

## Kymografie rtů hráče na žestový nástroj, souvislosti s vibračními vlastnostmi hlasivek

V. Hruška<sup>1</sup>, M. Frič<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Výzkumné centrum hudební akustiky, HAMU Praha

- **Forma:** E-poster
- **Kategorie:** Hlas

### Úvod

Cílem tohoto příspěvku je ukázat příklady základních mechanismů kmitání rtů a jejich kymografické snímání. Budou komentovány souvislosti s vibračními vlastnostmi hlasivek.

V obou případech je excitátorem (donorem energie) proud vzduchu, který je kontrolován dýchacími svaly a hnán skrz střídavě uzavíranou a otevíranou šterbinu. Tvar šterbinu je výrazně ovlivněn fyziologickými možnostmi systému kmitající tkáně, proudění a tlaku vzduchu. V případě rtů hráčů na žestové nástroje je maximální délka šterbinu determinována velikostí nátrubku, který odpovídá volbě nástroje.

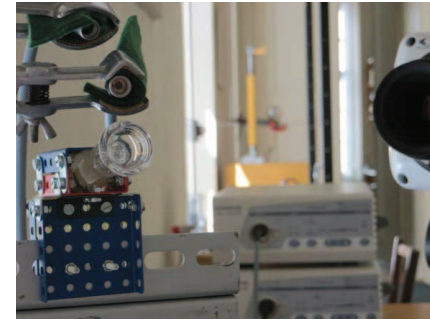
V případě hlasu je způsob kmitání hlasivek daný zejména koeficientem uzavření hlasivek, fázovým posunem kmitání spodního a horního okraje hlasivek a charakterem slizniční vlny, zásadní charakteristikou vibračních mechanismů podílejících se na odlišení hlasových rejstříků. U žestových nástrojů je rejstřík spojován hlavně s barevným odlišením závislým na výšce tónu. Možné frekvence kmitání rtů jsou ovšem určeny rezonančními frekvencemi žestového nástroje. Tato vlastnost nemá ve vokálním traktu svou přímou analogii - vibrační mechanismy hlasivek se v závislosti na poloze vůči rezonanční frekvenci pravděpodobně mění (Tokuda et al., 2010), kmitání je nicméně bez omezení možné.

### Metody

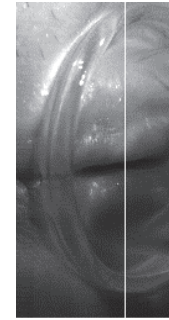
Videokymografie je optická metoda, která dokáže zobrazit dynamické vlastnosti kmitání hlasivek v reálném čase (Švec, Šram, Schutte, 2007). Digitální kymografie zpracovává vysokorychlostní záznamy (HSI) celých hlasivek a výsledné zobrazení je porovnatelné s videokymografickým záznamem.

Vysokorychlostí záběry kmitání rtů byly pořízeny přes cylindrickou část stěny speciálního skleněného nátrubku, který umožňoval nezkreslený pohled na zhruba polovinu délky kmitajících rtů. Rty byly osvětleny dvěma světlovodnými kabely (stejněsměrně napájený zdroj, 2x300 W) a ke snímání byl použit makroobjektiv (Nikon AF Micro Nikkor 60 mm). Obecně bylo takto možné se dostat až k několikanásobným snímacím frekvencím (FPS) oproti hlasivkám, aktivní část snímku byla ovšem podstatně menší.

Optické snímání pohybu rtů probíhá různými metodami už více než půl století (Martin, 1942). Vysokorychlostní záběry, narozdíl od stroboskopických, velmi dobře zachytí i přechodové děje nebo, obecněji, děje odehrávající se vzhledem ke stroboskopii na příliš malém počtu period. Digitální kymografie je pak jednou z dobrých možností vedoucích k další interpretaci vysokorychlostního záznamu.



Obr. 1: Snímací soustava z pohledu hráče s vypnutými světelnými zdroji.



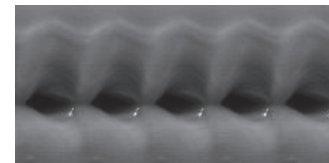
Obr. 2: Snímek rtů hráče na trubku s vyznačeným kymografickým řezem.



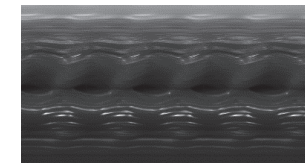
Obr. 3: Srovnání skleněných a kovových nátrubků. Vlevo trombonové, vpravo trubkové.

### Výsledky

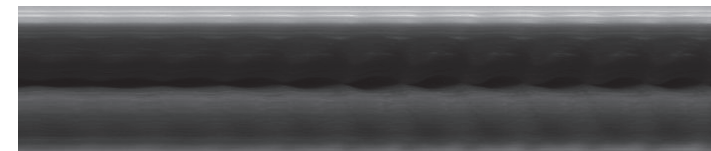
Rty vykonávají složený pohyb jehož parametry se mění primárně v závislosti na frekvenci a sekundárně na intenzitě. Úspěšný zjednodušený model (Adachi, Sato, 1996; Kausel, 2003) uvažuje rty jako bránu v proudě vzduchu, která se může otevírat a smršťovat. V nižších polohách, při menším napětí svalů je pozorovatelné výrazné vchlipování rtů do nátrubku. Při větším napětí svalů ve vyšších polohách převažuje příčné kmitání v rovině.



Obr. 4

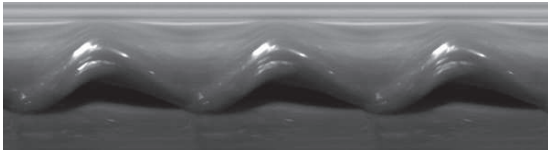


Obr. 5



Obr. 6





Obr. 7

Na obrázku (4) jsou rty hráče na trubku na frekvenci přibližně 380 Hz. Obrázek (5) ukazuje rovněž rty hráče na trubku (FPS 30000), ovšem za nátrubkem není připojen nástroj. Z odlesků je patrné, jak velká část rtů je v pohybu. Bez impedance nástroje se hůře dosahuje vyšších amplitud otevření. Obrázek (6) zachycuje část tranzientu tónu na 250 Hz (FPS 22000). Je patrný „dyšný“ začátek a mírné fázové posuvy mezi horním a dolním rtem. Analogie multiplifonie však nebyla pozorována. Poslední kymogram (7) zachycuje rty hráče na trombon na frekvenci 58 Hz (FPS 15000). Rty jsou velmi volné, spodní téměř nekmitá. Tento stav ovšem není patologický ani chybný z hlediska technik hry.

### Diskuze a závěry

Rty se v porovnání s hlasivkami více blíží modelu tuhého tělesa. Analogie slizniční vlny je patrná, není nicméně tak výrazná jako v případě hlasivek a nemá na kmitání rtů tak významný dopad. Rty na rozdíl od hlasivek vykazují podstatně větší asymetrii kmitání danou jinými vlastnostmi spodního a horního rtu. Se zvyšující se výškou tónu a pravděpodobně i intenzitou se stává kmitání rtů symetričtější. Problémem analýz kmitání rtů zůstává neschopnost přesného určení koeficientu uzavěru, kvůli světelným stínům způsobeným velkou kmitající hmotou rtů.

Subglotický tlak závisí na typu fonace, výšce a intenzitě hlasu (Cleveland, Sundberg, 1983; Hertegard et al., 1995; Sundberg et al., 2013) a jeho běžné hodnoty se pohybují v rozmezí 5-20 cm vodního sloupce. Nejvyšší dosažené hodnoty byly změřeny u neklasických zpěváků až 59 cm vodního sloupce (Cleveland et al. 1997). Teoretický model předpovídá (Fletcher, 1979), že rty pod nátrubkem žestového nástroje mohou fungovat jako zdroj zvuku až od řádu desítek centimetrů vodního sloupce a předběžná orientační měření (tlakoměr Greisinger GMH 3161) tuto předpověď potvrzují: přetlak v ústech hráče na trubku se pohyboval mezi 25 a 70 cm vodního sloupce. Vyžadované frekvence kmitání rtů mohou přesahovat nejvyšší tóny sopránů (nad 1000 Hz) a dosahovat hloubek bassa profunda (pod 60 Hz), přičemž rozsah možných frekvencí závisí na velikosti nátrubku, tedy na volbě nástroje.

Další výzkum směřuje k bližšímu porovnání hlasových rejstříků a změn vibračních mechanismů rtů v závislosti na výšce a intenzitě zvuku jakož i rezonančních charakteristikách vokálního traktu, resp. hudebního nástroje. Kvalitní zmapování analogií mezi rty a hlasivkami může do budoucna představovat cenný nástroj analýzy vlastností hlasivek ve spojitosti s rezonančními vlastnostmi vokálního traktu, pro jejichž vyšetření je nutný přímý optický kontakt.

### Literatura

- ADACHI, Seiji a Masa-aki SATO. Trumpet sound simulation using a two-dimensional lip vibration model. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1996, 99 (2).
- CLEVELAND, T. a J. SUNDBERG. Acoustic analysis of three male voices of different quality. *STL-QPSR*. 1983, roč. 24, č. 4, s. 27-38.
- CLEVELAND, T., R. STONE, J. SUNDBERG a J. IWARSSON. Estimated subglottal pressure in six professional country singers. *J Voice*. 1997, roč. 11, č. 4, s. 403-409.
- FLETCHER, Neville H. Excitation Mechanisms in Woodwind and Brass Instruments. *Acustica*. 1979, č. 43.
- HERTEGARD, S., J. GAUFFIN a P. A. LINDESTAD. A comparison of subglottal and intraoral pressure measurements during phonation. *J Voice*. 1995, roč. 9, č. 2, s. 149-155.
- KAUSEL, Wilfried. Studying lip oscillators of brass instruments: A distributed two dimensional lip model and its electrical equivalent

circuit. In: *Proceedings of the Stockholm Music Acoustic Conference*. Stockholm. 2003.

MARTIN, Daniel W. Lip Vibrations in a Cornet Mouthpiece. *Journal of Acoustical Society of America*. 1942, 13(3).

SUNDBERG, J., R. SCHERER, M. HESS, F. MULLER a S. GRANQVIST. Subglottal pressure oscillations accompanying phonation. *J Voice*. 2013, roč. 27, č. 4, s. 411-421.

ŠVEC, Jan G., František ŠRAM a Harm K. SCHUTTE. Videokymography in Voice Disorders: What to look for?. *Annals of Otolology, Rhinology & Laryngology*. 2007, 116(3).

TOKUDA, Isao, Marco ZEMKE, Malte KOB a Hanspeter HERZEL. Biomechanical modeling of register transitions and the role of vocal tract resonators. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2010, 127(3).

