

# Časové charakteristiky hudebních signálů

## Summary:

New methods of evaluating time-envelope parameters of musical signal are designed and compared with methods which are still used. Properties of these methods are studied using signals of violin tones representing basic techniques of string excitation (*col legno*, *détaché*, *pizzicato*, *saltato*, *staccato*). From a taxonomical point of view the statistical validity of selected time-envelope parameters was analysed.

## 1. ÚVOD

Úkolem akustické typologie signálů hudebních nástrojů v časové oblasti je najít takové charakteristiky (parametry) popisující chování amplitudy, frekvence a fáze signálu (resp. jeho harmonických složek) v čase, které s dostatečnou spolehlivostí od sebe rozliší signály reprezentující jednotlivé zvukové zdroje. Dosud nejpoužívanějšími charakteristikami hudebních signálů v časové oblasti jsou doba náběhu (*attack time*) a doba poklesu (*decay time*) signálu, jejichž definice v historickém přehledu uvádí [1]. Jedná se o hodnoty času odvozené z různě stanovených hladin úrovně časového průběhu signálu. Nejobecnější a také nejčastěji používaná definice doby náběhu a poklesu signálu neperkusních a perkusních hudebních nástrojů je uvedena v [2], její použití je ukázáno např. v [3]. Na skupině signálů uvedených v [4] se ukázalo, že neperkusní hudební nástroje jsou při aplikaci určitých technik hry (*pizzicato*, *staccato* apod.) zdrojem signálů perkusního charakteru. Byl studován i vliv dynamiky hry, k jeho popisu byly zavedeny relativní časové charakteristiky - směrnice doby náběhu (*attack gradient*) a směrnice doby poklesu (*decay gradient*) uvedené v [5].

Na rozdíl od prací [2] a [3] si tato klade za cíl aplikovat nově zavedené časové charakteristiky na skupině tónů produkovaných různými technikami hry na jeden nástroj symfonického orchestru - housle, jejichž časové charakteristiky uváděné v [3] vykazují největší rozpětí hodnot. Jinými slovy tento nástroj byl zvolen pro své bohaté výrazové možnosti, což jej činí vhodným pro ověřování nových metod analýzy, které by měly být později aplikovány na ostatní nástroje používané v klasické hudbě. Z nově navržených definic doby náběhu, doby poklesu, směrnice náběhu a směrnice poklesu amplitudy jednotlivých harmonických složek hudebního signálu se pro typologické rozlišení výše popsaných houslových technik ukázala jako nejvhodnější doba náběhu, jsou zavedeny a porovnány tři varianty pro její výpočet. Výsledky aplikace těchto definic jsou pak podrobeny statistické analýze, která ukazuje míru jejich použitelnosti pro rozlišení jednotlivých houslových technik.

## 2. POPIS METODY

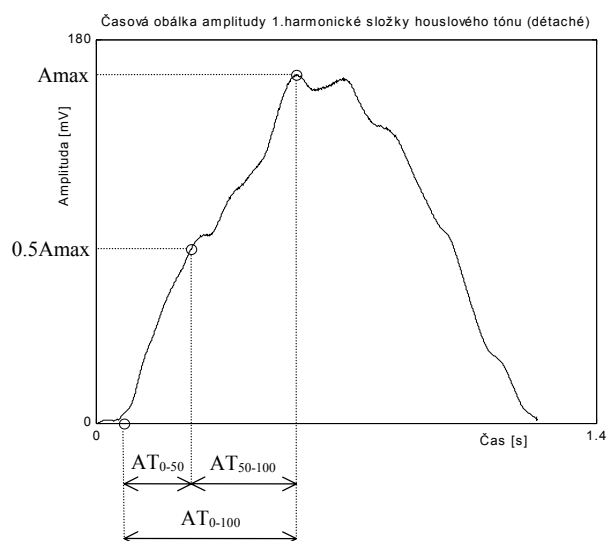
Pro analýzu byly zvoleny tóny houslí hrané technikami, které představují základní způsoby buzení struny: hra smyčcem ze struny (*détaché, staccato*), hra smyčcem dopadem na strunu (*saltato*), hra prutem (*col legno*) a hra prstem (*pizzicato*). Na každé struně byly hrány dva tóny: prázdná struna a velká tercie v 1.poloze - **Tabulka 1**.

**Tabulka 1** - Popis houslových strun a přehled tónů vybraných pro analýzu

struna	materiál	tón na prázdné struně	velká tercie
G	střevo + stříbrné opředení	g	h
D	střevo + stříbrné opředení	d <sub>1</sub>	f# <sub>1</sub>
A	střevo + hliníkové opředení	a <sub>1</sub>	c# <sub>2</sub>
E	ocel	e <sub>2</sub>	g# <sub>2</sub>

Tóny hrané technikami *détaché*, *saltato* a *staccato* byly hrány čtyřikrát, střídavě od žabky a od hrotu, tóny hrané technikami *col legno* a *pizzicato* byly hrány třikrát. Všechny tóny byly hrány ve stejné dynamice *mezzoforte*, každý tón byl hrán cca 1s a mezi tóny byly rovněž pomlky trvající 1s (z důvodu vyloučení vzájemného překrývání tónů). Použitým nástrojem byly housle *Francois Gand* (Paris 1825), potažené strunami *Kaplan Golden Spiral* (USA), jejichž podrobnější popis uvádí **Tabulka 1**. Na nástroj hrál prof. J. Tomášek, zvukový záznam byl pořízen v bezodrazové místnosti zvukového studia HAMU síti 16-ti elektretových mikrofonů MCE 102 za následujících podmínek: výška sítě 105 cm, poloměr sítě 160 cm, vzdálenost sousedních mikrofonů 65 cm. Podrobnější informace o metodě záznamu signálů pro účel této práce lze nalézt v [6]. Pro analýzu byl vybrán zvukový záznam z mikrofonu č.7, který snímá zvuk houslí ve směru jejich největšího vyzářování [7].

Pro výpočet potřebných charakteristik byl časový průběh každého tónu zpracován Hilbertovou transformací filtrovaného signálu (HTFS), jejímž výstupem byly časové obálky amplitudy jednotlivých harmonických složek analyzovaného signálu. Podrobnější popis této metody přináší [5], s tím rozdílem, že k filtraci bylo použito filtru s konstantní relativní šířkou propustného pásma. Parametry HTFS byly následující: velikost FFT 8192 vzorků, filtr IIR typu Butterworth 3.řádu s relativní šířkou pásma  $B=0.33 \cdot f_0$ , kde  $f_0$  je frekvence 1.harmonické složky signálu určeného k filtraci.



**Obrázek 1** - Definice doby náběhu časové obálky amplitudy hudebního signálu

Nově zavedené definice doby náběhu ilustruje **Obrázek 1**. Základní myšlenkou byla fragmentace celkové doby náběhu pro perkusní signály definované v [2] na dva úseky. První část doby náběhu označovaná jako  $AT_{0-50}$  je definována jako čas mezi nulovou úrovní a dosažením 50% maxima úrovně časového průběhu signálu, doba  $AT_{50-100}$  je definována jako čas mezi dosažením úrovně 50% a 100%. Celková doba náběhu  $AT_{0-100}$  je rovna součtu obou výše definovaných dob.

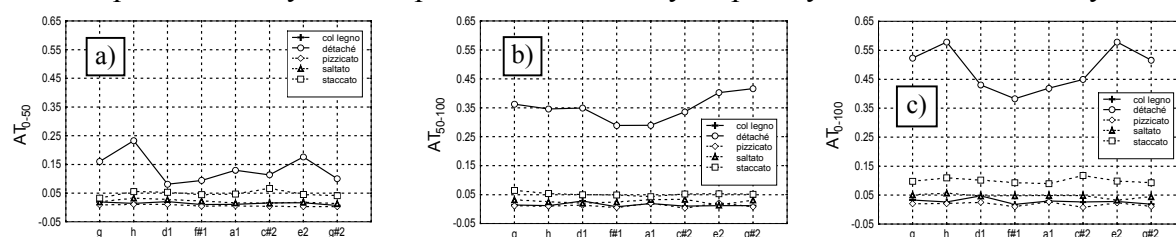
Digitální záznamy jednotlivých tónů ve formátu WAV (16 bitů, mono, vzorkovací frekvence 44,1 kHz) byly zpracovány v prostředí MATLAB 5.3, v němž byly vyvinuty potřebné analytické

prostředky. Statistické vyhodnocení získaných dat bylo provedeno v programu STATISTICA 5.0.

### 3. VÝSLEDKY

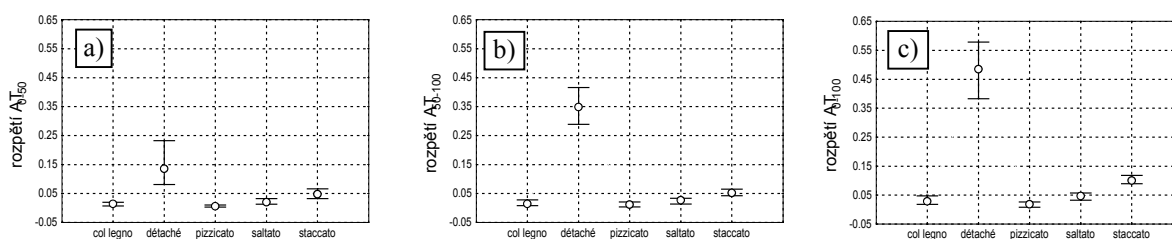
Bylo analyzováno celkem 120 houslových tónů (8 tónových výšek, 5 technik, každý tón hrán 3krát). Každý tón byl analyzován pomocí HTFS, jejímž výstupem byly časové obálky amplitudy prvních osmi harmonických složek signálu. Pro obálku každé harmonické složky byly vyhodnoceny doby náběhu  $AT_{0-50}$ ,  $AT_{50-100}$  a  $AT_{0-100}$ . Z hodnot získaných z každé trojice tónů téže výšky a techniky byl stanoven aritmetický průměr.

Hodnoty doby náběhu pro jednotlivé techniky hry v závislosti na tónové výšce uvádí v celkovém přehledu **Obrázek 2**. Závislost této charakteristiky na pořadí analyzované harmonické složky nevykazovala žádný výrazný trend, a proto jsou v obrázku uvedeny pro ilustraci pouze hodnoty získané parametrizací obálky amplitudy 1. harmonické složky.



**Obrázek 2** - Doba náběhu 1. harmonické složky pro pět houslových technik a její závislost na tónové výšce: a)  $AT_{0-50}$ , b)  $AT_{50-100}$  a c)  $AT_{0-100}$ .

Statistický pohled na tyto výsledky přináší **Obrázek 3**, který znázorňuje variační rozpětí doby náběhu přes celý tónový rozsah v závislosti na technice hry spolu s aritmetickými průměry doby náběhu pro jednotlivé houslové techniky.



**Obrázek 3** - Variační rozpětí doby náběhu 1. harmonické složky přes měřený tónový rozsah houslí a jeho závislost na technice hry: a)  $AT_{0-50}$ , b)  $AT_{50-100}$  a c)  $AT_{0-100}$ .

### 4. DISKUSE

Pro všech osm harmonických složek byl vypočten Pearsonův korelační koeficient mezi časovými charakteristikami  $AT_{0-50}$  resp.  $AT_{50-100}$  a celkovou dobou náběhu  $AT_{0-100}$ . Všechny hodnoty korelačního koeficientu jsou statisticky významné na hladině 1%, přičemž  $AT_{50-100}$  má s  $AT_{0-100}$  těsnější statistickou vazbu než  $AT_{0-50}$ . Toto zjištění lze z typologického hlediska interpretovat tak, že druhá část doby náběhu signálu (resp. jeho harmonické složky) nese větší podíl informace o průběhu celého náběhu (tranzientního děje). Naproti tomu charakteristika  $AT_{0-50}$  je odolnější vůči chybám vznikajícím při vyhodnocování časových obálek s dvojitým překrmitem (tzv. „blips“), který je zmiňován např. v [3].

Vzhledem k tomu, že časové charakteristiky vypočtené pro 1. harmonickou (**Obrázek 2** a **Obrázek 3**), se zásadně neliší od těchž charakteristik získaných analýzou vyšších harmonických složek, je možné konstatovat, že pro typologické hodnocení houslových signálů pomocí doby náběhu jsou postačující charakteristiky získané parametrizací 1. harmonické složky.

Analýza variance hodnot časových charakteristik 1. harmonické všech pěti sledovaných technik hry ukázala jejich statisticky významnou odlišnost (na hladině 1%). Aplikací t-testu byla navíc zjištěna statistická významnost charakteristik všech dvojic technik, pro techniky *col legno* a *saltato* parametrizované podle definice  $AT_{0-50}$  na hladině 5%, pro ostatní dvojice technik na hladině 1% při použití všech tří definic doby náběhu. Výjimkou je nedostatečné rozlišení technik *col legno* a *pizzicato* při použití charakteristiky  $AT_{50-100}$ , které je způsobeno výše uvedenou citlivostí této charakteristiky na překmity obálky amplitudy vyskytující se u techniky *pizzicato*.

## 5. ZÁVĚR

Tato práce navazuje na předchozí výzkumy v oblasti vyhodnocování tranzientů signálů hudebních nástrojů, navíc přináší aplikaci exaktní metody (parametrizace obálky získané HTFS), která bez zásahu subjektu (posluchače) vyhodnocuje časové průběhy jednotlivých harmonických složek signálů za účelem jejich klasifikace. Bylo zjištěno, že výše popsaná metoda parametrizace časových obálek amplitudy je schopna s dostatečnou spolehlivostí rozlišit jednotlivé houslové techniky, až na poněkud menší spolehlivost u dvojice technik *col legno* - *saltato* při použití výpočtu doby náběhu podle definice  $AT_{0-50}$ . Výrazně menší schopnost rozlišení technik se projevila pouze u dvojice *col legno* a *pizzicato*, pro něž bylo použito vyhodnocení doby náběhu pomocí definice  $AT_{50-100}$ . Celková doba náběhu  $AT_{0-100}$  vykazuje statisticky nejspolehlivější vzájemné rozlišení jednotlivých houslových technik.

Celková doba náběhu je výrazným typologickým znakem pro rozlišení houslových technik z hlediska způsobu buzení houslové struny. Nové definice vzniklé její fragmentací přinášejí menší rozlišitelnost perkusních signálů (*col legno*, *pizzicato*, *saltato*) - jsou však odolnější vůči překmitům obálky (charakteristika  $AT_{0-50}$ ), resp. nekladou požadavek na určení počátku signálu (charakteristika  $AT_{50-100}$ ).

## PODĚKOVÁNÍ

Tato studie je součástí výzkumného projektu *Akustická typologie přirozených zdrojů akustických signálů* podporovaného MŠMT ČR (projekt č. VS 96031). Poděkování patří panu prof. Jiřímu Tomáškoví z HAMU za ochotu při nahrávání houslových tónů a četné konzultace v oblasti houslových technik.

## LITERATURA

- [1] Reuter, Ch. : *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*. Europäische Hochschulschriften - Peter Lang (Vol. 148). Frankfurt am Main 1995
- [2] Luce, D., Clark, M. : *Durations of Attack Transients of Nonpercussive Orchestral Instruments*. J. Audio Eng. Soc., Vol. 13, 1965, 194.
- [3] Melka, A. : *Klangeinsatz bei Musikinstrumenten*. Acustica, Vol. 23, 1970, 108-117
- [4] Volný, P. : *Hudební signál jako předmět časové a frekvenční analýzy*. Sborník 55.akustického semináře / 34.akustické konference, Kouty 1997, 251-254
- [5] Volný, P., Štěpánek, J., Syrový, V.: *The Relations Between Harmonics In Relation To Playing Technics of Violin Tones*. Proceedings of the 137th Meeting of the Acoustical Society of America, Berlin 1999
- [6] Jakeš, V.: *Šestnáctikanálový záznam zvuku hudebních nástrojů*. V tomto sborníku.
- [7] Otčenášek, Z., Syrový, V.: *Directivity of Violin Radiation*. Proceedings of the 137th Meeting of the Acoustical Society of America, Berlin 1999