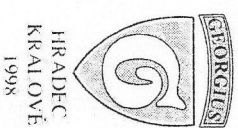


Pavel Kurfürst

ORGANOLOGIE
(propedeutika, exemplifikace)



10. Osobnost Curta Sachse

Curta Sachs (1881-1959), původně studoval dějiny výtvarného umění ale zabýval se také hrou na klavír. V hudběni teorii i kompozici a po roce 1908 se začal soustavně věnovat muzikologii. V roce 1919 byl jmenován ředitelem Státní školy hudebních nástrojů v Berlíně která se pod jeho vedením stala jednou z největších nejvýznamnějších a nekválitnějších kolekcí na světě. V Berlíně nastoupil Sachs zářepití též pedagogickou dráhu jako docent a později profesor nauky o hudebních nástrojích. V roce 1933 byl nucen emigrovat do Paříže a v roce 1937 odjel do USA kde působil jako poradce hudebního oddělení newyorské veřejné knihovny a přednášel externě na mnoha amerických univerzitách. Svou mazuji pedagogickou a zejména publikační činností se stal Sachs všeobecně uznávanou autoritou a jeho spisy jsou dodnes základem organologickým průceem. Látka kterou Sachs dovedl postupně shrnout je obrovská skutečně globální Sachsovy etnoorganologické práce přispěly důležitým podílem k pozvolnému odklonu muzikologie od původně striktního evropsocentru.

Ze Sachsových prací uvedme *Real Levikon der Musikinstrumente Zugleich ein Polyglossar für das gesamte Instrumentengebiet* (Berlín 1913 revizí vyd. New York 1964) *Systematik der Musikinstrumente* (Spolu s E. M. Hornbostelem. Zeitschrift für Ethnologie 46, 1914), *Die Musikinstrumente Indiens und Indonesiens Zugleich eine Einführung in die Musikinstrumentenkunde* (Berlín 1914, 1923), *Die Musikinstrumente Barmas und Assams im K. Ethnographischen Museum zu München* (München 1917) *Handbuch der Musikinstrumentenkunde* 1. díl 1920-1930, 2. díl 1930-1966) *Die Instrumente des alten Ägyptens* (Berlín 1921), *Sammlung alter Musikinstrumente bei der Staatlichen Hochschule für Musik zu Berlin* *Beschreibender Katalog* (Berlín 1922), *Die modernen Musikinstrumente* (Berlín 1923) *Geist und Werden der Musikinstrumente* (Berlín 1929) *The history of musical instruments* (New York 1940).

Sachs nebyl jen znalecem ale také vášnivým milovníkem nástrojů a jeho vyřečné formulované komentáře nezakrývají tuto znalickou zálibnost. V *Handbuch der Musikinstrumentenkunde* (s. 32) např. například v hesle o gongu: *Teu kdo má jenom spuntě exempláře kterým se ve k julla v husič v evkovských sidlech nebo ony ubohé nehudbní tančany, mášich orchestri nemůže si předat žádnou představa o tom, co znamená takový gong, ve své indice domovně. Jako každý kovový předmět, který dosti vázne, jhnavýchuda Asie, jako každá huska či pohar, které vdehuji podvubohé časn a mohutn, svak také gongy mají zde okrouhlost a přinosi čistotu a jasnost zvuku, která okoučluge všch znova a znova. Mezi mladší sřpřirte zřepřirte kvasi severní zvuku, která okoučluge všch znova a znova. Mezi mladší megestannu, tajemným nástrojenským zvonovým, zvukem evsřuge bohata škála hudebních barev, vedle načč evropský instrumentů nema co posostit.*

Stat byla převzata z Kol. Česká hudební věda 2. díl Praha 1988. 611

XII. Hudební akustika

1. Hudebně akustické minimum pro organology

Základy hudební akustiky uvádám v jednohých bodech, které zahrnuji jen ty nejjednodušší základy oboru bez nichž se nelze v organologii obejti. Podrobněji se tomuto oboru věnuje *Antonin Šperla* ve své publikaci *Hudební nástroje* (Praha 1978).

1. **Definice Hudební akustiky** v širším slova smyslu dices zahrnuje základnu pro vauk, nauku o mechu nutém kmitání a vlnění akustické zákonosn ve svabě intenzit, stupnic a harmonických soustav akustiku hudebních nástrojů, základů fyzologie a seřicort ke akustikě a základnu informace o prastore akustiky a elektronekustiky.

2. **Jednoduchý kmit**. Je to pohyb myšleného pružného bodu z rovnovážné polohy do největší výchylky (*amplitudy*) odtud přes rovnovážnou polohu do druhé opačné amplitudy a zpět do rovnovážné polohy.

3. **Doba kmity**. Je doba potřebná k vykonání jednoho kmity. Nazývá se též *perioda*.

4. **Frekvence** (*kmitočet*) je počet kmity za jednu sekundu.

5. **Jednotka frekvence** f je 1 Hz (Hertz). Je pojmenována po německém fyzikovi *Heinrichu Hertzovi* (1857-1894). Je to jeden kmit za jednu sekundu. Jednotky vyšší jsou 1 kHz (=10³Hz), 1 MHz (=10⁶Hz), 1 GHz (=10⁹Hz). V hudební akustice se používají jen jednotky ve slyšitelném pásmu: Hz, kHz.

6. **Jednoduchý kmit** (sinusový, harmonický) má časový průběh ve tvaru sinusoidy. Takový průběh tónu je produkován pouze tónovým generátorem U hudebních nástrojů se mu nejvíce blíží zvuk přímé flétny.

7. **Složžený kmit** se skládá z několika sinusových kmity různých frekvencí, které vnímáme jako jediný tón. Hudební nástroje produkují výhradně kmity složene.

8. **Érazový posuv** a *kmitavého* pohybu. Začíná-li průběh např. sinusovky největší výchylkou je posunutí vůči normálu o 90°.

Jestliže se setkají dva stejné tónové průběhy, které jsou vůči sobě posunuty o 180° (o půl perody) a mají stejnou amplitudu, vruší se (nejsou slyšet). Tyto případy mohou nastat např. v koncertních sálech, kdy se odražený signál dostane do ucha posluchače v opačné fázi proti signálu přímému (užitečně mu), který je tím podstatně zesláben.

9. **Důležité kmity** jsou kmity, jejichž amplituda s rostoucím časem postupně klesá k nule (dřmknutí nebo úder na strunu).

10. **Nedůležité kmity** jsou kmity, jejichž amplituda je v časovém průběhu stále stejná (struna rozeznívána smyčcem).

11. **Vlastní kmity** vlastní rezonance. Každé těleso, struna, vzduchový sloupec je možné vnějším impulsem rozkmitat na frekvenci, která je dána objemovou hmotností tvarem objemem ev napětím (struny).

12. **Nucené kmity** jsou např. kmity nucené bodlím ozvěných skříní nebo vzduchovým sloupcům kmitáním struny, plátku atd.

Tyto nucené kmity jsou tedy vyvolány vlastním kmity struny, plátku.

13. **Mechanická rezonance**, *rezonanční efekt* vzniká, jestliže kmitavý systém (např. struna) vydávající vlastní kmity (oscilací) vnučuje kmity, např. ozvěné skříní (rezonancí), a to i bez přímé mechanické vazby. Správná rezonanční skřín hudebního nástroje má velký počet vlastních rezonancí, takže může zesilovat větší tónů produkovaných oscilátorem. Rezonančního efektu je také např. využíváno u nástrojů se souzněžným strunám (violu d' amou).

14. **Formanty** jsou zvlášť výrazné rezonance rezonančních skříní hudebních nástrojů. Jsou neměnné a pro každý typ nástroje typické.

15. **Nedůležité rezonátor reaguje** na široké spektrum tónů, i když menším amplitudám.

16. **Důležitý rezonátor reaguje** na široké spektrum tónů, i když menším amplitudám.

17. **Odráz zvukové vlny** na rovinném rozhraní podléhá pravidlu, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Část vlny je rovinnou pohlcena, což závisí na materiálu a pružnosti roviny. Čím je rovina tužší, tím více energie se odráží. Tohoto jevu se využívá při návrzích a stavbě rozhlásových studií, koncertních sálů, mrtvých komor atd.

18. **Zázně, ráz, interference**. Vznikají při skládání dvou vln velmi blízkých frekvencí (do rozdílu asi 20 Hz, tj. asi 2%). Vlny se tak skládají, že v určitém okamžiku se tvoří maximum amplitudy, v dalším

minimum a tento děj se periodicky opakuje. Doba jednoho zázneje je časová vzdálenost mezi dvěma sou-
sedními maximy nebo minimy. Frekvence zázneje se rovná rozdílu zděsatených frekvenci. Tohoto jevu
se využívá například při ladění sborových strun klavírů a ladění na nulový zázneje.)

19 **Zvuk.** Lidský sluch je schopen vnímat (podle stáří jedince) vlnivé rozrušky prostředí ve frekvenc-
ních mezích 16 Hz (10 Hz) až 16 kHz (24 kHz). (dolní sluchová mez - horní sluchová mez) Akustické
rozrušky s kmitočty pod frekvencí 16 Hz jsou infrazvuky, s kmitočty nad frekvencí 16 kHz jsou ultrazvuky.

20 **Tónový rozsah** užívaný v hudbě leží mezi frekvencemi 16 Hz a 4 kHz. Všechny tóny zde obsažené
jsou v rozsahu osmi oktáv - od subkontra C (C₁) do c⁸.

21 **Hluk** je zvuk vyvolaný nepravděpodobnými nepravidelnými tlakovými změnami v prostředí. Zvuk je
nařazen hluku.

22 **Šum** je zvuk sestávající z velkého počtu frekvencí (relativně vysokých) navzájem velmi blízkých
Zvuk je nařazen šumu.

23 **Tón** je zvuk vyvolaný periodickým tlakovým změnám v prostředí. Zvuk je nařazen tónu.

24 **Síla tónu.** Vnímání výška tónu neodpovídá vždy jeho kmitočtu, může být závislá i na síle tónu. Jev
vzniká nedokonalostí sluchového aparátu. Obecně síla tónu závisí na amplitudě zvukového vlnění tj. na
velkosti impulsu, který vlnění vyvolává. Sílu tónu měříme řadou veličin objektivních i zcela subjektiv-
ních.

Velčina	Symbol	Jednotka
Intenzita tónu	I	μW (mikrowatt)
Hladina intenzity tónu	B	dB (decibel)
Hladina hlasitosti tónu	P	Ph (fón)
Subjektivní hlasitost tónu	S	son

25 **Intenzita tónu** I je akustický výkon připadající na plošnou jednotku. Jde o jednotku objektivní fyz-
ikální. Měří se v jednotkách výkonu (μW). Je přímo úměrná druhé mocnině akustického tlaku p zvukové-
ho vlnění, který se udává v mikrobarrech (1 mikrobar = 1 dyn/cm²).

26 **Práh sluchového pocitu** prah slyšitelnosti Poje nejmenší tlak, který je sluchový orgán schopen za-
znamat. Pro referenční tón 1 kHz má velikost $2 \cdot 10^{-4}$ mikrobaru.

27 **Práh bolesti** je nejvyšší tlak, který ucho snese bez pocitu bolesti a je pro referenční tón 1 kHz
roven 10^3 mikrobaru.

28 **Hladina intenzity** B je dána logaritmem poměru intenzity tónu I k intenzitě odpovídající prahu slyšitel-
nosti I_0 . $B = \log I/I_0$. Vzhledem k přímé úměrnosti mezi I a p² lze hladinu intenzity vyjádřit $B = 2 \log p/p_0$.

29 **Bel (decibel)** Hladina intenzity tónu se měří v belech.
- Angličan *Graham Bell* (1847-1922) vynalezl v roce 1875 telefon. Hladina intenzity vzroste o 1 bel,
když se původní intenzita tónu zděsatenánsobí. Jde o logaritmickou závislost, která je výhodná a pře-
hledná, protože převádí geometrické vztahy na vztahy aritmetické. Člověkem vnímaná hlasitost roste při
geometrickém zvyšování intenzity podle aritmetické posloupnosti. Lidské ucho dovede od sebe rozestat
dva různé silné referenční tóny za sebou ještě i tehdy, když se rozdíl jejich hladin intenzity rovná asi de-
setině belu. Proto byla zavedena jednotka „jemnější“ 1 decibel (dB).

30 **Hladina hlasitosti** Kdyby bylo lidské ucho stejně citlivé na všechny kmitočty, udávala by hladina
intenzity tónu i tzv. hladinu hlasitosti. Jelikož však ucho má různou citlivost pro různé zvukové frekvenc-
ce, bylo nutné zavést pojem hladiny hlasitosti P. Určuje se tak, že pro referenční tón souhlasí s hladinou
intenzity, pro tóny ostatní se určuje subjektivním srovnáním s hladinou hlasitosti referenčního tónu. Měří
se ve fonech (Ph). Tón má hladinu hlasitosti x fónů, jeví-li se ucho stejně silný jako referenční tón s hla-
dinou intenzity x decibelů.

Zvuk	Hladina hlasitosti ve fonech
práh slyšitelnosti	0
šepot	10-15
dětský hlas, zvuk houslí	40
sítědné silna řeč	50-60
symf. orchestr při ff	80-90
hluk těsně u letadla	110-130

Sílné tóny kolem 100 Ph nevykazují podstatné odchylky mezi B a P. Hladina jejich hlasitosti se přibližně
rovná hladině intenzity 100 dB v celém slyšitelném rozsahu, tedy nejen pro referenční kmitočet 1 kHz, jestli-
že se postupuje k tónům slabším, porušuje se tato rovnost. Tóny dvočetřokované a jednočetřokované oktávly vy-
žadují nižší hladinu intenzity, než je jejich hladina hlasitosti. U tónů nižších je tomu naopak.

31 **Subjektivní hlasitost tónu.** Praxe ukazuje, že např. silový rozdíl tónů o 90 a 100 dB (Ph) se jeví
mnohem větší, než např. mezi tóny 5 a 15 dB (Ph). To si vyžádalo vytvoření nové empirické stupnice
subjektivní hlasitosti měřené v *sonech*. Hlasitost jednoho sonu má referenční tón při hladině intenzity 40
dB. Hlasitost 2 sony má zvuk, který se jeví dvojnásobně silnější. Bylo zjištěno, že dvojnásobnou subjektivní
hlasitost vyžaduje tón jehož hladina hlasitosti vzrostla o 10 Ph. Z toho plyne, že hladině hlasitosti 50 dB
odpovídá subjektivní hlasitost 2 sony, 60 dB - 4 sony, 70 dB - 8 sonů, 80 dB - 16 sonů, 90 dB - 32 sony,
100 db - 64 sony, 110 dB - 128 sonů, 120 dB - 256 sonů. Sonová stupnice nejlépe odpovídá subjektivní-
mu hodnocení síly tónu.

32 **Barva zvuku,** téžbr. spektrální složení tónu. Barvou zvuku rozlišujeme zvuk různých hudebních
nástrojů. Jde o rozložení (rozlišení) různých zvukových kvalit. Tóny v hudbě jsou vždy tóny složené. Je-
jich barva závisí na spektrálním složení tónu, a to především na

- a) počtu a intenzitě harmonických tónů
- b) na produktech tzv. vedlejších (vyprovokovaných) oscilací.
- c) na charakteristických šumech a šelestech vzniklých např. tahem smyčce, úderem palčtek atd.
- d) na předchodových jevech na začátku a na konci tvorení tónu, kdy ve velmi malých časových úsecích
se mění počet a velikost amplitud jednotlivých harmonických tónů obsažených v daném složeném tónu.

- e) na formantech, tj. rezonančních oblastech rezonátorů či těles nástrojů
- f) na tónech, které s sebou nesou superpozici kmitočty

33 **Harmonické tóny** (částkové, parciální, alikvotní) jsou tóny, které provázejí a jsou obsaženy s rů-
znými amplitudami v každém složeném tónu. Jde o tóny v tzv. harmonické řadě, například

1 harmonický tón (základní)	110 Hz	A
2 harmonický tón	220 Hz	a
3 harmonický tón	330 Hz	e ¹
4 harmonický tón	440 Hz	a ¹
5 harmonický tón	550 Hz	e ²
6 harmonický tón	660 Hz	e ²
7 harmonický tón	770 Hz	e ²
8 harmonický tón	880 Hz	a ²

Rozdíli kmitů mezi sousedními harmonickými tóny číni vždy tolik kmitů, kolik jich má základní vý-
chozí (1 harmonický) tón. Zde je zajímavá souvislost, zatímco rozdíli kmitočtů je mezi sousedními har-
monicými tóny vždy stejný, jejich intervaly se sněrem k vyšším stále zmenšují.

34 **Cent.** V hudební teorii a zejména při akustických měřeních je často nutné dělit interval temperova-
ného půltónu na menší jednotky. Interval temperovaného půltónu byl tedy rozdělen na sto stejných dílů.
centů. Čála oktáva, dvanáct půltónů, tak obsahuje 1200 centů.

35 **Dynamický rozsah** hudebního nástroje jsou všechny dynamické možnosti obsažené mezi jeho hor-
ní a dolní mezí dynamiky. Rozpětí dynamiky udává rozdíl hodnot těchto mezí.

Např. nejznámější dosažitelná hladina intenzity hudebního nástroje je 55 dB, nejvyšší 85 dB. Jejich rozdíl -
30 dB - označujeme jako rozpětí dynamiky.

36 **Stupně dynamiky** u hudebních nástrojů. Intenzitu zvuku nejčastěji měříme logaritmicky. Pro stup-
ně dynamiky hudebních nástrojů bylo nutné najít vhodnou objektivní stupnici v dB. V praxi neklesá hla-
dina „ticha“, hladina hluku pozadí, pod 40 dB. Nemůže mít tedy nejmenší stupeň dynamiky menší hodnotu
(nebyl by slyšet). Nejvyšší stupeň zase nemůže, až na výjimky (varhany), překročit hodnotu kolem 100
dB. Není zde brána v úvahu hudba elektronická, kde se často zvuk zesiluje nad fyziologicky umosnou
mez a stává se nesnesitelný a nebezpečný. Jednotlivým známým stupňům dynamiky byly přiřazeny tyto
přibližné decibelové hodnoty.

PPP	40 dB	P	60 dB	mf	70 dB	ff	90 dB
ppp	50 dB	mp	65 dB	f	80 dB	fff	100 dB

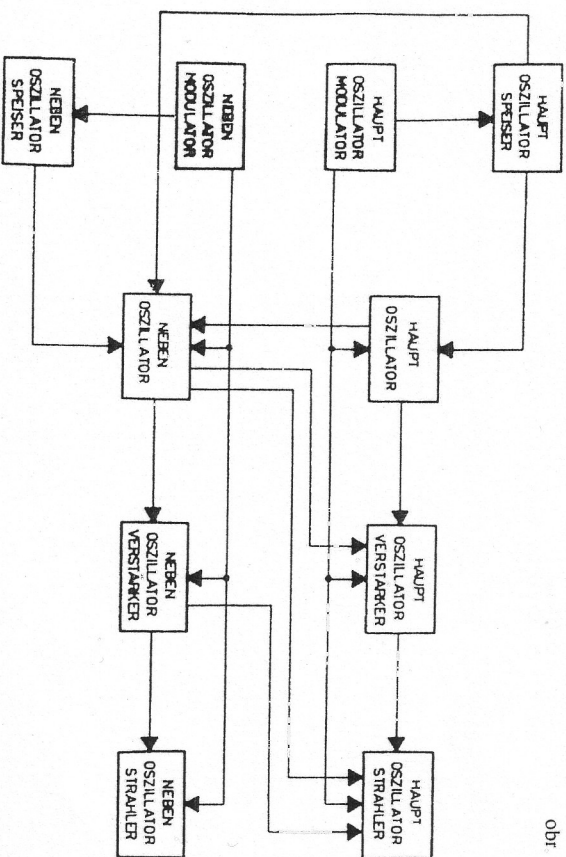
Každý stupeň má volnost v mezích 5 dB. Výjmkou tvoří stupně p, mp, mf, kde volnost číni nejvyšše
2,5 dB.

2. Hudební nástroje jako akustické zdroje

Počátky organologie můžeme sledovat již od antického starověku. Tehdy se daly základní akusticko-fyzikální výzkumy a experimenty na nejednodušších hudebních nástrojích (monochord, píšťala, zvon) Pythagoras, Aristoteles, Euklides a další vyjádřili matematicky základní poznatky o šíření zvuku v prostoru a v pevných tělesech objevili uzly a kmitny na struně a řadu dalších zákonností. Tím byly položeny společné základy akustice a organologie. Postupem doby akustika stále více ovlivňovala vývoj hudebních nástrojů a její pomocí mohly být neustále zpřesňovány i poznatky o nich. Vzájemně ovlivňování akustiky a organologie vyvrcholilo v dnešní době, kdy prudký rozvoj měřicí techniky se podílí podstatnou měrou na výzkumu hudebních nástrojů. Výsledky akustických výzkumů jsou zcela objektivně a slouží nejen poznání historických hudebních nástrojů, ale především při vývoji a zlepšování nástrojů současných.

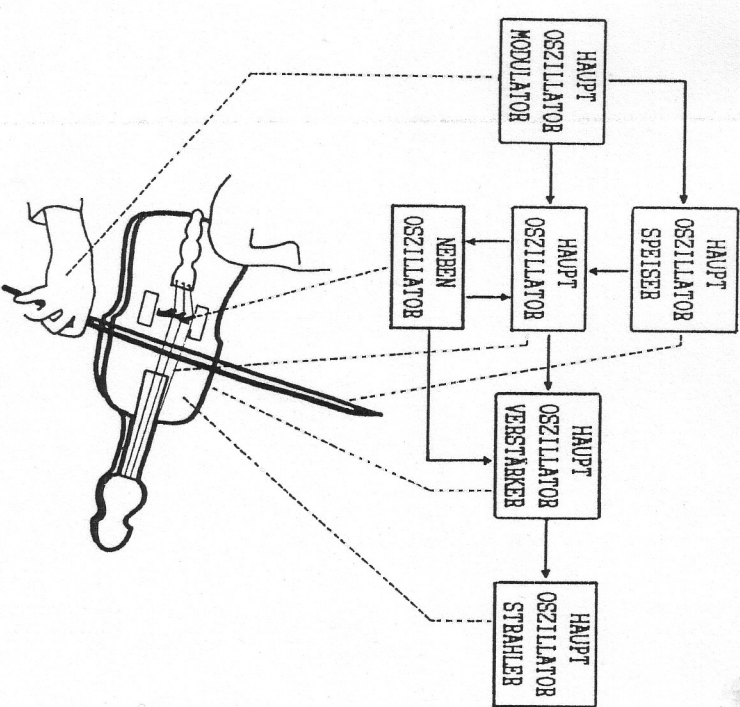
Z velkého množství klasifikačních kritérií hudebních nástrojů je jedno z nejdůležitějších to, které vyplývá z pohledu na ně jako na akustické zdroje. Prozatím však tento zřetel nebyl v žádné z dosavadních systematick hudebních nástrojů uplatněn naprosto důsledně. Pokud se s ním v některých systematických přece jenom setkáme (například v systematické hudebních nástrojů od Hornbostela a Sachsse) tak již dávno nevyhovují současným poznatkům a požadavkům akustiky. Aby byly jednotlivé nástroje z tohoto hlediska mezi sebou srovnatelné je třeba je rozložit na primární, funkčně již dále nedělitelné elementy a jejich vzájemné vazby. Základní funkční elementy s příslušnými vzájemnými vazbami jsou společně pro všechny hudební nástroje i když žádný z nich je neobsahuje všechny a i když se u jednotlivých nástrojů vyskytují v různých formách v různých typech. Rovněž počet stejných prvků může být u různých hudebních nástrojů různý.

Zjišťování existence těchto základních prvků jejich forem a vzájemných vazeb je možné pouze pomocí objektivních akustických měření, která jsou při analýzách hudebních nástrojů naprosto nezbytná. Tyto metody však vyžadují vybudování specializovaných pracovišť s parkem měřicích přístrojů.



obr. 313

Jako základ pro analýzy hudebních nástrojů jsem vypracoval schéma (obecný model) hudebního nástroje, který obsahuje všechny základní funkční elementy a všechny možné jim příslušející spoje. Vazby Základní elementy a jejich vazby jsou u modelu v nekonkrétních podobách. Prvky jsou nazvány podle své funkce a vazby jsou bez názvů, neboť jejich existence vyplývá až při určování konkrétních podob některých prvků. Každý prvek a vazba jsou u modelu obsaženy jen jedinkrát. Vlastní analýza hudebního nástroje spočívá v tom, že měřeními zjišťujeme, které z prvků modelu nástroj obsahuje, jak jsou v něm tyto prvky navzájem pospojovány, jak jimi postupuje signál (určení akustické cesty) a v jakém množství a jaké formě se v hudebním nástroji vyskytují. Model je zde velmi dobrou pomůckou, protože v nejasných případech jeho prvky u zkomponovaných nástrojů raději předpokládáme a měřeními dokazujeme jejich eventuelní neexistenci. Ještě ve zvyšné míře to platí při zjišťování vazeb, což je vždy obtížnější než zjišťování prvků. K nástrojům tedy přistupujeme jako k modelu, z něhož prvky a vazby „vybíráme“.



obr. 314

Pro názvy jednotlivých prvků modelu jsem použil terminologie běžné pro základní obvody elektro-technických zapojení je to možné protože hudební nástroj je v podstatě vysílačem signálu (podobně jako například rozhlasové vysílače). Tato terminologie vyhovuje navíc jednoznačnosti a srozumitelnosti.

Přehled forem typických základních prvků a vazeb u hudebních nástrojů:

A) Hlavní oscilátor	B) Napáječ hlavního oscilátoru	C) Zesilovač hlavního oscilátoru	D) Změna frekvence hlavního oscilátoru
tr	vzdůch	vlastní dutina	přeladěním skokem
plátek jednoúčelový	plektrum	vnější dutina	přeladěním plynu
plátek dvojnásobný	přst	deska	přeladěním dutiny skokem
hrana první	smýčec	blána	vyměnou pevně laděných os
hrana rojtující	palčička	struna	změnou napětí napáječe
lasť	kámen	dvč	
hlavovky	pružina		
struna	slavový impuls		
blána			
talíř			
dvč volná			
dvč veškerá			
deska volná			
deska veškerá			
zvon			
konle dutá			
konle plná			

E) Modlace	F) Modulováno do
<i>amplifiková</i>	hlavního oscilátoru
<i>frekvenční</i>	zesilovače hlav oscilátoru
<i>superpozici kmitů</i>	vedlejšího oscilátoru
<i>z jiného oscilátoru</i>	
	zesilovač vedl oscilátoru
	vyzářovače hlav oscilátoru
	vyzářovače vedl oscilátoru
	napáječe hlav oscilátoru
	napáječe vedl oscilátoru

I) Počet hlav oscilátorů	J) Možný počet hlav osc v současném provozu
<i>jedni</i>	více
<i>jedni</i>	více

G) Hlavní osc převážně	H) Kmitů hlav oscilátoru
základní	tlumené
<i>harmonický</i>	relativně netlumené
<i>spektrální</i>	

K) Vedlejší oscilátor	L) Napáječ vedlejšího oscilátoru
Ity	prst
platek jednohubý	plektrum
<i>plátek dvojný</i>	vzduch
<i>hrana pevná</i>	smýčec
<i>hrana rojitel</i>	palčeka
<i>líst</i>	kámen
<i>hlasivky</i>	pružina
<i>struna</i>	slový impulz
<i>blána</i>	hlavní oscilátor
<i>talíř</i>	napáječ hlav oscilátoru
<i>tlé volná</i>	vyzářovač hlav oscilátoru
<i>tlé veškerá</i>	
<i>deska volná</i>	
<i>deska veškerá</i>	
<i>tyon</i>	
<i>koule dutá</i>	
<i>koule plná</i>	

M) Zesilovač vedl osc	N) Vedlejší osc převážně
<i>vlastní dutinu</i>	základní
<i>vnější dutinu</i>	harmonický
<i>desku</i>	spektrální
<i>blána</i>	
<i>struna</i>	
<i>tlé</i>	
<i>zesilovač hlav osc</i>	

Q) Možný počet vedl osc. v souč. provozu	R) Vyzářovač hlavního oscilátoru převážně
<i>jedni</i>	plocha
<i>více</i>	otvor
	samotný vedl oscilátor
	vyzářovač hlavního oscilátoru

S) Vyzářovač vedl oscil převážně	T) Změna frekvence vedl oscil
<i>plocha</i>	přeladěním skokem
<i>otvor</i>	přeladěním plynně
samotný oscilátor	přeladěním dutiny skokem
	přeladěním dutiny plynně
	výměnou pevně laděných oscil
	výměnou pevně laděných dutin
	změnou napětí napáječe vedl osc
	v závislosti na hlav oscilátoru

Hlavní oscilátor je ta část hudebního nástroje, na které nebo ve které vznikají kmity zvuku produkovaného nástrojem. Je zřejmé, že hlavní oscilátor je tedy základním a nezbytným prvkem každého hudebního nástroje. Typ - forma hlavního oscilátoru je potom základním určujícím prvkem nástroje. Rada současných systematik hudebních nástrojů vytykáti právě z určování forem hlavního oscilátoru jako jediného třídicího prvku. Podmínkou pro vznik a eventuelní udržování nebo obnovení kmitů v hlavním oscilátoru je existence *napáječe* - prvku, který dodává oscilátoru potřebnou energii. Je-li například oscilátorem struna, pak napáječem může být smýčec, plektrum, prst nebo v opedimělých případech i vzduch *Hornius rel-Sac-hova* systematika hudebních nástrojů třídí nástroje částečně podle typu hlavního oscilátoru a čas- tečně podle typu napáječe; přičemž obě kritéria střídá a klade je na stejnou úroveň, připisuje jim stejný význam. Například aerofony jsou v této systematice určeny napáječem (chorodfony hlavním oscilátorem). Jde však o funkčně zcela odlišné prvky, které nelze ztotožňovat a nelze jim přisuzovat stejnou funkci. Je tedy z hlediska vzniku zvuku v hudebním nástroji toto třídění neúspěšné. Jak hlavní oscilátor tak i jeho napáječ jsou nezbytnými prvky každého hudebního nástroje. Některé jednoduše nástroje se skládají jen z těchto dvou prvků - z hlavního oscilátoru a z napáječe. Mezi nimi je vždy přímá a jediná vazba směrem z napáječe k oscilátoru.

Většina hudebních nástrojů má však ještě další funkční prvky. Je to především *zesilovač*. Jednoduše řečeno, je to ta část nástroje, ve které nebo pomocí které se kmity vytvořené v hlavním oscilátoru zesilují - síťávají se hlasitěji. Jsou to například rezonanční dutiny, souznějící struny, rezonanční desky apod. Na- ku předávána vnějšímu prostředí. Nemá-li nástroj vyzářovač, přebírá většinou jeho funkce zesilovač. U jednoduše hudebního nástroje, který se skládá jen z hlavního oscilátoru a napáječe, má současně funkci vyzářovače také hlavní oscilátor.

Rada hudebních nástrojů je schopna změny frekvence výsledného tónu. Děje se tak přeladováním hlavního oscilátoru, přeladováním některých typů zesilovače, jejich výměnou a/či Rozlišujeme rovněž schopnosti *modulování* jednotlivých tónů. Jsou to rychlé a malé změny jejich úrovně (amplitudy), frek- vence nebo současně změny obojího. Zvláštní případ modulace je superponování kmitů z dalšího vedle- jího oscilátoru na kmitu oscilátoru hlavního. Tento typ modulace je častý u nástrojů středověkého hudeb- ního instrumentáře, ale také u některých současných nástrojů pro lidovou hudbu. Důležitě je zjištění, ve kterém základním prvku hudebního nástroje modulace vzniká. Nemusí to být jen v napáječi nebo v hlav- ním oscilátoru. U některých nástrojů se tak děje až v zesilovači nebo dokonce ve vyzářovači. Většina hlavních oscilátorů u hudebních nástrojů pracuje na té frekvenci, na kterou je naladěna. Tyto oscilátory pracují na frekvenci základní. Některé však pracují občas nebo výhradně na frekvenci harmonické, jiné produkují celé spektrum kmitů, o příbližně stejné amplitudě. Tyto spektrální oscilátory nemají defino- vanou výšku tónu a vyskytují se nejčastěji u nástrojů rytmických.

Hlavní oscilátory některých hudebních nástrojů produkují jen tlumené kmity. Typickým příkladem je struna rozzevnutovaná - napájená prstem nebo plektrkem. Kmity relativně netlumené vznikají tehdy, je-li napáječ schopen udržovat kmity hlavního oscilátoru jistou dobu o neměnné amplitudě. Příkladem budiž opět struna, tenokrát však napájena delší dobu. Typem takového napáječe je smýčec. U hudebních ná- strojů dále zjišťujeme, kolik obsahují hlavních oscilátorů a kolik jich může být současně v provozu.

Dalším, často opomíjeným prvkem hudebních nástrojů je vedlejší oscilátor. Jeho existence je v někte- rých případech velmi zřejmá, jako například u nástrojů s bordonovým strunami, často však mívá méně výrazné podoby (vznik vedlejšího oscilátoru je často náhodný). Ale ani o „skrytých“ vedlejších osciláto- rech nelze říci, že jejich funkce je podružná. Vedlejší oscilátor vždy velmi podstatně ovlivňuje výsledný zvukový produkt hudebního nástroje. Při analýze hudebních nástrojů proto musíme existenci vedlejšího

oscilátoru vždy předpokládat a teprve měřením dokázat jeho eventuelní absenci. Jako názorný příklad hudebního nástroje se „skřivými“ vedlejšími oscilátory slouží jihlavské skřípky. Kobylka skřípek podepřít každou strunu zvlášť samostatným zubem. Na horní plošce každého zuby je poměrně hluboký zářez, který nedovoluje se-meknutí struny. Struna skřípek potom při svém pohybu v rovině paralelní se základní rovinou nástroje, ke kterému je nucena smýcecm, vyklán ve základní poloze i zub kobylky. Amplituda pohybu zuby je přímo úměrná amplitudě kmitů struny a mechanické přímnožení materiálu kobylky a nepřímou úměrná objemové hmotnosti struny. Zub se tak projevuje jako nepevně uchycení struny, částečně sleduje její kmitu a tím tlumí jejich amplitudu. Subjektivní vjem při těchto poměrech je podobný jako při hře na housle s dusítkem. Tyto vztahy však platí jen pro nejnižší laděné struny a jen po jistou kmitočtovou hranici. Tato hranice je dána rezonančním kmitočtem hmoty zuby kobylky a její akustickou průzračností. Zub je totiž schopen sledovat kmitu struny jen po svůj vlastní rezonanční kmitočet. Čím je větší hmotnost zuby kobylky, tím je nižší kmitočet vlastní rezonance. Ze zvukové esenceckých důvodů je žádoucí, aby tato frekvence byla co nejnižší, aby se dusítkový efekt projevovat na co nejméně části frekvenčního charakteristiky nástroje. Kobylky skřípek jsou proto robustní s velmi dlouhými zuby, což snižuje jejich vlastní rezonanční kmitočet na co nejnižší mez. Dotsud popisované chování kobylky se jeví jako konstrukční nedokonalost, která byla výrobci v větší či menší míře úspěšně potlačována. Avšak u dalších frekvencí působí jinak rezonanční kmitočet zuby se poměry mezi kmitující strunou a kobylkou mění. Změna na rezonančním kmitočtu zuby se děje skokem. Pokud je struna naladěna na tuto frekvenci, tak vůbec „nezní“, vydává tón relativně velmi slabý. Její tlumení je, vzhledem k největšímu rozkmitu zuby, největší. Od této frekvence směrem k vyšším kmitočtům se stává účinek kobylky pro výsledný zvuk skřípek žádoucí. Struna se totiž stává napáječem mechanického rezonančního zuby, který osciluje pak trvale na kmitočtu své vlastní rezonance. Struna skřípek pak zastává dvojí funkci: je hlavním oscilátorem nástroje a současně napáječem vedlejšího oscilátoru - zuby kobylky. Amplituda kmitání zuby se mění se změnou frekvence struny, kmitočet zuby však zůstává konstantní. Tímto kmitočtem se svým harmonickým a subharmonickým složením se skládá se základním a vedlejšími kmitočty struny, takže vzniká řada nových součtových a rozdílových frekvencí, z nichž vždy některé i když s různou intenzitou, se nacházejí ve slyšitelném zvukovém spektru. Díky většímu oscilátoru má pak výsledný zvuk skřípek jemně bzavivý, bazální metalický charakter.

Vedlejší oscilátor se může vyskytovat ve stejných formách jako oscilátor hlavní. Musí mít rovněž napáječ, který však by v čase společný pro oba oscilátory. Někdy přebírá funkci napáječe vedlejšího oscilátoru oscilátor hlavní, tak jako u uvedeného případu. Také ostatní prvky příslušející k vedlejšímu oscilátoru jsou obdobné jako u oscilátoru hlavního, jak vyplývá ze schématu modelu hudebního nástroje. Jde vlastně o dva (nebo více) paralelní nástroje, které mohou existovat buď v této úplně podobě, nebo mohou vzájemně využívat některých společných prvků eventuelně vazeb. Při analýze hudebního nástroje je tedy také důležité zjišťování vzájemného prolínání obou eventuelních paralelních nástrojů. U vedlejšího oscilátoru tak jako u hlavního zjišťujeme možnosti modulace, změny frekvence, počet oscilátorů atd.

Při analýze hudebního nástroje se zabudovat kobylkou jsem vpracoval schéma vycházející z uvedeného modelu obecného hudebního nástroje. Schéma obsahuje jeden napáječ představovaný smýcecm, který udržuje v relativně neutlumeném kmitání tři nebo čtyři (podle počtu strun) hlavní oscilátory. Kmitu hlavních oscilátorů jsou vyzařovány do prostoru jednak přímo a jednak jsou prostřednictvím kobylky přenášeny do nekladěné rezonanční dutiny - zesilovače - a jeho části, vrchní desku nástroje (vrkmitu) jsou pak také vyzařovány do prostoru. Spodní deska se vzhledem ke značné houstě (obvykle u nástrojů tohoto typu) uplatňuje jako vyzařovač jen při minimálním počtu nejnižších frekvencí. Zvukové výteřy ve vřku se ve funkci vyzařovává uplatňují rovněž jen nepatrně. Jak jsem již uvedl, obsahuje schéma takového nástroje tři nebo čtyři vedlejší oscilátory - zuby kobylky. Kmitu vedlejších oscilátorů se jednak superponují na kmitu oscilátorů hlavních a jednak se směšují s dalšími produkty hlavních oscilátorů. Proces směšování ni se děje ponejvíce v zesilovači nástroje. Výsledný signál je potom vyzařován vrkem nástroje. Při vlastní hře se uplatňuje ještě jeden prvek - modulátor hlavního oscilátoru, který je představován samotným hráčem resp. jeho rukama. Pravá ruka ovládající smýček může jeho různým tlakem na strunu měnit dynamiku hry - amplitudově moduluje hlavní oscilátory. Levá ruka, která především určuje frekvence hlavních oscilátorů, může také vbrátem jemně frekvenčně moduluje hlavní oscilátory. Vzhledem k technice a způsobu hry na tyto nástroje jsou vazby *modulátor - napáječ* a *modulátor - hlavní oscilátor* jen velmi malé a volně a při hře většinou muzikantů je nelze vůbec zaznamenat.

Jako příklad laboratorního měření na hudebním nástroji se zabudovat kobylkou uvedu zjišťování existence vedlejšího oscilátoru a měření jeho produktů. Na vybrany exemplář jihlavských skřípek byla natažena jediná ocelová struna o průměru 0,32 mm (běžně užívaná jihlavskými skřípkáři) a vedena přes levý krajní zub kobylky příslušející struně *e*. Bylo nutné zvolit správný způsob pro smínaní kmitů zuby kobylky a také pro rozoznávání struny. Při běžných laboratorních měřeních smýčcových hudebních nástrojů se pro

rozkmítání struny většinou používá mechanického nekoncentního smýčce *F. Herolda*, který však byl v době měření nedostupný a jehož čistě mechanický princip nemusi vždy splňovat přímé požadavky objektivního laboratorního měření. Heroldův nekoncentní smýček byl původně zkonstruován pro tzv. vyhřívání houslí a viol. Pro rozkmítání struny jsem použil elektromagnetického budiče vlastní konstrukce (při těchto měřeních je většinou nutné experimentovat a improvizovat), který umožňuje přesnou kontrolu všech jeho funkcí po přivedení na elektrické vřičiny. Další přednosti elektromagnetického budiče vůči nekoncentnímu smýčce *F. Herolda* je, že není v mechanickém styku s rozkmítávanou strunou (struna je rozkmítána proměnným elektromagnetickým polem), což vždy do měření vnáší řadu nepřesností a chyb. Cíla budiči jednotka se skládala z výkonového tónového generátoru (150 W/6000), jehož produkt byl kontrolován paralelně připojeným osciloskopem (kontrola průběhu - tvaru budičích kmitů) a čítačem (kontrola výstupního kmitočtu). Budiči element byl umístěn v mistech, kde je struna při hře rozoznávána smýcecm. Výstup výkonového generátoru byl přiveden do laditelné pásmové propusti, velmi srně, která zaručovala, že se na výstupní frekvenci generátoru nebudou superponovat cizí nrušivé vlny. Která zaručovala, byla předladvána synchronně s generátorem. Aby se bezpečně z měření vyloučila nrušivá frekvence 50 Hz ze silového rozvodu, byl výstup z pásmové propusti přiveden ještě na frekvenční zádrž 50 Hz. Signál byl dále přiveden do výkonového širokopásmového zesilovače, na jehož výstup byl připojen elektromagnetický budič struny.

Elektromagnetický budič byl umístěn do těsně blízkosti rozkmítávané struny v místě smyku smýčce. Struna byla předladvána pomocí mechanického zařízení (capotasto). Současně se změnou frekvence struny byl předladván i výkonový generátor spolu s pásmovou propustí tak, aby struna měla maximální amplitudu rozkmitu. K indkaci a kontrole tohoto způsobu ladění generátoru byla využita snímací jednotka skládající se z elektromagnetického snímače, jehož výstupní napětí bylo registrováno voltmetrem. Během měření bylo neustále kontrolováno zda-li se nezměníla frekvence generátoru vůči naladění struny.

Vřešití zařízení - snímací jednotku - pro měření kmitů zuby kobylky byl problém daleko nesnadnější, protože amplitudy zuby jsou velmi malé a jakoekoliny přídavné zařízení tyto kmitu ještě zatluhi. Proto bylo upuštěno od všech snímačů dovkových (piezoelektrických a mmatumních geofonů). Nepoužil jsem také snímače kapacitního, protože i když snímá kmitu bezdotykově, musí se na zub kobylky nalepit proužek kovové fólie (který by sloužil jako střední deska snímače - „moylikového“ kapacitního kondenzátoru), která ovšem také částečně zatluhne jeho kmitu. Kapacitní smínaní chvění klade navíc velké požadavky na mechanickou stabilitu nástroje vůči snímací jednotce, což není možné v dostatečně míře zajistit.

Nakonec jsem se rozhodl pro smínaní pomocí modulace světelného paprsku clonou, kterou představoval samotný zub kobylky. Ide o podobný princip jako u smínaní kvřisy používané optické zvukové stopy filmu. Celá snímací jednotka se skládala z mosazné trubky o délce 100 mm a světlosti 20 mm. Na obou koncích byla trubka zasklepena a její vřitní stěna byla natřena černým matovým lakem, který sloužil jako ochrana proti nežádoucímu světelným reflexům. Ve středu trubky byl zářez o 0,2 mm šířky než byla tloušťka zuby kobylky. V jednom konci dutiny trubky byla umístěna mmaturní žárovka se soustavou clon, které zajišťovaly poměrně úzký svazek světelných paprsků. Vřhodnější by bylo použít mzkový laser, ale ten nebyl v té době k dispozici. Na opačném konci dutiny trubky byla umístěna „rychlá“ fotodióda, jejíž světločitivá část byla přesně situována do osy úzkého kužele světelných paprsků. Celá snímací jednotka byla zařizována na vřku nástroje tak, aby kmitající zub kobylky zasahoval částečně do světelného toku žárovky a aby svým chvěním působil jako proměnlivá clona.

Žárovka ve snímací jednotce byla napájena ze stejnosměrného zdroje napětí, dokonale stabilizovaného a filtrovaného. Zepřena dříkladně musly být odfiltrovány nrušivé frekvence 50 Hz a 100 Hz pocházející ze střídavého síťového rozvodu 220 V. Výstup z fotodiody, jehož napětí se měnilo souhlásně s kmitáním zuby kobylky, byl přiveden do napájecího zesilovače, protože výstupní napětí fotodiody bylo velmi malé. Na výstup zesilovače byly připojeny vřhodnocovací přístroje přes dolnofrekvenční propust, která zabraňovala měření zkreslujících údajů vzniklých kmitáním struny. Pomocí osciloskopu byl sledován průběh kmitů zuby kobylky a čítačem jejich kmitočet.

Vřhodnocením naměřených údajů byla prokázána existence vedlejšího oscilátoru a jeho funkce, jak již bylo popsáno.

Literatura:

Dřiger, H. H. Prinzip einer Systematik der Musikinstrumente. In Musikwissenschaftliche Arbeiten III, 1948.
 Hornbostel, E. M., Sachs, C. Systematik der Musikinstrumente. In Zeitschrift für Ethnologie, 1914.
 Hutter, J. Hudební nástroje. Praha 1945.
 Kurfurst, P. Musikinstrumente und Schallgeneratoren als akustische Quellen. In Casopis Moravského muzea v Brně, 1974, s. 255-265.
 Leng, L. Slovenské ľudové hudobné nástroje. Bratislava 1967.

3. Vlčí tón

Vlčí tón (vlk) odebývána pronásleduje výrobce i uživatelé především smyčcových nástrojů. Jde o jeden nebo i více tónů, které nelze na některých nástrojích zahrát ve stejné zvukové kvalitě jako tóny ostatní. Projevuje se to hučáním a přeskakováním tónu v rychlých intervalech do vyšších harmonických. Tón se jeví jako „hublý“. U houslí by vlna pozorovatelny v oblasti od g^2 do g^3 , nejčastěji se však projevuje u violoncella a to zvláště ve vyšší poloze na struně G. Hudební nástroje s vlkem ztrácejí na ceně a mnohdy jsou dokonce neproditelné. Tento jev byl a je pro většinu houslařů a housliřů nevysvětlitelný. Proto vždy byla jeho existence považována řadou dohadů, pověr a experimentů. Pokusů o likvidaci vlka se ujal mnozí amatérští vlnařezci i profesionální houslaři, kteří často mzerovali své děti úspěchy a nabízejí muzikantům jeho odstranění. Dodnes se můžeme setkat s řadou „odvlkovačů“ z nichž jen některé a jen v některých případech dovedou vyskyt vlčího tónu eliminovat. Jejich částečná úspěšnost v odstraňování tohoto jevu je dána tím, že vlčí tón nevzniká vždy za stejných podmínek.

Vlčí tón vzniká nejčastěji tehdy, je-li rezonance skřínka zhotovena z nekvalitního materiálu nebo má nedokonalou konstrukci. Pak se stává, že amplituda rezonančním frekvencí korpusu (nebo částí jeho) většinou příliš tenké desky) je při základním tónu tak velká, že tlaková síla působící na smyčec nevlčí udržet strunu v mohutném chvění způsobeném rezonančním efektem a tón přechází ve svou svrchní oktavu. Základnímu tónu tak ovšem přisílá být dodávána energie a ten mezi. Když se zesílí natolik, že smyčec, opět stáčí základnímu tónu energii dodávat, děj se opakuje a tón neustále kolísá jak v barvě, tak i v intenzitě. Proto tomuto typu vlka je jediná možná obrana spočívající v zesílení příliš tenkých desek nebo jejich části příslušným smrkovým nebo javorovým „podložek“. Někdy pomůže i výměna basového trnace za trnace jiných rozměrů nebo nepatrná změna jeho umístění tak, aby se změnila vlastní rezonance korpusu či jeho části. Vlčí efekt vzniká i tehdy, jestliže část některé struny mezi svrchním a kobylovým velkým výrazně kmitá na harmonické frekvenci některého základního tónu. Oscilátor základního tónu je pak „střhán“ vedlejším oscilátorem kratší části struny. Zde pomohou „odvlkovače“ ve formě kovové ho zavěšičky nasazeného na tuto část struny a zatřívovaného. Jeho použitím se podstatně změní vlastní frekvence této části struny. Jde především o známé mosazné „odvlkovače“ pro violoncella, které jsou často opředeny řadou mytických představ, ale i reklamou o tajném a tajemném složení onoho zářivého kovu, který dovede odstranit vlčí tón. Tónu také odpovídá vysoká cena, za niž byvši toto obvykle mo- sazné závěšičko prodáváno.

Nejnověji Jan M. Erth a Michael Bac huan (The wolf in the cello, JASA 53, 1973, 2, 457-463) zjistili, že při vlku se základní tón struny violoncella stěpi na dvojnásobnou jevící frekvenci vzdálenosti se rovná frekvenci drsnosti (kolísání) vlčího tónu. Někdy dochází ke stěpení ve dvojnásobku i u vyšších harmonických tónů. Autoři přirovnávají tyto rozštěpené kmitočty k frekvencím vznikajícím ze dvou sprážených elektrických kmitavých obvodů.

Literatura.

Špelda, Antonín. Hudební akustika. Praha 1978, s. 145.

4. Stopová míra

Stopová míra (něm. Fussionmass) je míra, podle níž se určuje délka varhanních píšťal. Někdy se také stopovou mírou označují smyčcové chordofony (kontrabas a basy) ať Ty však nejsou označovány podle délky strun, ale podle jejich ladění vzhledem k varhanním píšťalám, ve stopových délkách.

Stopa je snad nejstarší délkovou mírou. V průběhu staletí se poněkud měnila, ale nikdy ne příliš, proto, že byla odvozena od délky chodidla lidské nohy. Od ní pak byly odvozovány míry další, menší či větší. Již ve druhém tisíciletí před naším letopočtem používali Sumérové stopu o délce 26,45 cm. V antickém Řecku se nazývala *pis* a měřila 29,6 cm. Stejně tak ve starém Římě, kde se nazývala *pes*. Na počátku 17. století měřila česká stopa 29,47 cm. Stavitele varhan používali hlavně stopu *vidélskou* (dohornokouskou) o *délce* 31,6 cm. Dnes se při výrobě varhanních píšťal užívá především stopy *anglické*, která měří 30,5 cm. Pokusy zavést ve varhanníství namísto stopové míry míru metrickou, vždy narazily na odpor a ztroskotaly. Překážkou byla nejen tradice, ale i různé přípravy, které byly vyráběny vždy ve stopových mí- račích.

Výška varhanního tónu odpovídá délce píšťaly. Čím kratší je píšťala, tím vyšší je tón. Oktávové polohy hlasů se určují podle délky otevřené varhanní píšťaly C, která měří 8 stop (8'). U křivých píšťal jsou samozřejmě délkové parametry v polovině velikosti. Hlubší oktávy jsou označovány jako 16 (=C₁) a 32 (=C₂). Píšťaly vyšších oktáv jsou vždy o polovinu kratší - 4 = c, 2 = c', 1 = c'', aťd. Toto délkové značení se vztahuje na nehlubší píšťalu určitého hlasu v příslušné oktávě.

Praktické délky varhanních píšťal	Kvinta	Terce
2 = 5/8 m	2/3 = 5/24 m	4/5 = 1/4 m
4 = 5/4 m	1 1/3 = 5/12 m	1 1/3 = 1/2 m
8 = 5/2 m	2 2/3 = 5/6 m	3 1/3 = 1 m
16 = 5 m	5 1/3 = 5/3 m	6 2/3 = 2 m aťd
32 = 10 m	10 2/3 = 10/3 m	

5. Frekvenční normál - komorní a'

Frekvenční normál - a' komorní a komorní tón. Hudební nástroje se ladí podle frekvenčního normálu, který byl čas od času stanovován mezinárodním úmluvám. Vývoj frekvenčního normálu má sestupně vzestupnou tendenci, což má dnes velký význam pro tzv. autentické provádění dobových skladb - v 16 a 17. století se v různých městech a různých státech používalo různých frekvenčních normálů pro ladění hudebních nástrojů. Nazývaly se buď „Chorton“ pro ladění varhan a chorových pěveckých sborů, nebo „Korneton“ pro ladění měských píšťal a trubců.

- v Paříži kolem roku 1680 bylo používáno ladění 404 Hz
- v Petersburgu se kolem roku 1771 ladilo a' na frekvenci 417 Hz
- z Paříže známe ladění orchestru Velké opery z roku 1774 410 Hz
- v roce 1778 se v Německu pohybovala frekvence a' kolem 395 Hz a níže
- v roce 1778 bylo tzv. pařížskou konventní dohodnuto, že a' = 409 Hz
- avšak ještě v roce 1820 se v Itálii používalo normálu 424, 17 Hz.
- v roce 1821 se ladilo v Paříži na 431, 34 Hz
- a v roce 1852 rovněž v Paříži na 449 Hz
- v Petersburgu v roce 1857 na 460 Hz
- v roce 1858 stanovila pařížská komise, že a' = 435 Hz
- v roce 1885 přijala Mezinárodní konference ve Vídni normál 435 Hz jako obecní platný. Přesto však byly v dalších letech konstruovány hudební nástroje s neproněknyými tonovými výškami, kde tón a' měl vyšší frekvenci než doporučený normál 435 Hz
- v roce 1939 proto stanovila Mezinárodní komise pro normy ISA (International Standard Assonation) v Londýně novou frekvenci pro a' - 440 Hz
- v roce 1953 londýnská konference ISO (International Organization for Standardization) znovu potvrdila frekvenční normál 440 Hz. Dnes je frekvenční normál 440 Hz obecně přijat. Jeho předností je, že kmitočty tónů c jsou ve všech oktávách až na subkontra C s frekvencí 16,5 Hz, vyjádřeny celým čísly.
- Kromě pařížského ladění z roku 1885 se od roku 1900 prosazuje tzv. vídeňské ladění (vysoké ladění) pro dechovky. Ve snaze o přesnější, jasnější zvuk začali především vídeňští nástrojář po dohodě s „dechovkáři“ vyrábět žesťové nástroje s laděním a' = 460,85 Hz, které je u dechovek používáno dodnes. V současně době nabízejí nástrojářské firmy žesťové i dřevěné dechové nástroje ve dvojnásobně nižším, 440 Hz a vysokém 460,85 Hz.

Mezinárodní ladění jsou všechny druhy ladění (pythagorejské, přirozené, temperované), které vycházejí z frekvenčního normálu a' = 440 Hz.

Evangelní ladění je ladění, u něhož se za frekvenční normál nevolí tón a' (440 Hz), ale tón subkontra C s kmitočtem 16 Hz. Tón a' je potom tónem odvozeným ze základního tónu C₂ a jeho kmitočtem je 430,5 Hz. Evangelní ladění je ladění temperované, hodnoty intervalů se měří buď v temperovaných půltónech, nebo v centech. Vyhodou fyzikálního ladění je, že absolutní výšky tónů c lze ve všech jeho oktávách vyjádřit jako celistvé mocniny čísla 2. Frekvence C₂ je 16 Hz = 2⁴ Hz, kmitočet C₁ = 2³, kmitočet c = 2² = 4096 Hz. Fyzikálního ladění se výhradně používá při akustických měřeních, protože při nich je velmi výhodné počítat s logaritmy intervalů, což toto ladění podstatně zjednodušuje.

6. Přirozená („trubková“) řada tónů

U plechových nástrojů rozzeznáváme z hlediska akustického tři odlišné typy *trubky*, *lesní rohy* a *pozouny*. Zádný z těchto nástrojů nemá v korpusu hmatové otvory. Při nepřímém dělení by proto nástroj mohl vydávat vedle základního tónu pouze tóny přirozené harmonické řady technikou přebíkování. Tak tomu je u přirozeného lesního rohu a u přirozené trubky. Protože korpus lesních rohů i trubek má velmi úzké kuželové vřetní vydávají oba typy těchto nástrojů poměrně lehe harmonické tóny až do pořadového čísla 18 a mnohdy i vyššího. Základní tón však u nich není možné vytvořit. Přirozená tónová řada u trubky nebo lesního rohu se základním tónem C obsahuje tyto srovnání harmonické tóny

2	c	5	e ¹	8	c ²	11	f ²⁺	14	b ²	17	dis3
3	g	6	g ¹	9	d ²	12	g ²	15	h ²	18	d3
4	c ¹	7	b ¹	10	e ²	13	gis ²⁺	16	c ³		

(znaménka „+“ a „-“ značí že příslušné tóny znějí poněkud výše nebo níže, než udává název tónu v přirozeném ladění)

V orchestru se dalo užít přirozených trubek a rohů jen ve velmi omezeném rozsahu. Pro hudební praxi měly význam většinou jen tóny jednou a dvakrát čárkované oktávy (klantny). Odchytky ve výškách tónů se vyrovnávají u přirozených trubek a rohů částečným krytím roztrubu a tím vlastně jeho prodlužováním (například u lesních rohů)

7. Tabulka hladin hlasitosti ve fonech

Zvukový zdroj	Hladina hlasitosti (Ph)
šepot	15
tíkot hodinek	20-25
velmi slabý uliční hluk	30-35
tlumený hovor	40
hovor střední hlasitosti	50-55
hluk v ulicích velkého města	70-100
motocykl bez tlumiče	90-110
hluk v blízkosti letadla	110-130
extrémní beatová hudba	110-130

8. Velká a malá diesis

U přirozeného ladění existují dva zvláštní intervaly. Jsou to intervaly *velké a malé diesis*. Vezmeme-li čtyři za sebou jdoucí intervaly malé tercie například *c-es*, *es-ges*, *ges-heses* a *heses-deses*. Zjistíme, že tón *deseš* jako dvakrát snížený tón *d*, který by měl splýnout s tónem *c*, je ve skutečnosti poněkud vyšší než tón *c*. K tónu *deseš* totiž dospějeme čtyřmi kroky malých tercií, tj. $(6/5)^4 = 1296/625$, což je číslo větší než 2, kdežto relativní výška tónu *c* jako oktávy od *c* je 2. Rozdíl obou intervalů je $(6/5)^4 \cdot 2 = 648/625$. Je to interval, který se rovná přibližně trojnásobku synonického kommatu. Tón *deseš* je tedy zřetelně a slyšitelně vyšší než *c*. Tento interval nazýváme *velká diesis*.

Jestliže nad sebe umístíme tři po sobě jdoucí velké tercie například *c-e*, *e-gis* a *gis-his*, dospějeme podobným postupem k intervalu 128/125. *His* je sice tón velmi blízký tónu *c*, ale jeho relativní výška je poněkud nižší než 2. Tento interval nazýváme *malá diesis*. Je přibližně dvakrát vyšší než synonické komma. Intervaly velké a malé diesis se nacházejí vždy mezi každými dvěma sousedními členy enharmonické stupnice.

9. Tabulka frekvencí tónů dvanáctistupňového temperovaného ladění

tón	frekvence (Hz)	oktáva
C ₂	16,35	subkontraoktáva
Cis ₂ (Des ₂)	17,32	
D ₂	18,35	
Dis ₂ (Es ₂)	19,44	
E ₂	20,60	
F ₂	21,83	
Fis ₂ (Ges ₂)	23,13	
G ₂	24,50	
Gis ₂ (As ₂)	25,96	
A ₂	27,50	
Ais ₂ (B ₂)	29,13	
H ₂	30,87	
C ₁	32,70	kontraoktáva
Cis ₁ (Des ₁)	34,64	
D ₁	36,70	
Dis ₁ (Es ₁)	38,89	
E ₁	41,20	
F ₁	43,65	
Fis ₁ (Ges ₁)	46,25	
G ₁	49,00	
Gis ₁ (As ₁)	51,91	
A ₁	55,00	
Ais ₁ (B ₁)	58,26	
H ₁	61,73	
C	65,41	velká oktáva
Cis(Des)	69,28	
D	73,41	
Dis(Es)	77,78	
E	82,41	
F	87,31	
Fis(Ges)	95,50	
G	98,00	
Gis(As)	103,83	
A	110,00	
Ais(B)	116,54	
H	123,46	
C	130,82	malá oktáva
Cis(des)	138,57	
d	146,83	
dis(es)	155,56	
e	164,81	
f	174,63	
fis(ges)	185,00	
g	196,00	
gis(as)	207,65	
a	220,00	
ais(b)	233,08	
h	246,93	

tón	frekvence (Hz)	oktáva
c ¹	261,63	jednočárkovaná oktáva
cis ¹ (des ¹)	277,14	
d ¹	293,67	
dis ¹ (es ¹)	311,13	
e ¹	329,63	
f ¹	349,25	
fis ¹ (ges ¹)	370,00	
g ¹	392,00	
gis ¹ (as ¹)	415,31	
a ¹	440,00	
ais ¹ (b ¹)	466,16	
h ¹	493,87	
c ²	523,25	dvoučárkovaná oktáva
cis ² (des ²)	554,37	
d ²	587,34	
dis ² (es ²)	622,25	
e ²	659,25	
f ²	698,50	
fis ² (ges ²)	740,00	
g ²	784,00	
gis ² (as ²)	830,63	
a ²	880,00	
ais ² (b ²)	932,31	
h ²	987,75	
c ³	1046,50	trněčárkovaná oktáva
cis ³ (des ³)	1108,75	
d ³	1174,67	
dis ³ (es ³)	1244,50	
e ³	1318,50	
f ³	1397,00	
fis ³ (ges ³)	1480,00	
g ³	1568,00	
gis ³ (as ³)	1661,25	
a ³	1760,00	
ais ³ (b ³)	1864,63	
h ³	1975,50	
c ⁴	2093,00	čtyřčárkovaná oktáva
cis ⁴ (des ⁴)	2217,50	
d ⁴	2349,35	
dis ⁴ (es ⁴)	2489,00	
e ⁴	2637,00	
f ⁴	2794,00	
fis ⁴ (ges ⁴)	2960,00	
g ⁴	3136,00	
gis ⁴ (as ⁴)	3322,50	
a ⁴	3520,00	
ais ⁴ (b ⁴)	3729,25	
h ⁴	3951,00	
c ⁵	4186,00	

10. Porovnání fyzikálního, přirozeného a temperovaného ladění

V tabulce jsou zapsány frekvence všech tónů c a tónu a' ve fyzikálním, přirozeném a temperovaném ladění

Tón	fyzikální	přirozené	temperované
a'	430.50	440.00	440.00
C ₂	16.00	16.50	16.35
C ₁	32.00	33.00	32.70
C	64.00	66.00	65.40
c	128.00	132.00	130.80
c ¹	256.00	264.00	261.60
c ²	512.00	528.00	523.30
c ³	1024.00	1056.00	1046.60
c ⁴	2048.00	2112.00	2093.20
c ⁵	4096.00	4224.00	4186.40

11. Vstupně seřazení základních intervalů v přirozeném, pythagorejském a temperovaném ladění v centech

Označení intervalu	Velikost intervalu v centech
cent	1.00
temperovaný dvanáctitón	16.67
synionické komma	21.50
pythagorejské komma	23.50
temperovaný šestitón	33.33
malá diesis	41.10
temperovaný čtvrtón	50.00
velká diesis	62.50
temperovaný třetíón	66.67
malý přirozený půltón	70.70
limma (malý pyth. půltón)	90.20
temperovaný půltón	100.00
velký přirozený půltón	111.20
apotoné (velký pyth. půltón)	113.70
přirozený malý celý tón	182.40
temperovaný celý tón	200.00
přirozený velký celý tón	203.90
pythagorejská malá tercie	294.20
temperovaná malá tercie	300.00
přirozená malá tercie	315.70
přirozená velká tercie	386.30
temperovaná velká tercie	400.00

Označení intervalu	Velikost intervalu v centech
pythagorejská velká tercie	407.90
přirozená kvarta	497.50
pythagorejská kvarta	497.50
temperovaná kvarta	500.00
přirozená zvláštní kvarta	590.30
temperovaná zvláštní kvarta	600.00
temperovaná kvinta	700.00
přirozená kvinta	702.00
pythagorejská kvinta	702.00
pythagorejská malá sexta	792.10
temperovaná malá sexta	800.00
přirozená malá sexta	813.70
přirozená velká sexta	884.30
temperovaná velká sexta	900.00
pythagorejská velká sexta	905.80
temperovaná malá septima	1000.00
přirozená malá septima	1017.60
přirozená velká septima	1088.80
temperovaná velká septima	1100.00
velká pythagorejská septima	1109.80
oktáva	1200.00

12. Tónové rozsahy některých dnes užívaných hudebních nástrojů

Akordeon (harmonika)	120 basů F-fis ¹ 42 kláves e-a ³	Mandolína	g-a ³
Anglický roh F	c-b ²	Marmba	f-f ³
Balajka prima	e ¹ -a ³	Pianno	A ₂ -a ⁴ (c ⁵)
Banjo	g-e ³	Pikola	d ₂ -c ⁵
Basový roh F	F-c ³	Pozoun altový	A-g ₂
Basklarnet B	C-e ³	Pozoun basový	H ₁ -f ¹
Basová trubka B	E-b ¹	Pozoun kontrabasový	E ₁ -f ¹
Bráč	d ¹ -e ³	Pozoun tenorový	E-c ₂
Celista	c ¹ -c ⁵	Roh anglický	es-b ₂
Cembalo malé	C-d ³	Saxofon altový Es	d-g ₂
Cembalo velké	F-f ³	Saxofon barytonový Es	D-as ¹
Cimbál maďarský	E-c ³ (e ³)	Saxofon basový B	A ₁ -es ¹
Dudy Es (chodské)	b ¹ d ¹ es ¹ f ¹ g ¹ as ¹ b ¹ c ² , huk. Es	Saxofon sopránový B	a-cis ³
Eufonium (baryton)	B ₁ -c ²	Saxofon tenorový B	A-es ²
Fagot	B-f ²	Templinky	jednotlivě jsou laděny mezi f-f ²
Pětina přičná	h-c ⁴	Trubka B	es-d ₃
Gong	gongy jsou laděny vždy na jeden tón v rozmezí c-c ¹	Trubka C	fis-e ₃
Harfa	Ces ¹ -fes ⁴ (ges ⁴)	Trubka basová	F ₁ -f ¹
Harmonium	C-c ³	Tuba kontrabasová	A ₂ -f
Helikon B	E ₁ -b	Tympán nejmenší	e-a
Helikon F	H ₁ -f ¹	Tympán největší	D-A
Hoboj	b-f ³	Tympán menší	c-f
Housle	g-g ⁴ (c ⁵)	Tympán větší	F-c
Klarnet A	cis-e ³	Ukulele	a-d ₃
Klarnet B	d-f ³	Vahany	C ₂ -c ⁵
Klarnet C	e-g ³	Vibraton	f-f ₃
Klarnet Es	g-b ³	Viola	c-a ₃
Klavír	A ₂ -a ⁴ (c ⁵)	Viola da gamba	A ₁ -cis ²
Kontrabas čtyřstrunný	E ₁ -g	Viola d'amour	d-a ₃
Kontrabas pětistrunný	C ₁ -g	Violoncello	C-a ² (e ³)
Kontraltogot	A ₂ (B ₂)-f	Xylofon	c ¹ -c ⁴
Kornet B	es-d ³	Zobcová fléna alt F	f ¹ -g ³
Křídlovka B	es-d ³	Zobcová fléna bas F	f-g ₂
Křídlovka basová (tenor)	E-b ¹	Zobcová fléna soprán C	c ² -d ⁴
Kytara	E-e ³	Zobcová fléna tenor C	c ¹ -d ³
Kytara havajská	E-a ²	Zvonkohra	c ¹ g ⁴
Lesní roh F	H ₁ -f ²	Zvony	roury jsou laděny vždy na jeden tón v rozmezí c-c ₂
Loutna	E-a ²		

13. Ladění některých dnes užívaných chordofonů

balalajka alta	e, e, a	bugara 2	g, h, d ¹ , d ¹
balalajka bassa	E, A, d	citera bavorské ladění	c, g, d ¹ , a ¹ , a ¹ + doprovod str
balalajka contrabassa	E ₁ , A ₁ , D	citera vídeňské ladění	c, g, g ¹ , d ¹ , a ¹ + doprovod str
balalajka piccola	h ¹ , e ² , a ²	houste	g, d ¹ , a ¹ , e ²
balalajka prima	e ¹ , e ¹ , a ¹	kontrabas čtyřstrunný	E ₁ , A ₁ , D, G
balalajka seconda	d ¹ , a, d ¹	kontrabas pětistrunný	C ₁ , E ₁ , A ₁ , D, G
banjo čtyřstrunné	g, d ¹ , a ¹ , e ² (dvojmo)	kontrabás	G, G, d, d
banjo pětistrunné	e ¹ , g ¹ , h ¹ , d ² , g ²	kontraskra	d2, d ² , d ² , d ²
banjo šestistrunné	g, d ¹ , g ¹ , h ¹ , d ² , g ²	kytara	E, A, d, g, h, e ¹
banjo sedmistrunné (starší lad)	g ² , g, c ¹ , d ¹ , g ¹ , h ¹ , d ²	kytara havajská	E, A, e, a, cis ¹ , e ¹
bas jihlavský (Ploschperment)	D, G, d, d	loutna kytarová	dnešní ladění E, A, d, g, h, e ¹
berde	G, G, D, d	mandola	F, G, A, d, g, h, e ¹ , a ¹
bisernica	d ² , d ² , d ² , d ²	mandolína	g, d ¹ , a ¹ , e ² (dvojmo)
brač 1	d ¹ , d ¹ , d ¹ , d ¹	skřípkový jihlavské malé	g, d ¹ , a ¹ , e ²
brač 2	g, g, d ¹ , d ¹	skřípkový jihlavské velké	g, d ¹ , a ¹
brač 3	g, g, d ¹ , d ¹	ukulele	a, d ¹ , fis ¹ , h ¹
bugara 1	h, d, g, g	viola	c, g, d ¹ , a ¹
		violoncello	C, G, d, a

14. Akustický výkon některých hudebních nástrojů

Houste ve fortissimo	0,001 W
Dřevěné dechové nástroje	0,01 W
Nárnubkové nástroje	0,1 W
Klavír	0,1 W
Vatřany (pleno) max	10,0 W
Typnány a buben max	10,0 W
Symf orchestr (fortissimo)	500 W

XIII. Seznam vyobrazení

(Pokud bližší specifikace jednotlivých vyobrazení vyplývají z textu, nejsou zde uvedeny)

- 1 Vojenská hudba. Slavnosní průvod v Drážďanech v roce 1609. In Sieber, F. Volk und Volksmusikliche Motive im Festwerk des Barockes. Berlin 1960. Taf 34
- 2 Pištec a bubentík. In De signs protentus atque predigns (1503). SVK Brno sign 191. fol 72
- 3 Hudebníci na terci olomouckých ostrosteleci v roce 1756
- 4 Některé renesanční dvouplátkové nástroje. In Praetorius, M. Syntagma musicum De Organographia. Wolfenbutel 1619
- 5 Jednořadová hejlikonka se čtyřmi basy
- 6 Klapková ústní harmonika se dvěma basy
- 7 Ústní harmonika se dvěma zvonky
- 8 Ústní harmonika s ozvučníkem
- 9-20 Vratslavská taxonomie
- 21 Ozembouch. Sbirky Emografického muzea MZM v Brně
- 22 Klepačí deska na plašení ptactva
- 23 Klepačí deska. Dětská hračka
- 24 Klepačí deska. „Butiček“ z brněnského kapucinského kláštera
- 25 Klepačí deska. „fragtra“ rakousko-uherské armády
- 26 „Žabka“. modifikace klepačí desky. Dětská hračka
- 27 „Hra na tabulku“. modifikace klepačí desky
- 28 „Hra na valchu“. modifikace klepačí desky
- 29 „Hra na židli“. modifikace klepačí desky
- 30 „Hra“ prsty na stolové desce
- 31 „Hra“ palcem na stolové desce
- 32, 33 Fenule
- 34 Prče
- 35 Klapotka s jedním klavírem
- 36 Klapotka se třemi klavíry
- 37 Řehačka
- 38 „Valcha“
- 39 „Tragač“
- 40 Kostelní klepač
- 41 Jednořadový lidový xylofon
- 42 Dvořadový lidový xylofon
- 43 Grumle
- 44 Hra na kanadskou pílu
- 45 Flexaton
- 46-47 Hřebíkové houste
- 48 Hliněný zvoněk
- 49 Skleněné zvonky v bicích hodinách
- 50 Mešní zvonky
- 51 Plechový dobytčí zvoněk
- 52 Mossazný malý zvoněk
- 53 Plechová rolnička
- 54 Rolničky z židovských tór
- 55 Jednoduchá skleněná harmonika
- 56 „Koncertní“ skleněná harmonika