tento způsob změny zvuku se používá už po staletí. V různých dobách a zemích se ale tato praxe lišila. Pro barokní principálové píšťaly je obvyklé, že většinou vpichy neměly (v souladu s používanými nízkými tlaky). Dosavadní dokumentace a restaurátorské průzkumy potvrzují, že v období baroka se na území České republiky u kovových píšťal principálových menzur objevovaly vpichy na jádrech jen u některých nástrojů a u nich vždy jen v omezeném rozsahu. Byly-li vpichy použity již tvůrcem nástroje v barokní době, bylo jich na šířku labia nevelký počet (3 až 7) a byly v typickém velmi tenkém provedení, nepřilíš hluboké, vedené kolmo či šikmo k hraně jádra. U historických nástrojů v České republice lze i v nynější době nalézt původní principálové píšťaly, které odpovídají původnímu stavu, kdy stavitel varhan vpichy nepoužil. Mnohem častěji lze nalézt píšťaly s nepůvodními vpichy na jádrech, zejména tzv. romantického typu. U nich je počet na šířku labia obvykle dvojnásobný či trojnásobný proti původnímu množství. Tyto vpichy jsou hlubší, často i tvaru klínu (od základny klínu na horní hraně jádra se šířka i hloubka říznutí do materiálu směrem k noze zmenšuje). V uvedených případech můžeme na jedné píšťale rozlišit dva typy vpichů a rozeznat tak vpichy původní (tenké, nepřilíš hluboké) a nepůvodní (širší a středně hluboké). Méně častá, avšak z hlediska restaurování o to problematičtější je varianta, kdy celá přední hrana jádra je pokryta mnohočetnou souvislou řadou širokých a hlubokých zářezů tak, že připomínají zuby pily.

Obecně platí, že vpichy, vrypy a zářezy byly vytvářeny nástrojem s ostrím, které svíralo různý úhel. Od jemných vpichů špičatým nožem s úhlem ostří pod 20 stupňů (původní barokní nečetné vpichy), až po nástroj tvaru trojbokého štíhlého jehlanu (“šábru“), kde úhel ostří přesahuje i 60 stupňů. Výsledek záležel na tom, jak dlouhý nástroj byl, resp. jeho ostrá část. Čím kratší pracovní část nástroje, tím tupější úhel. Hloubka vpichu záležela na síle vyvinuté na nástroj. Materiál byl ostrím rozhrnut a vytlačen dolů i do stran, což se projevilo zvednutými “groty“ po stranách vpichu, které lze vyhlazením vracet zpět do místa vpichu.

Zatímco u vpichů (mnohem častější případ) byl materiál jádra “jen“ vytlačen z prostoru labia směrem dolů a vytvářel jakési vystupující hrboly na spodní, pohledově nepřístupné hraně jádra, hluboké pilovité vrypy (zářezy) byly často spojeny i s vyřezáním materiálu, tj. jeho ztrátou. Materiál, který byl hlubokým vrypem vytlačen, na jádře sice zůstal, ale vzhledem k tomu, že se vrypy dělaly vždy tlakem na nástroj směrem do hrany jádra, tak v tom místě také došlo k zhutnění materiálu. Tento způsob provedení vrypů současně představuje nejcitelnější, rozsáhlou degradaci autentického zvuku.

V posledních desetiletích se v rámci restaurování varhan prosazuje oprávněná snaha nepůvodní vpichy odstranit a eliminovat tak jejich vliv na zvuk. Odstranění prvního, častějšího typu romantických vpichů bylo řešeno v rámci výzkumného projektu NAKI DF12P01O-VV01, viz Technologický list č. 66/14 (Z. Otčenášek, P. Koukal, M. Švejda, O. Moravec, P. Dlask, 2014). Na základě akustických měření bylo ověřeno, že k eliminaci úzkých vpichů lze s relativně uspokojivým výsledkem použít jejich vyhlazování. Avšak problematika širokých, hlubokých a mnohočetných vrypů byla doposud z pohledu památkové péče

považována za nevyřešenou. U velkých vrypů se nedaří materiál nahrnout zpět a často jej není možné ani dostat zpět na původní místo. Žádná z technologií, které by v tomto případě připadaly v úvahu k jejich odstranění, nebyla doposud ověřena z hlediska svého vlivu na zvuk píšťaly.

U píšťal s širokými a velmi hlubokými vrypy bylo v restaurátorské praxi doposud možné postupovat jen dvojitým způsobem: 1) ponechat nepůvodní stav s širokými, velmi hlubokými vrypy, což s sebou vždy neslo silně neuspokojivý výsledek (zůstává nepůvodní narušení proudění vzduchu a degradace zvuku); 2) vyhlazovat hluboké, široké vrypy stejným způsobem, jako u mělkých a tenkých či středně širokých a středně hlubokých vpichů (u širokých a velmi hlubokých vrypů však chybějící materiál na jádře již nelze beze zbytku vyhladit, hrana jádra zůstává zvlněná a proudění vzduchu zůstává proti původnímu narušené). Pro účely akustického ověření technologie byl proto připraven ještě třetí postup: 3) rozříznutí píšťaly pod a nad jádrem (letovaným svárem) a vletování nového jádra s následným sletováním těla a nohy píšťaly.

Vsazení nového jádra však představuje velmi invazivní zásah do původní materie. U historických píšťal se jedná o velmi citlivou záležitost, kdy nevhodné řešení, případně jeho nekvalitní provedení by způsobilo další, z pohledu autenticity památky i zvuku, nepřijatelné poškození. K prezentovanému experimentálnímu ověření tohoto postupu proto nebylo možné použít historické píšťaly z restaurovaných varhan, bylo nutné tento úkol řešit na nově vyrobených experimentálních píšťalách – replikách, na kterých byly provedeny stejné změny.

Nepůvodní široké a velmi hluboké vrypy byly v minulosti dodatečně vytvořeny např. na píšťalách varhan v jezuitském kostele v Klatovech (Česká republika). Píšťaly a vrypy z těchto varhan proto posloužily jako vzor. Dle tohoto vzoru (historická kovová píšťala principálové řady SupOctava 2 tón d^1) bylo vyrobeno a naintonováno pět nových píšťal bez vpichů na přední hraně jádra. K akustickým měřením byly vybrány 4 z nich (viz Obr. 1), které měly nejpodobnější zvuk a spektrální charakteristiky (viz Obr. 4). Jedna sloužila pouze k nacvičení postupů a z měřených píšťal pak sloužila 1 jako referenční (zůstala ve výchozím stavu a byla používána pouze ke sledování opakovatelnosti měření měřicí sestavou). Všechny intonace prováděné v jednotlivých krocích byly realizovány jako „optimální“ k danému stavu píšťaly a použitému tlaku vzduchu 55 mm H_2O (539 Pa).

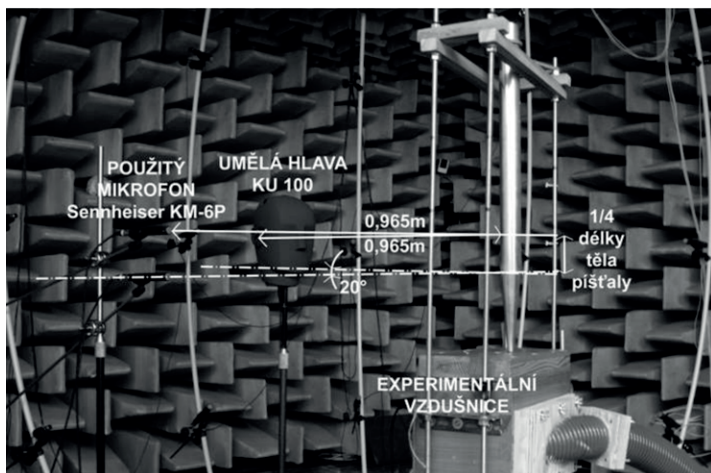
Ověřovány byly technologie odstranění vlivu hlubokých a mnohočetných vrypů na jádře pomocí klasické techniky vyhlazování a pomocí výměny takto narušeného jádra za nové. Cílem bylo přiblížit zvuk píšťaly původnímu znění. Plné dokumentování experimentu je zpracováno ve výzkumné zprávě Technologický list č. 89/18 (P. Dlask, Z. Otčenášek, Š. Kopeček, M. Vorlíček, P. Koukal, J. Otčenášek, M. Frič, V. Hruška, 2018). Celá tato zpráva má 30 stran a přes 30 grafů. Aby nebyl tento článek nepřiměřeně rozsáhlý, z každého kroku byly autory vybrány jen typické výsledky z jedné píšťaly, na kterých jsou zde jednotlivé kroky zdokumentovány a komentovány.



Obr. 1. Vzhled píšťal: vzorová píšťala (zcela nahoře) a výchozí stav jejich kopií (shora dolů) K1, K3, K4 a K5 vyrobených za účelem ověření restaurátorských zásahů akustickým měřením.

2. Metoda akustických měření a jejich zpracování (analýza)

Akustická měření byla realizována v bezodrazové místnosti na experimentální vzdušnici s elektromagneticky ovládaným ventilem (viz Obr. 2). Vzdušnice byla zásobována vzduchovým kanálem z experimentálního vzduchového systému s měchem a ventilátorem, jejichž umístění se nacházelo vně komory. Záznam zvuku byl realizován pomocí mikrofonu Sennheiser KM-6P (pro následnou spektrální analýzu) a pomocí umělé hlavy KU100 (pro poslechové testy). Mikrofon byl umístěn v ose píšťaly proti labiu ve vzdálenosti 965 mm od jejího těla a ve výšce 125 mm od průlinky. Střed hlavy byl umístěn 20° od osy píšťaly ve stejné vzdálenosti a výšce jako mikrofon. Měření probíhala vždy při tlaku vzduchu ve vzdušnici 55 mm H₂O, při teplotě v rozmezí 22,0 °C do 22,7 °C a relativní vlhkosti od 47,8% do 53,7%.



Obr. 2. Pohled na experimentální vzdušnici s měřenou píšťalou a použitý mikrofon s hlavou

Digitální zvukové záznamy byly realizovány s dynamikou 24 bit a vzorkovací frekvencí 48 kHz a uloženy ve formátu WAV. Ze záznamů byly pro poslech a spektrální analýzu vystřiženy kratší úseky. Úsek dokumentující rozeznění píšťaly (tranzient) měl začátek v okamžiku přivedení napětí na elektromagnetický ventil ve vzdušnici (v časovém průběhu čas 0 s) a konec následoval po 0,443 s.

Úsek dokumentující znění píšťaly (zakmitaný stav) byl vybrán v časovém rozmezí od 0,5 s do 2,0 s od začátku. Výpočet frekvenčního, resp. harmonického spektra byl realizován pomocí FFT. Pro výpočet vývoje spektra v tranzientu bylo použito časové okénko délky 42,66 ms (typu hanning) s posunem o 2,13 ms, pro výpočet spektra v zakmitaném stavu bylo použito okénko délky 682,66 ms (typu hanning) s posunem o 13,66 ms (okénko bylo posunuto celkem 60×) a výsledky byly průměrovány. Amplitudy spektrálních složek v prezentovaných grafech jsou vyjádřeny hladinami akustického tlaku SPL v dB vztaženými k referenční hodnotě 20 μ Pa.

Výsledky spektrálních analýz jsou prezentovány v grafech v kapitole 4. Tyto grafy zobrazují jak 2D frekvenční a harmonická spektra zakmitaných stavů (Obr. 12), tak 3D spektrogramy tranzientů (pseudo 3D grafy vývoje spektra, Obr. 13 až 16). V těchto spektrogramech jsou na ose y vyznačeny frekvence jednotlivých harmonických spekter získaných ze zakmitaného stavu. Lze tak sledovat, jak se frekvence jednotlivých harmonických spekter na počátku tranzientu od nich odlišují a po jaké době se na nich stabilizují. Z důvodu lepšího rozlišení začátku tranzientu jsou na Obr. 13 až 16 spektrogramy spolu s časovými průběhy akustického tlaku zobrazeny jen v úseku od 0 s do 0,26 s (i když byl měřen delší časový úsek). V obrázcích spektrogramu vidíme nástup amplitud jednotlivých spektrálních složek zdánlivě v čase dříve, než vidíme zvýšení hodnot v časovém průběhu akustického tlaku (viz srovnání horního a dolního grafu např. na Obr. 13). Toto je způsobeno délkou časového okénka použitého v jednotlivých časech k výpočtu spektra. Okénko bylo posouváno s krokem 2,13 ms a hodnoty spektra spočtené v určitém okénku byly v čase vždy umístěny na pozici středu okénka. Proto spektrální složky, které odpovídají prvním nenulovým hodnotám v časovém průběhu akustického tlaku, vidíme na spektrogramu o 1,065 ms dříve.

3. Experiment

3.1. Výchozí stav

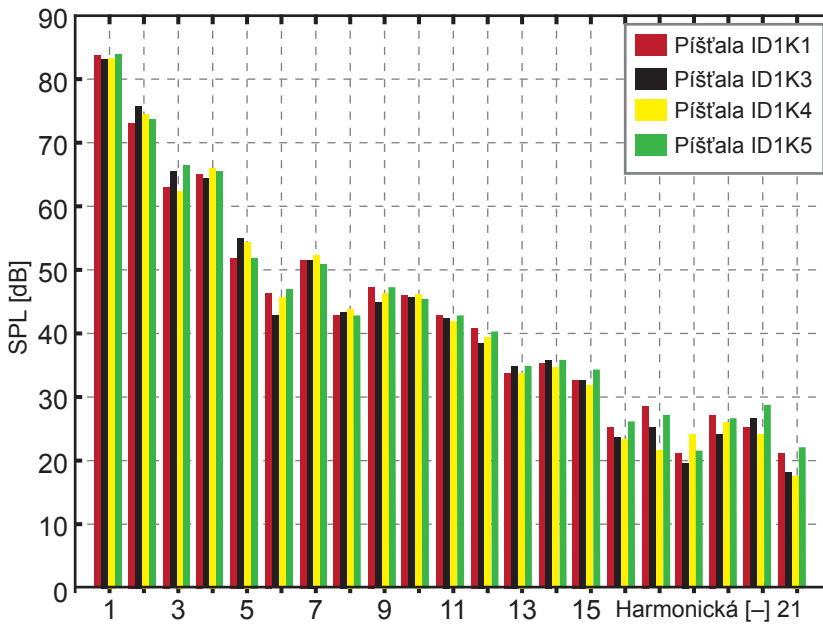
Nejprve byla provedena objektivní akustická měření základního stavu píšťal barokního typu bez jakýchkoli vpichů na jádře. Výsledky jsou v dalším textu označeny jako „výchozí stav“. Podobnost píšťal (viz Tab. 1) a jejich intonace byla ověřena v poslechovém testu a je patrná též z porovnání harmonických spekter zakmitaného stavu (znění) zvuku na Obr. 4. Podobné si byly i spektrogramy tranzientu, jejichž reprezentativní ukázka je na Obr. 13.

Tab.1. Výška tónu a vybrané rozměry měřených píšťal ve výchozím stavu.

Píšťala [-]	Tón [-]	Odcchylna [centy]	Základní frek. f_0 [Hz]	Délka těla [mm]	Výška výřezu [mm]	Šířka výřezu [mm]	Šířka průtlínky [mm]	Délka nohy [mm]	Průměr otvoru v noze [mm]
K1	d ¹	-26	289,33	530,5	10,90	34,60	1,20	171,0	9,60
K3	d ¹	-26	289,33	530,5	10,75	34,75	1,25	170,5	9,50
K4	d ¹	-26	289,33	530,5	10,70	34,70	1,15	171,0	9,55
K5	d ¹	-26	289,33	530,0	10,65	34,60	1,20	170,0	9,70



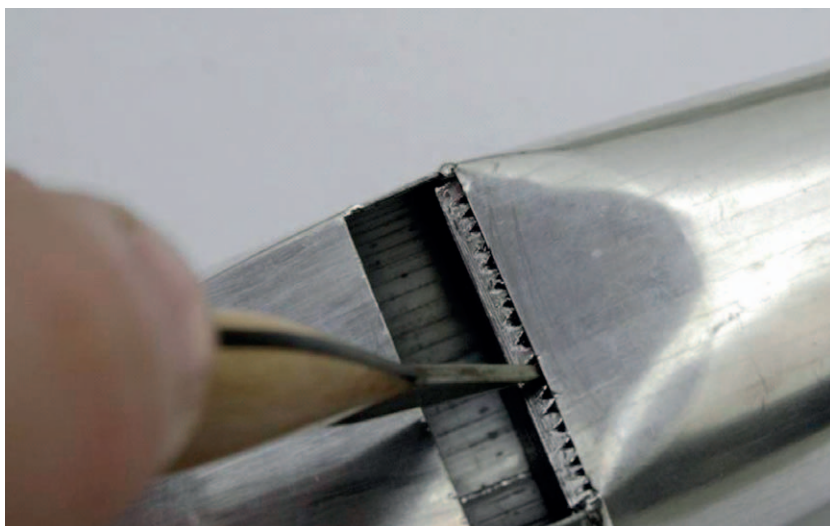
Obr. 3. Labium měřených píšťal ve výchozím stavu.



Obr. 4. Harmonické spektrum zakmitaného stavu píšťal K1, K3, K4 a K5 získané ze spektrální analýzy měření jejich výchozího stavu (K4 následně sloužila jako referenční, K2 nebyla měřena – sloužila pouze k návniku technologií).

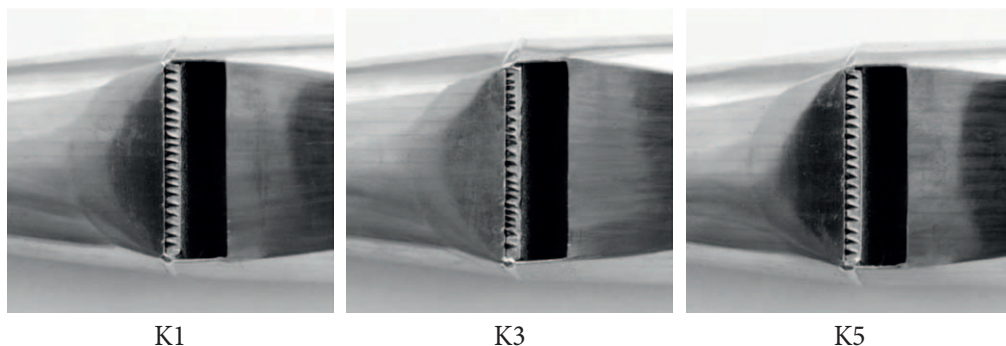
3.2. Vytvoření vrypů

Po výchozím stavu následovalo provedení výrazných vrypů na přední hraně jádra píšťal, které napodobovaly nepůvodní zásah (byla vytvořena mnohočetná souvislá řada širokých a hlubokých zářezů přibližně trojúhelníkovitého tvaru, která vzhledem připomíná zuby pily, viz Obr. 5 a 6). Materiál jádra byl ostřím rozhrnut a vytlačen dolů i do stran, což se projevilo zvednutými groty po stranách vrypu.



Obr. 5. Příklad vytváření vrypů na jádře.

Hloubka vrypu záležela na síle vyvinuté na nástroj. Vzhledem k novému a tvrdému materiálu jádra, omezenému přístupu k němu a lidským možnostem provedení se nepodařilo vytvořit vrypy shodně široké a hluboké, viz detaily na Obr. 6.



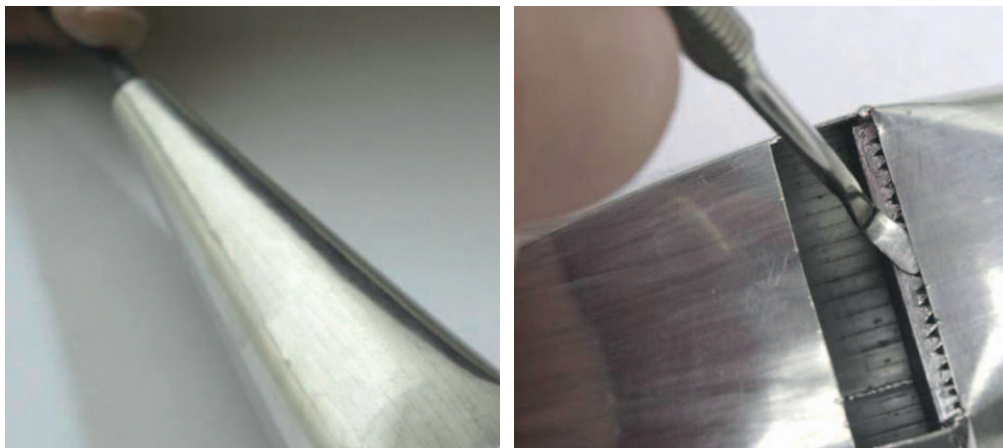
Obr. 6. Labium měřených píšťal K1, K3 a K5 s vytvořenými vrypy na jejich jádře.

Po tomto zásahu docházelo k přefukování píšťal při jejich nasazení (tlak ve vzdušnici zůstal stejný jako při měření výchozího stavu 55 mm H₂O). Z tohoto důvodu bylo nutné píšťaly dointonovat změnou polohy jádra. Ostatní sledované parametry píšťal zůstaly stejné jako ve výchozím stavu, viz Tabulka 1. Výška tónu se přitom snížila na cca 288,67 (přibližně o -4 centy).

U všech píšťal po vytvoření vrypů došlo k výraznému snížení amplitud vyšších harmonických a šumů. Je to patrné z ukázky harmonického spektra píšťaly K3 (viz rozdíl červeného a zeleného průběhu v Obr. 12 dole). U píšťaly K5 (nepublikováno) byl pak pokles ještě větší. Protože v návaznosti na zvýšení tlaku ve vzdušnici, které bylo prováděno při romantizujících úpravách, došlo k zvýšení amplitud těchto spektrálních složek, uvedené snížení amplitud bylo důvodem, proč byly píšťaly tímto druhem vrypů dodatečně upravovány.

3.3. Vyhlazení vrypů

V dalším kroku byla k obnově narušeného jádra použita klasická technologie vyhlazení. Její postup spočíval ve vrácení materiálu zpět, odkud byl vytlačen. Jelikož byl materiál jádra při tvorbě vpichů nejvíce vytlačen pod spodní hranu jádra, nejprve bylo nutné působit na přechýlající materiál zespodu. K tomu byl použit ocelový trn (kovová tyčka) zakončený velmi plochou „půlčočkou“. Trn byl zasunut otvorem v noze k hraně jádra tak, aby tětíva oblouku jeho konce přilehla k spodnímu labiu (viz Obr. 7 vlevo). Silovým působením na trn byl postupně přechýlající materiál vytlačován zpět nad hranu jádra. Uvedené vytlačování zpět bylo provedeno postupně po celé šíři přední hrany jádra.

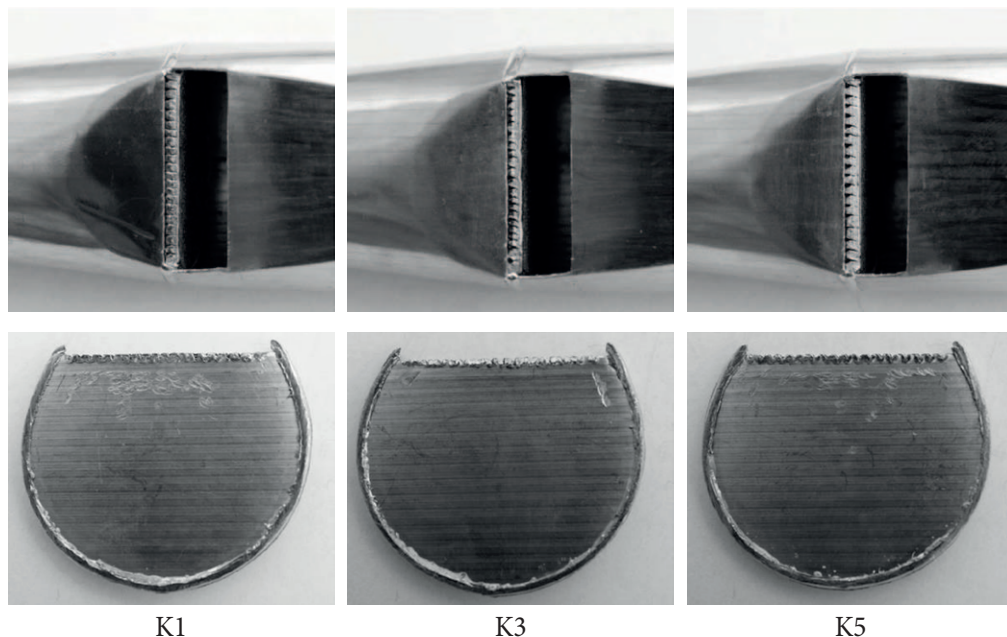


Obr. 7. Příklad vyhlazování vrypů na jádře píšťaly vnitřkem její nohy pomocí kovového trnu (vlevo) a z vnějšku z pohledové strany píšťaly pomocí kratšího kovového hladítka (vpravo).

Po dokončení působení z vnitřku nohy byl použit jiný trn (pro snazší manipulaci kratší) pro vyhlazení z čelní pohledové strany jádra. Při zachování stejného úkosu jádra byl zespodu vytlačený materiál vmačkáván do prohlubně vrypů, aby je doplnil a vyrovnal. K vyrovnání

sloužilo i přejíždění trnem po úkosu jádra přes celou šíři labia (viz Obr. 7 vpravo). Podle míry uchování materiálu se sice vrypy zmenšily, avšak nikdy nedošlo k jejich plnému vyrovnání (hrana jádra ani úkos nebyly rovné, viz Obr. 8). Podle potřeby bylo nutné popsáný proces opakovat.

Z důvodu pomalého nasazení píšťal bylo nutné po tomto zásahu píšťaly znovu dointonovat (opět změnou polohy jádra).



Obr. 8. Pohled na úkos jádra (nahore) píšťal K1, K3, K5 po použití klasické technologie vyhlazování a pohled na dolní stranu jádra (dole) s nedostatečně vyrovnanými vrypy. Presentovaný pohled na spodní stranu jádra byl možný až po jeho vyříznutí, viz následující technologický krok v podkapitole 3.d.

3.4. Výměna jádra

V tomto kroku byla k obnovení narušeného jádra použita technologie vyříznutí jádra a jeho nahrazení replikou jádra bez vrypů. Autoři neměli s tímto postupem zkušenosti a ani v literatuře nenašli žádné odkazy na její použití. Jelikož jde o zásah do celé konstrukce píšťaly, nebylo možné předvídat, zda celý postup vyříznutí jádra, jeho výroby dle vyříznutého vzoru a vletování do píšťaly nezmění poměry v průlince a labiu natolik, že ani po použití všech dalších intonačních postupů tento restaurátorský zásah nepovede k původnímu zvuku.

Postup vyříznutí a výměny jádra spočívá v provedení řady navazujících operací, které bylo nutné dodržet, aby technologie představovala co nejmenší zásah do původní konstrukce píšťaly. Nejprve bylo nutné před samotnou výměnou zdokumentovat výšku výřezu a šířku průlince píšťaly, aby je bylo možné následně obnovit! Dále byl pilkou proveden řez nohy (šířka

řezu byla cca 0,2 mm), který byl veden těsně pod úrovní jádra (cca 0,5 mm), viz Obr. 9 vlevo. Po oddělení nohy píšťaly (viz Obr. 9 vpravo) byl veden druhý řez těsně u horní hrany jádra (přímo v horní hraně jádra, aby se zachovalo co nejvíce materiálu z těla píšťaly). Následovala výroba co nejpřesnější kopie jádra v podobě, jak asi vypadalo před provedením vrypů (stejná síla materiálu, stejný úhel úkosu na jádře, případně, pokud by jej píšťala měla, tak by byla vytvořena i kopie fáze a protifáze). Dalšími operacemi bylo: vyrovnání deformací a srovnání hrany řezu na těle a na noze píšťaly a kontrola spodního lábia, zda nebylo poškozeno, když bylo s píšťalou manipulováno (případné nerovnosti či vpichy po působení řezacího nože byly zahlazeny pomocí labovacího železa či kovového trnu). Pak došlo k naletování nového jádra na nohu píšťaly. Následovalo sesazení píšťaly (Obr. 10 dole) a provedení příčného lotu nad jádrem. Nakonec byla provedena kontrola výšky výřezu a šířky průlinky a jejich dorovnání na původní rozměr. Závěrečnou operací bylo mytí píšťaly v horké vodě.

Vynikající kvalita odvedené práce při výměně jádra touto technologií je patrná z Obr. 10 vpravo. U žádné z těchto píšťal nebylo možné pohledově poznat, že jádra byla u těchto píšťal vyměněna. Stejně tak tomu bylo i u spekter (pro píšťalu K3 viz Obr. 12). Píšťaly byly po tomto zásahu dokonce v takovém stavu, že je nebylo nutné ani dointonovávat!

Vyříznutí jádra však byl invazivní zásah, při kterém došlo k nevratné změně materie a nevratnému zkrácení nohy a těla píšťaly (noha zkrácena o cca 1,0 až 1,5 mm a tělo o 0,5 až 1,0 mm). Ovšem ostatní sledované parametry píšťal zůstaly zachovány jako ve výchozím stavu, viz porovnání Tabulek 1 a 2.

Tab 2. Výška tónu a sledované rozměry měřených píšťal po výměně narušeného původního jádra za nové.

Píšťala [-]	Tón [-]	Odchylka [centy]	Základní frekv. f_0 [Hz]	Délka těla [mm]	Výška výřezu [mm]	Šířka výřezu [mm]	Šířka průlinky [mm]	Délka nohy [mm]	Průměr otvoru v noze [mm]
K1	d ¹	-18	290,67	529,5	11,00	34,60	1,20	170,0	9,60
K3	d ¹	-22	290,00	530,0	10,80	34,75	1,25	169,5	9,50
K5	d ¹	-26	289,33	529,5	10,70	34,60	1,20	169,0	9,70

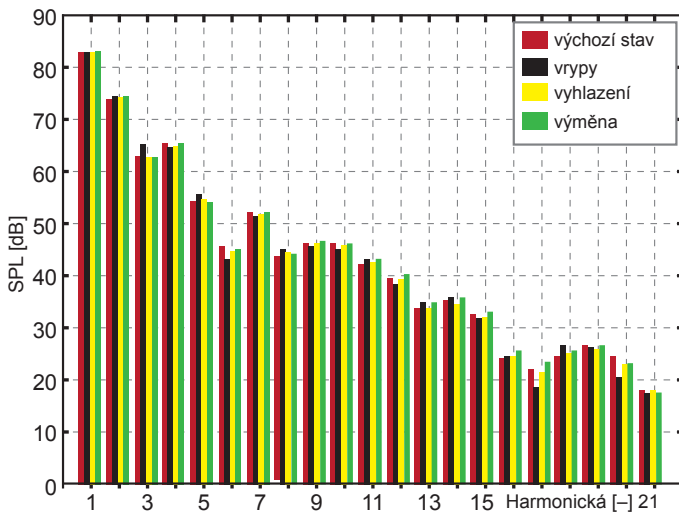


Obr. 9. Příklad řezání nohy píšťaly tenkou pilkou těsně pod úroveň jádra (vlevo) a stav po jejím úplném odřezání (vpravo).

Zkrácení akustické délky píšťaly odříznutím jádra (řez na šířku pily 0,2 mm) a následné vletování kopie vedl jen k zanedbatelnému zvýšení frekvence základní harmonické tónu (průměrně o 0,2%), které bylo srovnatelné se změnami mezi jednotlivými měřeními způsobenými změnou rychlosti šíření zvuku vlivem změn teploty a vlhkosti v experimentální místnosti (mezi prvními třemi měřeními byl odstup dnů, mezi vyhlazením a výměnou jádra pak více než celý měsíc). Uvedený vliv je možné sledovat i na harmonických spektrech z kontrolních měření referenční píšťaly K4, která upravována nebyla (viz Obr. 11).



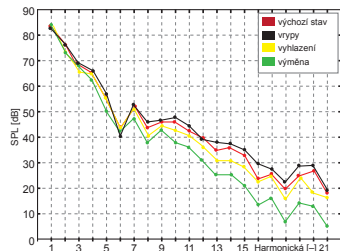
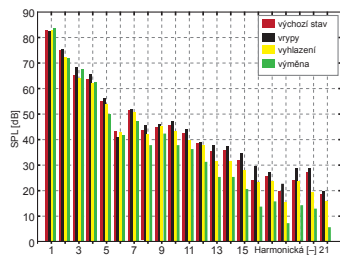
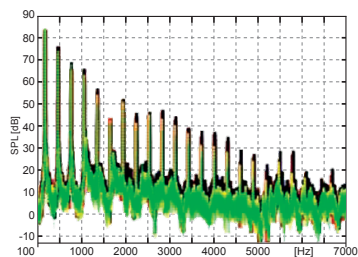
Obr. 10. Příklad stavu píšťaly po vyřezání jejího narušeného jádra (nahore) a stav po naletování nového jádra, sesazení a provedení příčného lotu nad jádrem (dole). Labium po výměně narušeného jádra za nové (vpravo).



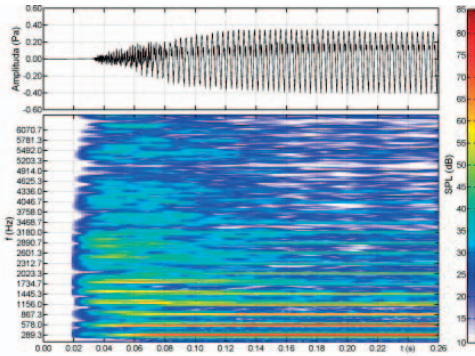
Obr. 11. Harmonické spektrum referenční píšťaly K4 v době, kdy byly měřeny ostatní píšťaly, tj. když byl dokumentován výchozí stav (červeně), stav po provedení vrrpů (zeleně), stav po klasickém vyhlazení (žlutě) a stav po výměně jádra (černě).

4. Výsledky akustických měření

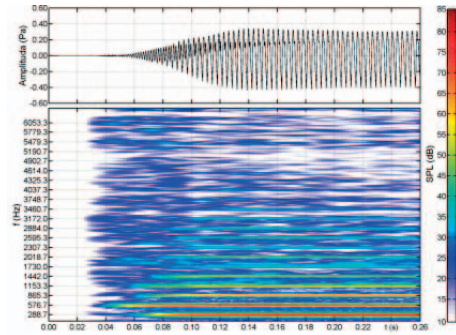
Výsledky jsou zde (viz Obr. 12 až 16) prezentovány jen pro jednotlivé stavy z měření píšťaly K3 (ostatní byly velmi podobné).



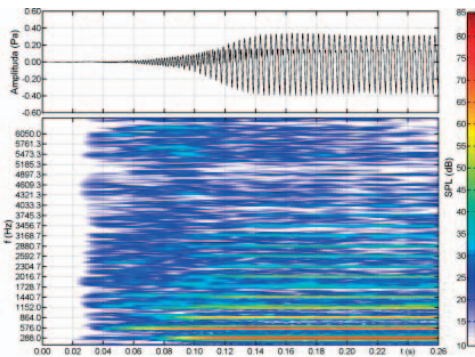
Obr. 12. Frekvenční spektrum (nahore) a dva typy harmonických spekter (uprostřed a dole) zakmitaného stavu píšťaly K3, získané z měření v jejím výchozím stavu (červeně), po vytvoření vrrpů (zeleně), po klasickém vyhlazení (žlutě) a po výměně jádra (černě).



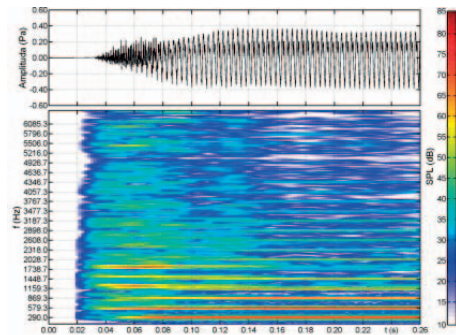
Obr. 13. Časový průběh akustického tlaku (nahore) a spektrogram tranzientu (nasazení) zvuku píšťaly K3 získaný ze spektrální analýzy měření jejího výchozího stavu (dole).



Obr. 14. Časový průběh akustického tlaku (nahore) a spektrogram tranzientu (nasazení) zvuku píšťaly K3 získaný ze spektrální analýzy měření po vytvoření mnohočetných a hlubokých vrypů (dole).



Obr. 15. Časový průběh akustického tlaku a spektrogram tranzientu (nasazení) zvuku píšťaly K3 získaný ze spektrální analýzy měření po vyhlazení vrypů klasickou technikou.



Obr. 16. Časový průběh akustického tlaku a spektrogram tranzientu (nasazení) zvuku píšťaly K3 získaný ze spektrální analýzy měření po výměně jádra za jeho repliku bez vrypů.

5. Zhodnocení výsledků ověření

Objektivní akustická měření prokázala, že vytvoření hlubokých vrypů na jádře způsobí výrazné změny ve zvuku píšťaly, což se projeví jak na spektru tónu v zakmitaném stavu, tak na spektrogramu v tranzientní části rozeznání tónu (viz srovnání výsledků analýz z výchozího stavu a po 1. restaurátorském zásahu). Nejsou-li tyto změny kompenzovány vysokým tlakem ve vzduchovém systému varhan, jak tomu bylo při romantizujících přestavbách varhan, jde o naprosto nevyhovující degradaci zvukového vyznění varhan. Experimenty potvrdily, že obnova zvukového vyznění při obnově původního barokního tlaku musí být doprovázena i odstraněním nepůvodních vrypů.

Dále se prokázalo, že v případě četných, širokých a hlubokých vrypů na jádře pouhé klasické vyhlazení trnem není dostatečně účinné, aby se obnovila hladká rovná plocha, což neumožňuje návrat k původnímu tónu. V zakmitaném stavu se po klasickém vyhlazení hladiny

vyšších harmonických složek ve spektru přiblíží původním hodnotám jen cca o 1/3 jejich poklesu vyvolaného hlubokými vrypy (což stále není dostatečné) a nepůvodní dlouhé nasazení tónu je touto technologií téměř nezměněno (zůstává stále nepřijatelné). Výsledky uvedeného klasického vyhlazení jsou navíc ještě značně neopakovatelné, jelikož velmi záleží, jak se u konkrétní píšťaly podaří vrátit materiál zpět ze spodní strany, což ve varhanářské praxi není možné bez endoskopické kamery kontrolovat. Výsledků blížících se v zakmitaném stavu uvedeným cca 1/3 původních hodnot je možné dosáhnout jen v případě, že se podaří vytvořit velmi hladký, jen málo zvlněný profil hrany a úkosu jádra.

Vyříznutí jádra s hlubokými vrypy se ukázalo jako značně reprodukovatelná metoda, i když i zde záleží na tom, zda nové jádro je přesnou kopií původního a jak dovedně a citlivě je provedeno vletování jádra a opětné sletování celé píšťaly. Spektra v zakmitaném stavu jsou si velmi blízká s původními. Poslechem zvuk nebylo možné rozeznat od původního. Největší přínos tohoto invazivního zásahu do původní materie je, že po výměně jádra dojde i k obnovení původního charakteru nasazení tónu (tranzientu).

Autoři jsou si vědomi toho, že tento výzkum a měření probíhaly na nových, velmi kvalitně vyrobených píšťalách. I když šlo o kopie historické vzorové píšťaly, jejich materiál před experimentem nepodléhal oxidaci a působení klimatických podmínek. Také jejich části včetně jádra a jeho pozice (podobně jako dalších dílů těchto nových píšťal) nebyly upraveny a narušeny opakovanými, často neodborně provedenými zásahy, jak tomu bývá u historických píšťal, kde se vyskytují ještě mnohé další nepůvodní deformace, materiálové vady apod. Ověření, že při použití technologie výměny jádra došlo u píšťal, jejichž materiálové a konstrukční vlastnosti nebyly ovlivněny dlouhou historií, k obnově zvuku, spektra a spektrogramu, není proto možné přímo přenést na historické píšťaly. Dosavadní výsledky ukazují, že jde o nadějný způsob řešení, který ale zatím neopravňuje k jeho široké aplikaci jako součásti restaurování historických píšťal památkově chráněných varhan. Využití technologie výměny jádra je možné výhradně jen u píšťalových varhan, které památkově chráněny nejsou. Je však zřejmé, že jde o novou cestu, která si vyžádá další experimentální výzkum, který bude nutné provést na vyřazených historických píšťalách (na originálech píšťal z Klavto to nebylo možné), tj. na výchozích objektech, které se od nových liší materiálem, kvalitou zpracování i výchozím stavem.

6. Závěr

Akustická měření objektivně prokázala, že k odstraňování hlubokých vrypů nepostačuje (tedy není vhodná) klasická metoda vyhlazování. Ověřeno bylo, že dostatečně akusticky reverzibilní je technologie výměny jádra, kdy po rozříznutí píšťaly v lotu je odstraněno narušené původní jádro a nahrazeno co nejpřesnější kopií. Tento postup je přípustný pouze u píšťal, které nejsou památkově chráněné.

Poděkování

Experimenty a článek byly podpořeny projektem NAKI II DG18P02OVV014. Na experimentálním ověření se podíleli: Marek Vorlíček, Štěpán Kopeček, Jan Otčenášek, Marek Frič, Viktor Hruška, Petr Koukal (viz zpráva v Technologickém listu 89/18; P. Dlask, Z. Otčenášek, Š. Kopeček, M. Vorlíček, P. Koukal, J. Otčenášek, M. Frič, V. Hruška, 2018), kterým patří zvláštní poděkování, že tento článek mohl vzniknout.

BIBLIOGRAPHY

www1: <http://www.orgel-info.de/aktuell.htm>, 23 X 2018. Janke, R. (2015): *Parameter die den Klang einer Labialpfeife beeinflussen*.

Otčenášek Z., Dlask P., Srový V., Hruška V., Otčenášek J. (2018): *Retná varhanní píšťala a její základní intonační nastavení*, Praha: AMU.

Otčenášek Z., Koukal P., Švejda M., Moravec O., Dlask P. (2014): *Změna zvuku kovové píšťaly barokního typu technologií vpichů na jádře*, Praha: MARC AMU, Technologický list TL66/14.

Dlask P., Otčenášek Z., Kopeček Š., Vorlíček M., Koukal P., Otčenášek J., Frič M., Hruška V. (2018): *Odstraňování vlivu velmi hlubokých a širokých nepůvodních vrypů na jádře kovové varhanní píšťaly barokního typu na zvuk píšťaly*, Praha: MARC AMU, Technologický list TL89/18.

SUMMARY

1. Introduction

For centuries, nicks in the languid of the labial metal could be found in organ pipes throughout the world. It is one of the techniques of pipe voicing adjustment (an overview of voicing techniques see e.g. in: [www1]; [Z. Otčenášek, P. Dlask, V. Srový, V. Hruška, J. Otčenášek, 2018]). The use of nicks differs between countries, districts, organ builder schools, and also between different cultural times. In Czech historical lands, the principal pipes in baroque period were built mostly without nicking (together with the used of low air pressures in windchest). If nicks were used than they were typically slim, low deep, and sparse (from 3 to 7 at languid width). Later, in romantic time, when some baroque organs were romanticized, nicks were doubled (up to tripled) and enlarged (being deeper, broader and wedged). Nowadays, Czech historical organs can be found with original baroque pipes without any modification (original state), with the addition of unoriginal romantic nicking later added to original pipes as well as pipes presenting both types of nicks concurrently. Less often we can find an organ with the pipes where the large number of deep broad notches were made at the edge of the languid resembling the teeth on a saw. In such cases the material of the languid was partly excised, and partly pressed and displaced below both the bottom edge and over the side walls of the saw teeth. In the last decades, when

historical organs have had to be restored to original stage, also restoration of original sound was required; the elimination of the unoriginal nicks influence on the sound is necessary. Since the saw notches introduce heavy damage to the languid material, their elimination is an ongoing problem yet to be solved. Nowadays, the restoration of such organ with the saw notches can be 1) kept the pipes unchanged (what gives unsatisfactory, not eliminated influence on sound) or 2) cleared away with the common technology of smoothing (proper for thin nicks (Z. Otčenášek, P. Koukal, M. Švejda, O. Moravec, P. Dlask, 2014); at saw notches, however not possible to get back the excised material and to correctly move back the displaced material; consequently the languid edge stay with the ripples). The present study verified a third possibility in which a new method of replacing the damaged languid by new ones is done.

Since the cutting of the languid and soldering of a replica is considered an invasive intervention, the method was experimentally verified on the copies of historical pipes with identical modifications made (the original pipe being untouched). A replica model of the historical principal metal pipe (SupOctava 2', tone d¹ [P. Dlask, Z. Otčenášek, Š. Kopeček, M. Vorlíček, P. Koukal, J. Otčenášek, M. Frič, V. Hruška, 2018]) from the Jesuit church in Klatovy (Czech Republic) was used (original can be seen in top of figure Obr. 1, replicas underneath). All copies were voiced at optimal sound for the air pressure in windchest of 55 mm H₂O (539 Pa). The copies had very similar sound (see spectra in figures Obr. 4). Similar results were obtained also after each modification of the pipes; therefore, only results from measurement of only one replica pipe are presented here.

2. Method

Acoustical measurements were performed in anechoic room (see figure Obr. 2). The recordings (wav format) were made with 24 bit A/D conversion, sampling frequency 48 kHz. The signal of tone attack was synchronized with the opening voltage of electromagnet of air valve (0 s). The FFT of spectrograms (see figures from Obr. 13 to Obr. 16) were computed with 42,66 ms hanning time window and 2,13 ms shift. The spectra (see figures Obr. 4, Obr. 11 and Obr. 12) are the average of 60x FFT with hanning time windows 682,66 ms and 13,66 ms shift.

3. Experiment

The sound recordings, the spectra analysis, and listening tests with recorded sounds were done after each step of pipe modifications.

3.1. The documentation of default manufactured pipes without nicks was the first initial step (see figures Obr. 1, Obr. 3, spectra are in Obr. 4, and spectrogram of pipe K3 in Obr. 13). The frequency of 1st harmonic f_o , pipe body length, cut-up height, cut-up with, slit breadth, foot length, foot opening diameter of measured pipes are in Tab. 1 (from left to right). The pipe K4 was used as a reference (without other alterations; the K4 spectra measured in the time after each step of other pipes show the temperature and humidity influence on results and repeatability of the method used, see figure Obr. 11).

3.2. In the second step the deep breadth saw notches were created (see figure Obr. 5). The notches were not accurately the same at all pipes (figure Obr. 6) but in spectra of all pipes we observed great lowering of both high harmonics (see difference between the red and green curves in figures Obr. 12) and noises (see sound pressure levels in figure Obr. 14).

3.3. In the third step the saw notches were cleared away by the common technology of smoothing. The material overhanging the languid edge from the bottom was pushed up from below by the metallic rod (see figure Obr. 7 left) through pipe foot. The saw teeth were aligned by other metallic tool by pushing both the material displaced from bottom and the tips of the saw tops back inside the teeth (see figure Obr. 7 right). After this step none of the pipe languid edges was straight (see languids after smoothing in figure Obr. 8 top; and languid detail viewed from the bottom after smoothed languids were cut out in next step see in figure Obr. 8 bottom).

3.4. The last step was the replacement of the languid by a new one. The authors were not experienced with this procedure. Firstly, all labial diameters were documented. Then a cut was made with a thin saw (cut width cca 0,2 mm) at the foot close to the languid (cca 0,5 mm) (see figure Obr. 9 left). The next cut was made in the upper edging of the languid (see languid in figure Obr. 10 top). Then the potential defects at foot, labium and pipe body were cleared and an accurate copy of languid was made (without nicks and notches). The languid replica was soldered at the foot and body (see figure Obr. 10 bottom). The cutting-up process of replacing the languid slightly changes the length of pipe and f_0 frequency (new values see in Tab. 2 in comparison with Tab. 1).

4. Acoustical results and assessment

The results of the acoustical analysis demonstrate that the creation of deep breadth saw notches at pipe languid produced major changes in the pipe's sound and tone attack. Changes were observed in the spectra of the established tone, the sound pressure waveforms and spectrograms of the starting part of the tone (figures Obr. 12 and Obr. 14). If the lowering of higher harmonics (green in figure Obr. 12) is not compensated by increasing the air pressure in the windchest (it was compensated in the case of organ romanticized modifications), a degradation of the organ sound can be noticed. The common smoothing method gives increasing of harmonic amplitudes at maximum 1/3 of their original values and therefore is not proper for the elimination of saw notches influence on pipe sound. When the sound of a historical organ needs to be restored, the windchest air pressure will be decreased when compared to the original baroque value and therefore it must be accompanied by the removal of the unoriginal saw notches. The results verify that, if the languid replica and soldering is done properly, and the languid cutting-up is replaced with a copy without notches, the original sound can be replicated. The sound before and after the substitution of the languid is not distinguishable when listen, and the spectra and spectrograms are similar (compare red and black curves in figures Obr. 12 or figures Obr. 13 and Obr. 16).

5. Conclusion

The authors are aware that the experiments were performed on new pipes in which the material was not corroded, and without damage what occasionally occur in historical organs. Therefore, the new languid cutting-up and replacing method of saw notches elimination can not be directly used on historical pipes. Additional experiments have to be carrying out in order to ascertain such possibility.

Klíčová slova/Keywords:

restaurování historických varhanních píšťal • vpichy a vrypy na jádře • výměna jádra • obnova zvuku
 historical organ pipe restoration • languid nicks and notches • languid replacement • sound renewal

Zdeněk Otčenášek

Research interests:

He is concerned with pipe organs, violins, guitars, singing voices. His studies are focused on feature of such source sound (spectral analysis and sound perception), on the principle of theirs sound production (vibration of strings, plates, vocal cord, lips, air particles, etc.), on sound perception (listening tests, perception dimensions of timbre and sound quality), and, especially in organs, also on the sound radiation inside a space.

Education:

- Czech technical university, Faculty of Electrical Engineering (FEL ČVUT Praha), degree: Ing.
- Specialized internship in the Intertechnique Paris (multi canal sound processing and analysis) and Cochlear Zurich (cochlear implants) firms.
- Post gradual studies at the Czech technical university, Faculty of Electrical Engineering, specialization in acoustics, degree: Ph. D.

Working experience:

Researcher at the Sound and Picture Research institute in Prague VÚZORT (listening test realizations, aural percept evaluations, sound quality ratings).

Head of the Musical acoustics research centre MARC of the Music faculty of Academy of performing arts in Prague. MARC deals with psycho-acoustics, listening test con-

duction, auditory perception, aural percept evaluation, quality analysis, sound feature and percept relations, singing and music instruments production, sound radiation and room acoustics)

Academic tuition:

Tuition of "Musical acoustics" and "Psycho-acoustics" at the Musical and dance faculty of the Academy of performing arts in Prague

[e-mail: zdenek.otcenasek@hamu.cz](mailto:zdenek.otcenasek@hamu.cz)

Pavel Dlask

Research interests:

He is concerned with musical instruments. His studies are focused anechoic sound recordings, spectral analysis, on laser interferometry, particle image velocymetry.

Education:

- Czech technical university, Faculty of Electrical Engineering (FEL ČVUT Praha), degree: Ing.

Working experience:

Researcher at the Musical acoustics research centre MARC of the Music faculty of Academy of performing arts in Prague.

[e-mail: pavel.dlask@hamu.cz](mailto:pavel.dlask@hamu.cz)