

Percepční a analytická detekce netónových příměsí houslových tónů

Perceptual and analytical detection of admixtures in violin tones. Violin timbre was studied for five tones (H3, F#4, C5, G5, D6). A very high frequency of occurrence of the word 'rustle' ('šustivý' in Czech) was found for the highest tested D6 tone (fundamental frequency 1175 Hz) during listening tests. The substantial influence of the spectral components originating in the frequency band from 230 to 900 Hz on the perception of 'rustle' was verified by subsequent listening tests. Other listening test results suggest that the threshold of hearing 'rustle' and narrow band filtered white noise does not differ significantly, that 'rustle' components are masked by the harmonic part of the signal, and that for a *mezzoforte* dynamic (about 70 dB SPL) 'rustle' is perceptually salient for levels above 35 dB (10 dB above threshold of 'rustle' perception).

1. ÚVOD

Barva zvuku je vedle výšky a hlasitosti základním subjektivním atributem zvuku hudebních nástrojů. V současné době převládá názor o vícerozměrné povaze barvy zvuku, odlišnost přístupů k barvě zvuku spočívá spíše v chápání jejího vztahu k ostatním subjektivním veličinám nebo v metodice jejího studia. Vícerozměrnost barvy zvuku přirozených hudebních signálů spočívá ve spektrálních vlastnostech složek i jejich časových změnách. Subjektivní hodnocení barvy zvuku hudebního signálu je ovlivněno zejména vlastnostmi sluchu, zkušenostmi posluchače, ale i kontextem hodnocených akustických podnětů.

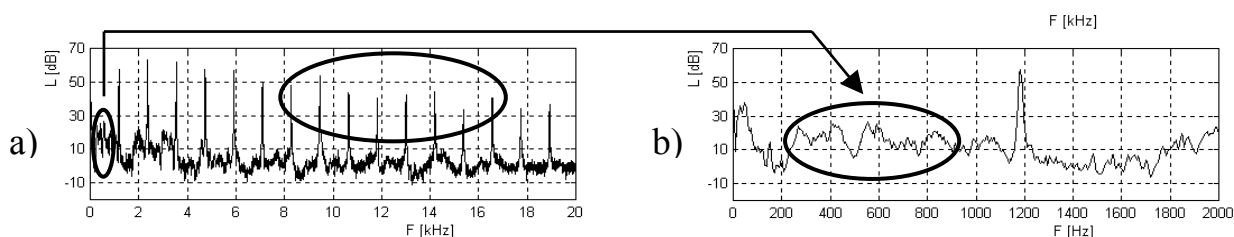
Při studiu stacionární části houslových tónů pěti různých výšek (h, fis¹, c², g², d³) hraných bez vibrata v dynamice *mezzoforte*, technikou *detaché* a s polohou smyčce *naturale* [1] byla v poslechových testech zjišťována podobnost barvy zvuku v párech signálů i její slovní popis. Vyhodnocením výsledků poslechových testů byly nalezeny čtyři nejvýraznější dimenze barvy zvuku houslí: 'měkký' - 'ostrý', 'jasný' - 'zastřený', 'tmavý' - 'světlý' a 'úzký' [2]. U nejvyššího studovaného tónu d³ (základní frekvence 1175 Hz) byl navíc zjištěn výrazný nárůst použití slov 'šustí' a 'šustivý' a spolu s nimi se vyskytující slova 'pískový', 'syčí', 'drhne', 'zaprášený' a 'žíně'.

Celková četnost použití slov z této skupiny byla srovnatelná s četnostmi u tónu d^3 nejčastěji používaných slov 'ostrý', 'měkký' a 'úzký'.

2. METODA A VÝSLEDKY

2.1 Experiment I: Stanovení spektrálních složek způsobujících 'šustivost'

Z výkonových spekter třinácti původně studovaných signálů tónu d^3 byly vypočteny hladiny ve třetinách oktáv a amplitudy jednotlivých harmonických. Korelační analýzou byla zjišťována souvislost mezi četnostmi výskytu slov ze skupiny 'šustí' na jednotlivých úrovních a jim odpovídajícími hodnotami spektrálních charakteristik. Statisticky významné (a kladné) korelace byly nalezeny pro hladiny ve třetinách oktáv se středy od 250 do 800 Hz a pro hladiny harmonických 7 až 14, jim odpovídající oblasti spektra jsou vyznačeny na Obrázku 1.

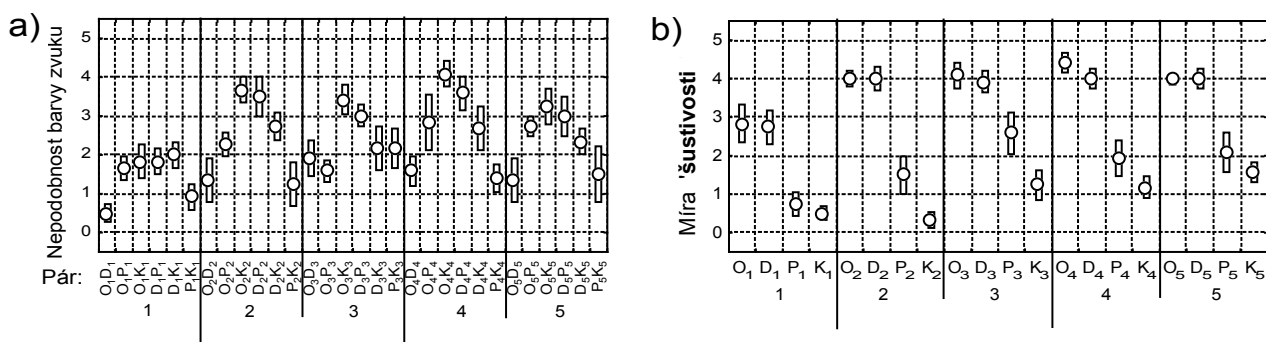


Obrázek 1. a) Výkonové spektrum houslového tónu d^3 , b) detail jeho části do 2 kHz. Elipsami jsou vyznačeny oblasti, jejichž hladiny statisticky významně korelují s četností výskytu slov ze skupiny 'šustí'.

Cílem dalšího studia stacionárních houslových tónů bylo nalezení fyzikálních příčin 'šustivosti' a stanovení jejich percepčních vlastností. Pro tyto účely bylo ze třinácti původně hodnocených signálů vybráno pět signálů s četností výskytu slov 'šustí' rovnou postupně 0, 13 a 16 (střední četnost), 20 a 22 (vysoká četnost), které byly použity v poslechových testech popsaných v odstavcích 2.1 a 2.2. Při poslechu signálů používali posluchači uzavřená sluchátka Sennheiser HD 250 linear II.

Pro zjištění spektrální oblasti způsobující vnímání 'šustivosti' byly uskutečněny dva dodatečné poslechové testy [3]. Kromě pěti vybraných originálních signálů byly v testech použity signály připravené z nich filtrací. K filtraci harmonických počínaje sedmou byla použita dolní propust (Čebyševův filtr typu II, $f_p=7.5$ a $f_s=8$ kHz, potlačení nepropustného pásma 30 dB). K potřebné filtraci spektrálních složek pod základní harmonickou byla použita pásmová zadrž (Čebyševův filtr typu II, $f_p=230$ a $f_s=900$ Hz, potlačení nepropustného pásma 15 dB). Postupným použitím obou filtrů pak byly připraveny signály s potlačením hladin v obou sledovaných spektrálních pásmech.

V prvním testu posluchači posuzovali nepodobnost barvy zvuku v párech signálů. V testu bylo použito všech 30 párů v nichž oba signály příslušely k témuž originálnímu signálu. Ve druhém testu posluchači posuzovali míru 'šustivosti' samostatně u všech dvaceti signálů (originálních i filtrovaných). Oba testy byly uskutečněny se šesti posluchači, výsledky jsou na Obrázku 2.



Obrázek 2. Výsledky poslechových testů pro zjištění zdroje 'šustivosti': a) nepodobnosti barvy zvuku v párech signálů, b) míra 'šustivosti' signálů. Kolečka představují průměr šesti posluchačů, proužky standardní chybu. Signály jsou označeny: O = Originální; filtrované signály: D = Dolní propustí, P = Pásmovou zádrží, K = Kaskádou filtrů. Indexy označují číslo signálu.

Z výsledků testů je zřejmé, že barva zvuku se změnila výrazněji potlačením spektrálních složek pod základní harmonickou (filtrace P) než při potlačení vyšších harmonických (filtrace D), neboť nerovnost $d(OP) > d(OD)$ a $d(PK) < d(DK)$ platí pro čtyři z pěti původních signálů (Obrázek 2 a). Míra 'šustivosti' se snížila jen u signálů s potlačením spektrálních složek pod základní harmonickou (Obrázek 2 b). Znamená to, že **příčinou 'šustivosti' u houslového tónu d³ jsou zejména spektrální složky v pásmu 230 až 900 Hz.**

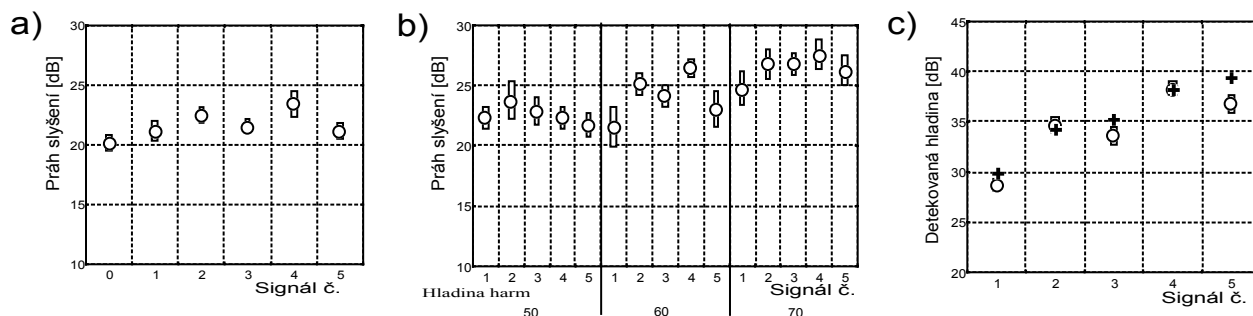
2.2 Experiment II: Stanovení percepčních vlastností 'šustivosti'

Pro stanovení percepčních vlastností 'šustivosti' byly uskutečněny další tři poslechové testy [4]. Všechny tyto poslechové testy byly uskutečněny s osmi posluchači. Jako podnětů bylo v těchto testech použito stejných pět originálních signálů spolu se signály připravenými kombinacemi signálů získaných z nich filtrací. S ohledem na nízké hladiny spektrálních složek v pásmu 800 až 900 Hz byla filtrace prováděna Čebyševovým filtrem typu II v pásmu 230 až 800 Hz. Harmonické složky signálů byly získány použitím filtru s pásmovou zádrží (potlačení nepropustného pásma 15 dB), složky 'šustivosti' filtrem s pásmovou propustí (potlačení nepropustného pásma 30 dB).

V prvním testu byl hledán práh slyšení spektrálních složek zodpovědných za 'šustivost'. V [3] bylo ukázáno, že časový průběh spektrálních složek 'šustivosti' je náhodný, neperiodický a se zanedbatelnými trendy, znamená to, že se spektrálně blíží úzkopásmovému šumu. Proto byl v tomto testu stanoven i práh slyšení úzkopásmového šumu získaného filtrací bílého šumu při použití téhož filtru. Hladiny akustického tlaku signálů bylo možno měnit s krokem 1.5 dB. Výsledky testu jsou na Obrázku 3 a), **rozdíly nalezených prahů slyšení složek 'šustivosti' a úzkopásmového šumu nejsou statisticky významné.**

Ve druhém testu byl hledán práh slyšení spektrálních složek zodpovědných za 'šustivost' za přítomnosti harmonických složek. Harmonické složky byly posluchačům prezentovány s konstantními hladinami akustického tlaku, postupně byly použity hladiny 50, 60 a 70 dB. Krok změn akustického tlaku složek 'šustivosti' byl opět 1.5 dB. Výsledky testu (Obrázek 3 b) a jejich statistická analýza [4] ukazují, že přítomnost harmonických složek zvyšuje práh slyšení složek způsobujících 'šustivost', tento **maskovací účinek harmonických složek se zvyšuje a stává se statisticky významným s růstem jejich hladin.**

Ve třetím testu byly použity originální signály a signály vzniklé součtem harmonických složek (s konstantní hladinou stejnou jako v originálním signálu) a odpovídajících složek 'šustivosti' (s hladinou nastavitelnou s krokem 1.5 dB). Úkolem posluchačů bylo percepčně vyrovnat složky 'šustivosti' v součtovém a originálním signálu. **Hladiny složek 'šustivosti' stanovené subjektivně se dobře shodují s hladinami vypočtenými ze spekter originálních signálů** (Obrázek 3 c).



Obrázek 3. Výsledky poslechových testů pro zjištění percepčních vlastností 'šustivosti': a) práh slyšení (signál č. 0 je úzkopásmový šum), b) práh slyšení za přítomnosti harmonických složek s konstantní hladinou, c) detekovaná hladina.

c) percepčně zjištěné hladiny v porovnání s hladinami vypočtenými ze spekter (vyznačeny znakem plus). Kolečka představují průměr osmi posluchačů, proužky standardní chybu.

3. DISKUSE

Výsledky poslechových testů v prvním experimentu prokázaly, že převažujícím zdrojem 'šustivosti' houslového tónu d^3 jsou spektrální složky v pásmu 230 až 900 Hz, které leží pod jeho základní harmonickou 1175 Hz (Obrázek 1 b). Jejich zdrojem jsou zřejmě nepravidelnosti v buzení struny smyčcem, které se přenášejí kobylkou do korpusu nástroje a jsou vyzářeny zejména v pásmech frekvencí blízkých výrazným rezonančním módům korpusu, které leží ve frekvenčních pásmech 260-290, 400-500 a 500-600 Hz [3]. Nestacionarita časového průběhu 'šustivosti' způsobuje její fyzikální podobnost s úzkopásmovým šumem, ačkoliv s ním není zcela totožná. Tato podobnost se projevuje i percepčně, jak se ukázalo ve druhém experimentu při stanovení prahů slyšení (Obrázek 3 a).

Maskovací účinky harmonické části signálu, prokázané ve druhém experimentu, vedou na hledání souvislosti vnímání 'šustivosti' s dynamickými možnostmi nástroje. Kvalitní nástroje na rozdíl od méně kvalitních (i při hře tímž smyčcem) vykazují dostatečný odstup hladin harmonických od zmíněných šumových složek, které jsou tak maskovány. To dokládá i statisticky významná korelace četností slov ze skupiny 'šustí' s celkovou kvalitou nástroje, zjištěná v [1]. Nástroje nižší kvality dosahují potřebných hladin harmonických (při hře *mezzoforte* kolem 70 dB) jen za cenu vysokých hladin složek pod základní harmonickou, které již nejsou dostatečně maskovány a stávají se percepčně výraznými až rušivými. Ve druhém experimentu byl pro hladiny harmonické části 70 dB prokázán práh slyšení 'šustivosti' mezi 25-30 dB (Obrázek 3 b), u nekvalitních nástrojů se však tyto hodnoty pohybuji kolem 35 dB (Obrázek 3 c).

4. ZÁVĚR

Netónové příměsi ve zvuku vysokých houslových tónů, označované posluchači slovy ze skupiny 'šustí', jsou součástí barvy zvuku houslí. Fyzikální příčinou pro jejich vnímání jsou spektrální složky v pásmu 230-900 Hz, které mají výrazný šumový charakter. Při hře *mezzoforte* (hladiny kolem 70 dB) jsou slyšitelné již od hladin pod 30 dB, rušivými se však stávají až od 35 dB. Výrazněji se projevují u méně kvalitních nástrojů s omezenými dynamickými možnostmi.

UZNÁNÍ

Výzkum se uskutečnil v rámci projektu VS 96031 "Akustická typologie přirozených zdrojů hudebních signálů" financovaného MŠMT ČR.

LITERATURA

- [1] Melka, A., Štěpánek, J., Otčenášek, Z. (1995): Výzkum vztahů barvy zvuku a spektra u izolovaných tónů houslí, *Závěrečná výzkumná zpráva projektu GAČR č. 202/93/2522*, VUZORT a.s., Praha.
- [2] Štěpánek, J., Otčenášek, Z., Melka, A. (1999): Comparison of five perceptual timbre spaces of violin tones of different pitches, CD-ROM of Joint Meeting 137th ASA, 2nd EAA Forum Acusticum 1999, 25th DAGA Berlin, 5aMUb5.
- [3] Štěpánek, J., Otčenášek, Z. (1999): Rustle as an Attribute of Timbre of Stationary Violin Tones, CASJ - Journal of the CATGUT Acoustical Society, Vol. 3, No. 8 (Series II), November 1999, 32-38.
- [4] Štěpánek, J., Otčenášek, Z., Moravec, O. (2000): Analytical and Perceptual Detection of Rustle in Stationary Violin Tones, přihlášeno na 5. akustickou konferenci Francouzské akustické společnosti, Lausanne 2000.