

# TRANZIENT TÓNU KLARINETU (jeho analýza)

ING. VÁCLAV SYROVÝ

Hodnocení kvality přirozených hudebních signálů je problém právě tak starý, jako hudební kultura vůbec. Pojem „dobrý — špatný“ se dotýkal nejenom interpretačního pojetí, ale také vždy značnou měrou i estetiky zvukového projevu. Kvalitu přirozeného signálu by bylo možno definovat jako odraz souhrnu fyzikálních vlastností signálu v našem vědomí. Tento odraz je srovnáván s estetickou zkušeností a také s vlastní subjektivní představou. Toto hodnocení kvality je pochopitelně výrazně subjektivní, je určováno osobností hodnotitele, silně podléhá jeho okamžitému psychickému stavu a může se od posudku druhého hodnotitele zcela lišit.

Kvalita přirozeného hudebního signálu je většinou spojována s kvalitou hudebního nástroje, resp. s kvalitou jeho tónu (v tomto případě s kvalitou spektrální, barevnou). Tón každého hudebního nástroje je určen z hlediska technického svými fyzikálními vlastnostmi a z hlediska uměleckého svým estetickým účinkem — subjektivním vjemem. Vzájemný vztah mezi fyzikální podstatou vyjádřenou objektivně měřitelnými veličinami a subjektivní kvalitou vjemu tónu byl doposud málo prozkoumán. Jeho poznání je však pro účely objektivního hodnocení kvality tónu velmi potřebné. Do nedávné doby byl u hudebních nástrojů analyzován pouze zamítnutý (ustálený, quasistacionární) průběh drženého tónu, teprve použití číslicové techniky umožnilo se zabývat též přechodovými stavy — tranzienty. Velká estetická účinnost tranzientu u tónu většiny hudebních nástrojů je nepopíratelná, deformace nebo odstranění tranzientu má za následek značnou změnu subjektivního vjemu kvality tónu. Tato skutečnost vedla k záměru objasnit vliv tranzientu na subjektivní kvalitu tónu.

Pro vlastní práci byl vybrán jednohlasý neperkuský hudební nástroj ze skupiny dřevěných dechových nástrojů — klarinet.

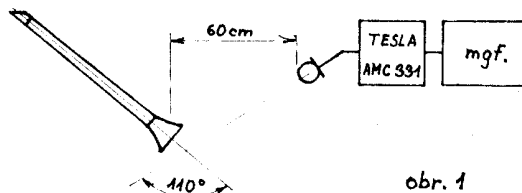
Cílem práce bylo předně zjistit, jakou měrou se podílí hudebník na tvorbě jednotlivých složek tónu a jeho tranzientu, dále, jaká je souvislost subjektivního vjemu kvality s jednotlivými parametry tranzientu, je-li rozdíl mezi spektrem zakmitaného stavu a spektrem tranzientu, resp. spektrem zvoleného časového úseku od počátku nasazení tónu a nakonec lze-li ze získaných výsledků měření a hodnocení stanovit určitý kvalitativní standard tónů. Nahrávání tónových vzorků a jejich subjektivní hodnocení se provádělo na hudební fakultě Akademie múzických umění, vlastní analýza na katedře zvukové techniky a vibrační elektrotechnické fakulty ČVUT.

Vlastní měření bylo rozděleno do tří částí. V první části hráli dva hudebníci na své nástroje, které si mezi sebou měnili včetně záměny hubiček a plátek. Na vzniklých deseti sestavách nástroje, hubičky a hudebníka byly přehrávány tři tóny z tónového rozsahu klarinetu. Z hluboké „šalmajové“ polohy to bylo **f** (znějící **es**), ze středního rejstříku **g<sub>1</sub>** (znějící **fi**) a z jasného „klarinetového“ rejstříku **a<sub>2</sub>** (znějící **g<sub>2</sub>**).

V druhé části měření hrál jeden hudebník na tři nástroje, u nichž navzájemně měnil hubičky. Přehrávané tóny byly stejné jako v první části. V třetí části hrálo celkem deset hudebníků, každý na svůj nástroj. Zde bylo v šalmajové poloze **f** zvýšeno na **g** a v klarinetové poloze **a<sub>2</sub>** na **cs**. Celkem bylo nahráno a měřeno 3x29 tónů, měřené B klarinetu byly značky Amati, Buffet, Selmer a Kohler, hubičky Amati, Buffet, Selmer a Vandoren a plátky byly značky Vandoren. Na klarinetu hráli posluchači hudební fakulty. Hodnocení se však netýkalo výrobních značek klarinetů, ale kvality tónů. Měřené tóny se nahrály na magnetofonový pásek a potom poslechem hodnotily. Hodnotitelé byli rozděleni na tři skupiny, v první byli hudebníci-hráči na dechové nástroje, v druhé hudebníci-neinstrumentalisté (skladatelé aj.)

a ve třetí skupině neinstrumentalisté. Každý z nich individuálně hodnotil charakter nasazení tónu a jeho barvu, hodnocení stručně vyjádřil a udělal body od 0 do 10. Uvnitř žádné skupiny hodnotitelů se nevyskytlý odchytky v hodnocení větší než 2 body, celkově nedošlo k žádnému zcela rozpornému ohodnocení kvality tónu.

Jako nahrávací a poslechový prostor byla použita místnost o objemu cca 90 m<sup>3</sup> s pohltivým obložení stěn a se střední dobou dozvuku 0,2 s. Měřicí mikrofon Tesla VÚST AMC 331 A o průměru mikrofonní vložky 24 mm byl od ústí ozvučnicku klarinetu vzdálen cca 60 cm, osa mikrofonu svírala s osou klarinetu úhel cca 110° (obr. 1).



obr. 1

Dynamika tónu se pohybovala v rozmezí mezzoforte až forte, hudebník ji při nahrávání sám kontroloval na vestavěném měřidle mikrofonu a udržoval v rozpětí cca 3 dB. Nasazení tónu bylo žádáno přirozeně, konkrétní. Na výstup měřicího mikrofonu byl přímo připojen magnetofon Studer B 62.

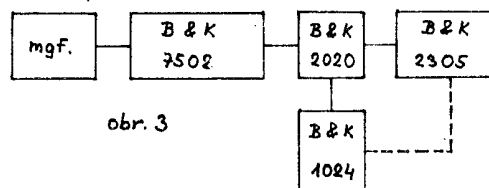
Koncepci zpracování nahraných tónů určilo použití číslicového zapisovače krátkodobých dějů (Digital Event Recorder) 7502 firmy Brüel & Kjaer. Signál byl zaznamenán v zapisovači v digitální formě a pro další měření, tj. zápis oscilogramu tranzientu, analýza a rozbor jednotlivých harmonických se převedl zpět do analogové formy. Tento postup byl volen v mimo jiné též z důvodů snadnější zpracovatelnosti výsledků v grafické podobě, která je pro první seznámení se s problematikou podstatně přehlednější už vzhledem k provedenému počtu měření.

Časová kapacita záznamu u zapisovače 7502 byla nastavena na 80 ms, skutečná délka zaznamenaného signálu byla o něco kratší. Na výstup číslicového zapisovače 7502 byl připojen zapisovač úrovně 2305 (obr. 2). Při



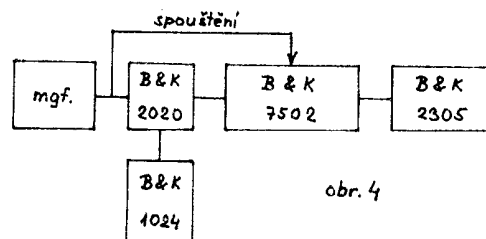
obr. 2

frekvenční analýze tranzientu byl tranzient zaznamenaný v zapisovači 7502 opakovan v reálném čase a analyzován heterodyním souběžovým filtrem 2020 při šířce pásma 10 Hz. (obr. 3). Stejným způsobem se analyzoval i za-



obr. 3

kmitaný stav tónu. Získaná frekvenční spektra byla překreslena do diskretního tvaru. Pro zaznamenání časových průběhů jednotlivých harmonických tranzientů se zařadil filtr 2020 mezi magnetofon a číslicový zapisovač 7502. Generátorem 1024 se filtr přeladoválo postupně na frekvence jednotlivých harmonických. Spouštěcí signál pro zapisovač 7502 byl vyveden před filtrem z komplexního signálu, což umožnilo časově „zarovnaní“ konců zápisu harmonických a tím zjištění jejich posloupnosti nástupu (obr. 4). Při zápisu sinusových průběhů harmo-



obr. 4

rických, který se provedl u několika vybraných tónů, byla použita šířka pásma filtru 31,6 Hz, při zápisu obálek prvních deseti harmonických u všech měřených tónů se šířka pásma zvětšila na 100 Hz.

Z oscilogramu průběhu tranzientu byla předně odečtena délka tranzientu  $T_t$  jako doba od počátku registrace signálu k tvarovému ustálení průběhu. Za tvarově ustálený průběh (zakmitaný) se považoval ten, u kterého tvarové odchylky průběhu následujících period byly menší než 5 % amplitudy zakmitaného stavu. Tato definice délky tranzientu se podstatně liší od definic uvážených Melkou [1] aj. Dále byl z oscilogramu odečten počet celých period a počet průchodů nulou v době  $T_t$ . Z průběhu obálek harmonických byla zjištěna posloupnost jejich nástupu, pozždění vůči harmonické první v pořadí časová konstanta náběhu každé harmonické. Dále byly vyneseny frekvenční spektra tranzientu a zakmitaného stavu měřených tónů.

Délka trvání tranzientu  $T_t$  se pro tóny hlubokého rejstříku pohybovala v rozmezí 50 — 78 ms, pro tóny středního rejstříku 28 — 58 ms a pro tóny klarinového rejstříku 10 — 50 ms. Srovnáním naměřených hodnot  $T_t$  v závislosti na sestavě nástroje, hubičky a hráče bylo zjištěno, že délku tranzientu v hlubokém rejstříku určuje zejména hráč v jisté spojitosti s hubičkou a v klarinovém rejstříku pak zcela výrazně samotná hubička. Počet průchodů nulou a počet period v tranzientu se neukázaly jako parametry podstatného významu. Ve spektru tónů hlubokého rejstříku stoupal s rostoucím pořadovým číslem harmonických, zvláště pak sudých vliv samotného hráče. Vliv nástroje a hubičky se projevil ne zcela jednoznačně, jak ve středním tak hlavně v klarinovém rejstříku. Celkově by bylo možno připsat úroveň sudých harmonických z velké části schopnostech hráče ve spojitosti s jeho návykem na hubičku, vliv nástroje, hubičky a hráče na úroveň lichých harmonických nelze jednoznačně vymezit.

Frekvenční spektra tranzientu tónů hlubokého a středního rejstříku mají výrazně lichý charakter, který se u tónů klarinového rejstříku ztrácí. Přítomnost formant v naměřených spektrech nebyla příliš výrazná, určité převýšení bylo možno vysledovat v oblasti 2000 — 3000 Hz. Frekvenční spektra zakmitaných stavů vykazovala vůči spektrům tranzientů rozdíly v úrovni některých harmonických až o 13 dB.

Pokles či vzrůst úrovně harmonické do zakmitaného stavu ukázal na charakter utváření tónu. U tónu s malou délkou tranzientu úroveň harmonických do zakmitaného stavu klesala, u tónu s větší délkou tranzientu úroveň harmonických stoupala. Toto souvisí s určitým náporům v nasazení tónu, který se v zakmitaném stavu ustálí a úroveň řady harmonických klesne, kdežto u pozvolného nasazení hráč tón tzv. barevně „dotahuje“ a úroveň některých harmonických do zakmitaného stavu stoupá. Tato závislost se zejména projevuje v hlubších tónových polohách.

Pořadí nástupu harmonických a jejich zpoždění souvisí s vlastním frekvenčním spektrem tranzientu. U tónu hlubokého rejstříku nastupuje většinou jako první v pořadí 1. harmonická, při ostrém nezvládnutém nasazení též 3. nebo 5. harmonická. Nejdříve na třetím místě nastupuje první sudá, nejčastěji 2. harmonická. Celkově nastupují harmonické v určitých seskupeních a to jako první skupina lichých 1., 3., 5., ev. i 7. harmonická, dále nastupuje skupina sudých 2., 4., 6. harmonická a nakonec skupina ostatních. Příklad pořadí nástupu u tónu hlubokého rejstříku s jistým nasazením je 3, 1, 5, 4, 6, 2, 7, 8, 12, 10, 14, 11, 9, 13, 17, 16, 18, 15, 20 harmonická.

Ve středním rejstříku nastupuje jako první 1. harmonická a jako druhá 3. harmonická. Sudé harmonické se posouvají na přednější místa a v klarinovém rejstříku již pořadí nástupu téměř souhlasí s pořadovými čísly harmonických. Zpoždění nástupu jednotlivých harmonických upřesňuje obraz o nasazení tónu a dává současně představu o délce tranzientu, časové konstanty náběhu nejsou v přímé souvislosti se zpožděním nebo pořadím nástupu, souvisí zejména s charakterem a rychlostí nasazení tónu.

Pro srovnání naměřených hodnot s výsledky subjektivního hodnocení byl stanoven základní předpoklad lichosti spektra tónu klarinetu, tj. že sudá harmonická je vždy nižší úrovně než sousetní lichá. Ukázalo se, že s klesající subjektivní kvalitou tónu stoupá počet převý-

šení sudých harmonických nad liché a výskyt těchto převýšení se přesouvá k nižším harmonickým. Tato skutečnost však ztrácí platnost se stoupající tónovou polohou a v klarinovém rejstříku již tento předpoklad zcela neplatí. Monotonnost poklesu lichých a sudých harmonických se neukázala v přímé souvislosti se subjektivní kvalitou, stejně jako počet harmonických nad úrovní vztaženou ke první harmonické.

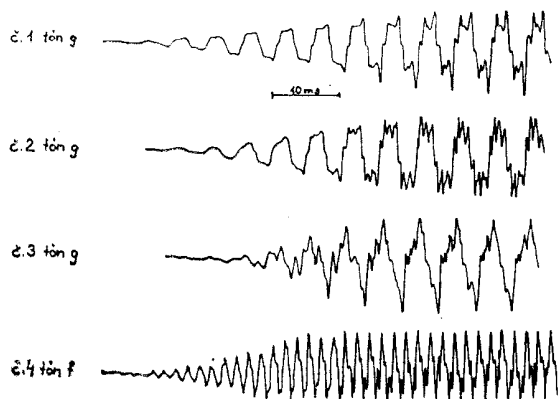
Podstatně úplnější obraz o charakteru tranzientu poskytují průběhy obálek jednotlivých harmonických. Průběh 1. harmonické v hlubokém rejstříku je pozvolnější s řadou nepravidelností a častým překmitnutím, 2. harmonická vykazuje v průběhu značné nepravidelnosti, které pokračují i v zakmitaném stavu. Podobně se chová i 4. harmonická, vyšší sudé se blíží tvarem obálky lichým harmonickým. Vyšší liché mají hladší průběh, nepravidelnost svědčí o nejistém nasazení. Ve středním rejstříku jsou průběhy obálek harmonických jednodušší, častěji se vyskytují ostřejší překmity. Hrubé nepravidelnosti a výkyvy jsou známkou špatné kvality tónu. V klarinovém rejstříku mizí rozdíl mezi obálkami lichých a sudých harmonických, náběh se zrychluje a řada vyšších harmonických dostává impulsový charakter.

Z provedených měření a jejich rozborů vyplynuly některé obecnější, nikoliv však obecné poznatky o struktuře tónu klarinetu ve vztahu k subjektivnímu vjemu jeho kvality. Především se ukázal nesporný vliv hráče na parametry tónu nástroje a to takovým způsobem, který by mohl při nesprávné interpretaci výsledků měření podstatně ztížit jejich zobecnění. Uvedená měření se nezabývala kvalitou klarinetu jako výrobní značky, ale problémem jeho tónu. Pro vlastní hodnocení nástrojů zde silně vyvstala potřeba generování tónu umělými ústy. Kvalitativní standard tónu klarinetu je možné charakterizovat více tvarem spektra, podstatně méně už obsahem jednotlivých harmonických, dále jejich časovou posloupností nástupu s přihlídnutím k časovému zpoždění a časovým konstantám, což všechno vlastně shrnuje v grafické podobě zápis průběhu obálek jednotlivých harmonických. Spektrum tranzientu i zakmitaného stavu je výrazně lichého charakteru, přičemž se tento charakter s rostoucí tónovou výškou, zejména pak při přechodu do přefukujícího rejstříku ztrácí. Obsah harmonických je v jednotlivých rejstřících nástroje značně rozdílný a klesá s vyšší tónovou polohou. Vliv sudých harmonických není zdaleka tak nedůležitý, jak uvádí např. McGinnis [2], ale podstatnou měrou určuje kvalitu tónu. Zvýšeným obsahem sudých harmonických lze charakterizovat tóny špatné, netypické, ale naproti tomu jejich nízkému obsahu nelze připsávat zvýšenou kvalitu tónu. Pokles sudých i lichých harmonických není ryze monotónní, nopak spektrum vykazuje řadu převýšení způsobených jak formantovými oblastmi nástroje tak vlivem samotného hráče. Sudé harmonické mohou mít dokonce vzestupnou tendenci úrovně až k vyrovnání se s úrovněmi lichých harmonických vyšších pořadových čísel. Rozdíl mezi spektrem tranzientu a zakmitaného stavu může být různý a souvisí s charakterem utváření tónu. Pořadí nástupu jednotlivých harmonických je též silně závislé na výšce tónu, stejně jako zpoždění harmonických a časové konstanty jejich náběhu.

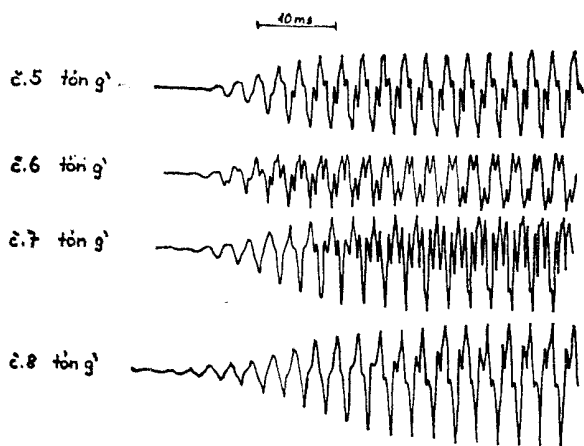
Výsledky měření a jejich zhodnocení potvrdily, že lze najít korelaci mezi fyzikálně objektivními vlastnostmi tónu hudebního nástroje a subjektivním vjemem jeho kvality. Současně však ukázaly na rozsáhlou problematiku objektivního hodnocení kvality hudebních nástrojů. V měření byly zkoumány pouze amplitudy a jejich časové závislosti harmonických složek spektra, nikoliv však otázky frekvence a fáze složek spektra, nebyla provedena analýza rušivých a neharmonických příměsí. Prokázalo se, že nejuplněnější obraz o vlastnostech tónu může dát jediné analýza tranzientu i zakmitaného stavu, resp. časový vývoj všech složek spektra. Kvalitativní standard je nutno chápat nejenom jako popis vlastností tónu, ale zejména jako vyjádření korelace mezi fyzikální podstatou tónu a jeho subjektivním vjemem. Bez stanovení této korelace si nelze objektivní hodnocení kvality tónu vůbec představit. Kvalitativní standard tónu musí vycházet z nejuplněnější analýzy prováděné v laboratorních podmínkách, aby při výrobě hudebních nástrojů a zejména pak při jejich praktickém hodnocení bylo možno soustředit pozornost na ty složky signálu, které mají na kvalitu převážující vliv. Lze předpokládat, že by se tato prakti-

ká kontrola týkala pravděpodobně časového vývoje spektra a jeho harmoničity. Použití tohoto postupu bude pak možné uplatnit i při posuzování kvality dalších hudebních nástrojů.

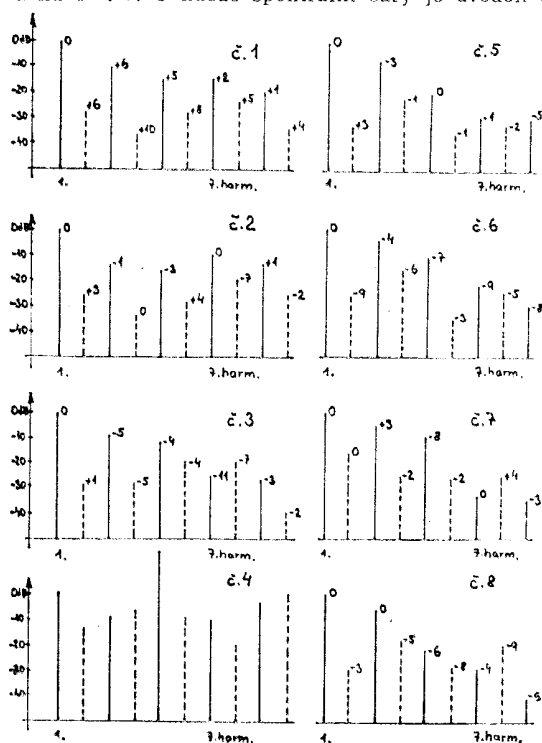
Na obr. 5 jsou oscilogramy tranzientů tónů hlubokého



Obr. 5, 6 a 7

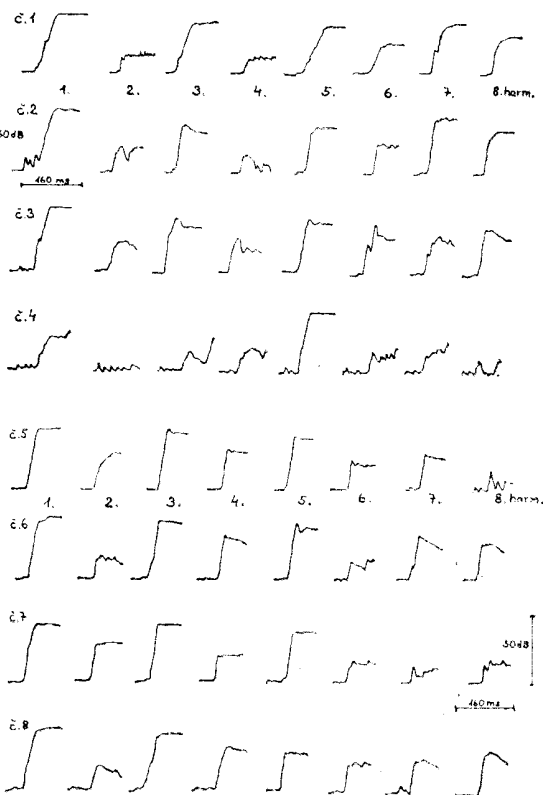


rejstříku, na obr. 6 oscilogramy tranzientů tónu středního rejstříku, na obr. 7 oscilogramy tranzientů tónu středního rejstříku. Frekvenční spektra tranzientů těchto tónů jsou na obr. 8. U každé spektrální čáry je uveden údaj

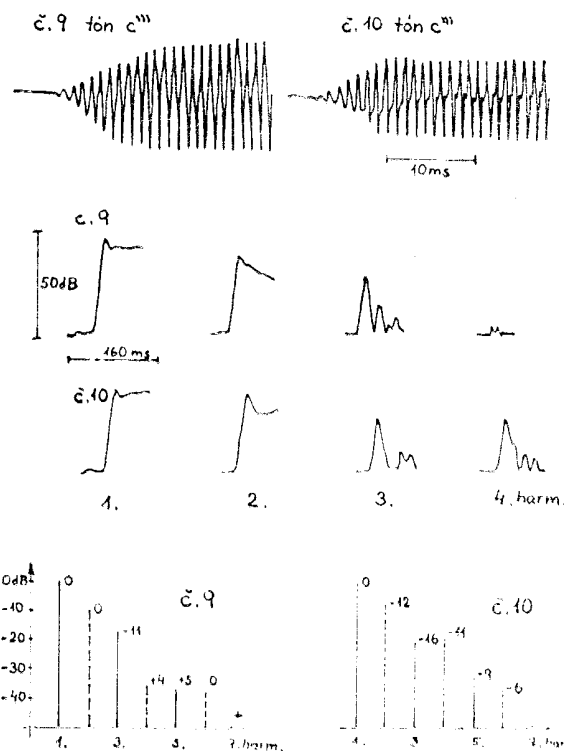


v dB, který vyjadřuje vzrůst či pokles příslušné harmonické v spektru zakmitaného stavu (vyjma tónu č. 4). Obálky prvních osmi harmonických jsou nakresleny na obr. 8 a 9. Na obr. 10 jsou uvedeny oscilogramy tranzientů, obálky harmonických a spektra dvou tónů klarinetového rejstříku.

Pro uvedené tóny přináší tabulka údaje o nástupu harmonických, jejich zpoždění a subjektivní ohodnocení.



Obr. 8, 9 a 10



tón čís.	pořadí nástupu harmonických zpoždění (ms)	subjektivní ohodnocení bodů celkem                      stručná charakteristika tónu	
1	1 5 3 7 2 6 9 8 4 10. harm. 0 14 26 38 42 44 48 60 64 64 ms	21,5	charakteristický, pozvolný
2	1 5 3 9 7 8 2 10 4 6 0 52 54 54 56 56 60 68 72 80	13	ostrý, dutý, jistý
3	1 3 5 8 2 6 4 7 9 10 0 16 16 20 20 28 28 36 40 44	9	špatný
4	5 3 1 10 6 9 7 4 8 2 0 6 10 26 26 30 34 34 38 46	7,5	špatný, nejistý
5	1 3 4 5 2 7 9 6 10 8 0 24 26 28 28 28 32 32 32 34	20	znělý, ostřejší, pozvolný
6	1 3 7 5 4 2 9 6 10 8 0 6 14 26 26 28 30 32 34 36	17	dobrý, jistý
7	1 3 5 2 6 4 8 7 10 9 0 6 10 18 28 28 30 34 34 42	13,5	nevýrazný
8	1 3 7 4 5 2 6 8 9 10 0 6 8 12 14 32 42 44 52 64	10	syčivý, nejistý
9	1 2 3 4 0 8 10 18	22,5	přirozený, ostrý, jistý
10	1 2 3 4 0 6 12 14	13	netypický, stísněný

Literatura:

- [1] Melka A., Příspěvek k objasnění psychoakustického významu zkreslení tranzientů..., kand. práce 1972.
- [2] Mc Ginnis C. S., Hawkins H., Sher N., An Experimental Study of the Tone Quality of the Boehm Clarinet, JASA 14 1943 228—237.
- [3] Ghosh R. N., Theory of the Clarinet, JASA 9 1938 255—264.
- [4] Saunders F. A., Analyses of the Tones of a Few Wind Instruments JASA 18 1946 395 — 401.
- [5] Freedman M. D., Analysis of Musical Instrument Tones JASA 41 1967 793 -- 806.
- [6] Bariaux D. aj., A Method for Spectral Analysis of Musical Sounds, Description and Performances, Acustica 32 1975 307 -- 313.