

## **O problematice objektivního hodnocení kvality přirozených hudebních signálů**

---

Hodnocení kvality přirozených hudebních signálů je problémem právě tak starým jako hudební kultura vůbec. Pojem „dobrý — špatný“ se dotýkal interpretace hudby nejenom z hlediska interpretačního pojetí a výkonu, ale také ve značné míře i z hlediska estetiky zvukového projevu. Podstata hodnocení kvality hudebního signálu byla vždy ryze empirická a souvisela úzce na jedné straně s bohatstvím estetických zkušeností hudebníka, posluchače i hudebního nástrojáře a na druhé straně se skutečně uměleckou povahou výroby zdroje hudebního signálu — hudebního nástroje. Zůstává však otázkou, jaké historicko-společenské předpoklady stály v minulosti u vzniku mistrovských hudebních nástrojů, jejichž zvuková kvalita je dodnes uznávána a obdivována. Bezesporu tu hrál velký vliv talentu a zručnosti nástrojáře, zkušenosti získané mnoha generacemi a v neposlední řadě individuální charakter výroby hudebního nástroje, který tak umožnil v řadě případů vtisknout nástroji zcela ojedinělé zvukové vlastnosti.

V současné době převládá ve výrobě hudebních nástrojů tovární charakter výroby, který je dán vysokým stupněm mechanizace a automatizace výrobního procesu. Tím však daleko naléhavěji vyvstává problém kvality hudebních nástrojů a jejího hodnocení. Tento problém je dnes nejzpracovávanějším tématem v hudební akustice, která zkoumá vzájemné vztahy mezi fyzikální podstatou přirozeného hudebního signálu vyjádřenou objektivně měřitelnými veličinami a subjektivní kvalitou jeho vjemu. Poznání těchto vztahů je mimo jiné základem objektivního hodnocení kvality přirozeného hudebního signálu.

### **1. Přirozený hudební signál a jeho struktura**

Hudebním signálem rozumíme každý akustický signál (ve smyslu elektroakustického přenosu i signál elektrický), který je nositelem hudební informace. Vyjma některých typů chvění a hluků, zejména pak fy-

ziologicky závadných, lze hudebním signálem dnes označit jakýkoliv signál např. ve smyslu zvukového objektu v technické hudbě. Přirozeným hudebním signálem označujeme pak takový akustický signál, který je přímým produktem hudebního nástroje (tradičního), popř. zpěvního hlasu. Přitom se za přirozený hudební signál považuje i zvuk souboru hudebních nástrojů, popř. zpěvních hlasů. V souvislosti s danou problematikou budeme za *přirozený hudební signál* nadále považovat *tón hudebního nástroje*.

Podstata každého hudebního nástroje spočívá v možnosti rozkmitat vhodně uspořádanou hmotu, která pak svoji kmitavou energii vyzáří do prostoru ve formě akustických vln.

Hudební nástroj se skládá ze třech základních částí. První částí je *vibrátor* a to mechanický, akustický, ev. i elektrický, druhou část tvoří *generátor*, který dodává potřebnou energii vibrátoru a třetí částí je *amplifikátor* zesilující kmitavou energii na dostatečnou hodnotu akustického výkonu.

Hudební nástroje lze rozdělit podle různých hledisek, ať už ze stanoviska hudebního nebo technického. Nejzákladnější rozdělení je podle vibrátoru. První skupinu tvoří nástroje strunné (chordofony), do druhé patří nástroje dechové (aerofony). Třetí skupina nástrojů blanozvučných (membránofonů) a čtvrtá skupina nástrojů samozvučných (idiofonů) zahrnuje nástroje bicí.

Podle časového průběhu trvání tónu můžeme hudební nástroje rozdělit na *perkusní*, k nimž náleží strunné nástroje drnkací, klávesové a nástroje bicí, a na nástroje *neperkusní* (s drženým tónem), které tvoří nástroje smyčcové a dechové, u nichž je délka trvání tónu závislá na délce smyku nebo vdechu.

Časový průběh trvání tónu lze rozdělit na tři oblasti. První je *oblast nasazení tónu* — *tranzientu*, druhá je *oblast zakmitaného* (quasistacionárního) *stavu tónu* a třetí *oblastí* je *zánik tónu* (dokmitávací proces). Tranzientem bývá v literatuře často označována jenom oblast vzniku tónu, i když v obecnějším smyslu označení přechodového jevu je tranzientem přirozeně i zánik tónu. První a třetí oblast se vyznačuje rychlými změnami amplitudy, frekvence a fáze harmonických i neharmonických složek tónu, naproti tomu v druhé oblasti, v zakmitaném stavu probíhají tyto změny podstatně pomaleji. Rychlost těchto pomalých změn je tak malá, že je můžeme při prvním přiblížení prakticky zanedbat, avšak v souvislosti s kvalitou tónu mají právě tyto změny velkou estetickou účinnost.

U hudebních nástrojů neperkusního charakteru je existence uvedených tří oblastí zcela zřejmá, naproti tomu u perkusních nástrojů je oblast zakmitaného stavu nahrazena podstatně zvýrazněným dokmitávacím procesem. Oblasti zániku tónu u neperkusních nástrojů není připisována velká důležitost vzhledem k souvislosti s dozíváním tónu v reálném

prostoru, kdežto u perkusních nástrojů je více či méně tlumený zánik tónu nositelem velké části informace o jeho charakteru. Hlavní část charakteru tónu perkusního nástroje je určena tranzientem, dokmitávací proces dává dodatečnou informaci o barvě tónu.

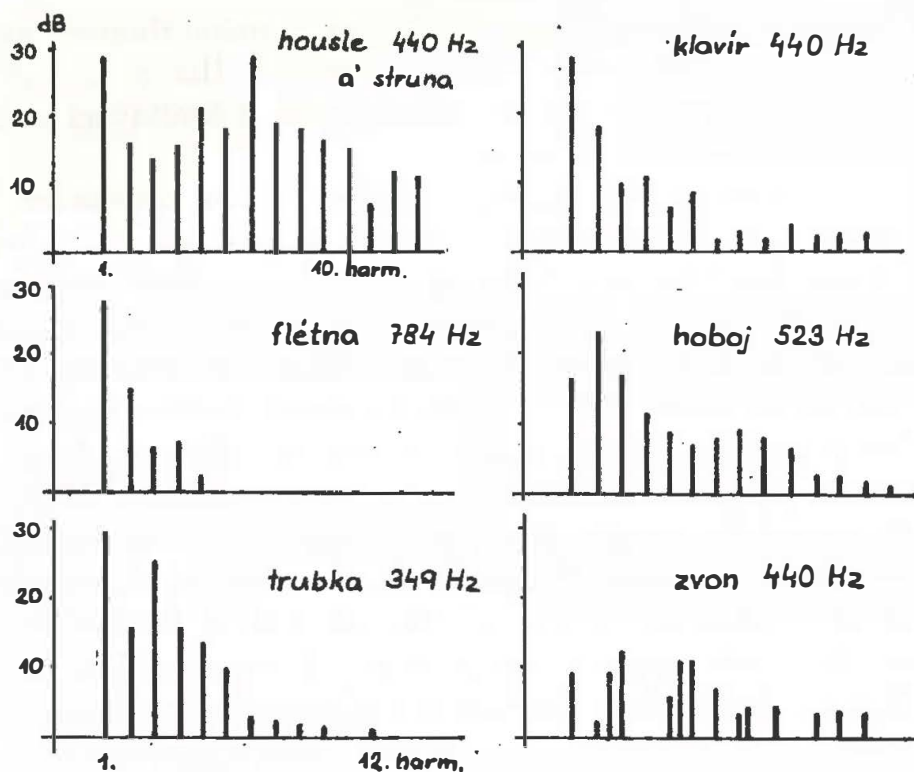
Oblast zakmitaného stavu u neperkusních hudebních nástrojů resp. spektrum této oblasti charakterizuje barvu tónu jako jedinečnou a typickou pro daný nástroj. Samotný tranzient u velké části neperkusních nástrojů přispívá k této jedinečnosti a typičnosti takovou měrou, že jeho odstranění nebo podstatná deformace (např. odstřížením z magnetofonového záznamu) velmi ztíží identifikovatelnost daného nástroje.

Na přirozený hudební signál se můžeme dívat ze dvou hledisek, a to z hlediska jeho *makrostruktury* nebo *mikrostruktury*. Makrostrukturou signálu rozumíme vnější obraz jeho spektra, tj. tvar obalové křivky, polohu rezonančních maxim (formant), jejich energetické rozložení apod. Mikrostrukturou označujeme pak vnitřní uspořádání harmonických i neharmonických složek spektra, údaje o jejich amplitudách, frekvencích a fázích. Z časového hlediska lze makro i mikrostrukturu tónu chápat buď jako *statickou*, nebo vývojově *dynamickou*. Statický pohled na strukturu tónu hudebního nástroje, tedy strukturu periodického signálu, vychází z fourierovského rozkladu tohoto signálu a jemu adekvátním možností běžných analyzátorů. Jde tu v podstatě o analýzu zakmitaného stavu drženných tónů, jejímž výsledkem je pak časově nezávislé frekvenční spektrum zkoumaného tónu. Na obr. 1 je uvedeno několik příkladů těchto spekter pro tóny různých hudebních nástrojů.

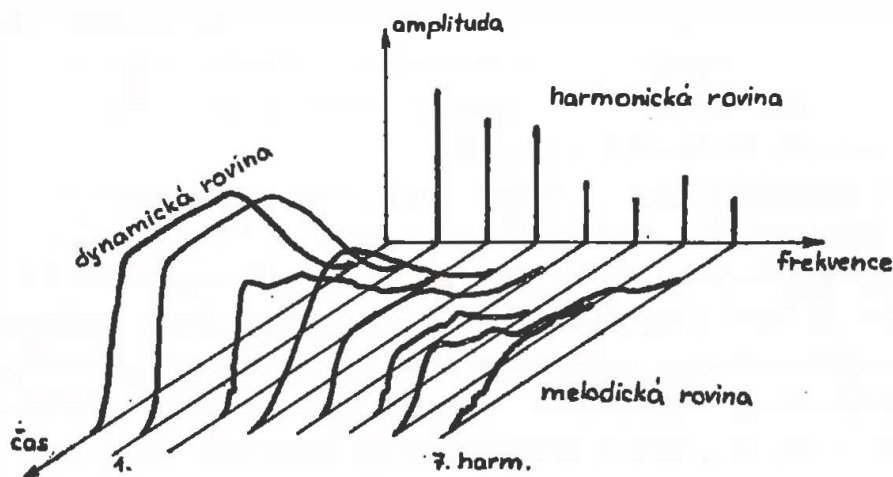
Dynamický pohled vychází z reálného trvání tónu v čase, a sleduje jeho strukturu od počátku nasazení tónu až po jeho zánik. Graficky lze pak časový vývoj struktury tónu zobrazit např. trojrozměrným grafem (22) viz obr. 2. Toto nahlédnutí do struktury tónu (resp. mikrostruktury) v jeho časovém průběhu umožnila v plné šíři až číslicová technika.

Základními veličinami dynamického chápání makrostruktury zkoumaného tónu je *délka trvání tranzientu* (nasazení tónu) a *tvar obalové křivky* tranzientu, popř. celého tónu.

Délkou trvání tranzientů tónu různých hudebních nástrojů se zabývaly řady autorů — Luce, Clark (14), u nás Melka (17). Definice délky tranzientu, které byly jimi použity, určují, že pro neperkusní nástroje končí tranzient v okamžiku, kdy amplituda signálu dosáhne úrovně o 3 dB nižší než je úroveň zakmitaného stavu a pro perkusní nástroje končí tranzient při dosažení maximální úrovně amplitudy. Tyto definice, které sice umožňují srovnávání různých délek tranzientů mezi sebou, poněkud neodpovídají mikrostruktuře a též i subjektivnímu vjemu tranzientu, vztaženému vůči zakmitanému stavu, zejména pak u neperkusních nástrojů. Ustálení amplitudy signálu (obalové křivky) nebo dosažení určité úrovně



Obr. 1



Obr. 2

neznamená, že nasazení tónu je ve všech jeho složkách ukončeno a že tímto okamžikem začíná zakmitaný stav. Tyto námítky potvrdila prováděná měření v práci (34). Pro účely spektrální analýzy by spíše vyhovovalo vymezení délky tranzientu dané ustálením složek spektra nebo alespoň jejich části vztážené k rychlosti změn těchto složek (amplitudy, frekvence, fáze). V subjektivním zvukovém vjemu je to pak v podstatě problém poznatelnosti barvy krátkých tónových impulsů. Délku tranzientu by bylo možné též vymežit subjektivním ustálením výšky tónu, zde se nabízí souvislost s vnímáním výšky krátkodobých pulsů.

Problém časového vymezení trvání tranzientu a počátku zakmitaného stavu nabízí úvahu, zda prostě předěl mezi tranzientem a zakmitaným stavem nebrat na vědomí. Spojitost struktury tónu v oblasti tohoto předělu nevyklučuje tu skutečnost, že podrobná analýza vhodně zvoleného časového úseku zahrnujícího tranzient i část zakmitaného stavu podá nejúplnější obraz o struktuře zkoumaného tónu. Potom lze předpokládat, že tento obraz daný do souvislosti se subjektivním vjemem kvality může sloužit jako podklad pro objektivní hodnocení kvality přirozeného hudebního signálu — tónu hudebního nástroje.

## 2. Hodnocení kvality tónu hudebního nástroje

*Kvalitu tónu*, tedy přirozeného hudebního signálu by bylo možno definovat jako *odraz souhrnu fyzikálních vlastností v našem vědomí*. Tento odraz je pak srovnáván s estetickou zkušeností a vlastní subjektivní představou. Toto hodnocení kvality je pochopitelně výrazně *subjektivní*, je určováno osobností hodnotitele, silně podléhá jeho okamžitému psychickému stavu a může se v daném okamžiku od posudku druhého hodnotitele zcela lišit.

Kvalitu tónu hudebního nástroje určuje *kvalita intonační, dynamická a spektrální* (nebo též barevná či témbrová). První dvě kvality, tj. intonační a dynamickou lze již dnes objektivně posuzovat, protože jsou známy určité standardy průběhu ladění a dynamiky nástroje. Stanovení objektivní spektrální kvality tónu zůstává však velmi obtížné. Lze mezi sebou srovnávat naměřené parametry tónů nástrojů, ale těžko lze jenom na základě těchto parametrů určit, který nástroj je lepší a který horší. U žádného hudebního nástroje není znám absolutní zvukový ideál v subjektivní zvukové představě, natož pak v objektivně měřitelných parametrech tónu. Byly sice mezi sebou srovnávány nástroje, u nichž je představa zvukového ideálu zejména pak z hlediska zvukově historického poměrně konkrétní, např. u houslí, avšak zvukový ideál byl a je u řady hudebních nástrojů silně poplatný době a to nejenom po stránce zvukově estetické, ale i konstrukčně a výrobně technické. Snad nejvýrazněji to lze dokumentovat na varhanách. Přitom představa zvukového ideálu, tónové dokonalosti může být zcela mylná, pokud hodnotitel nemá dostatek zvukově estetických zkušeností a pokud není úzce obeznámen s problematikou konstrukční i zvukové stránky nástroje.

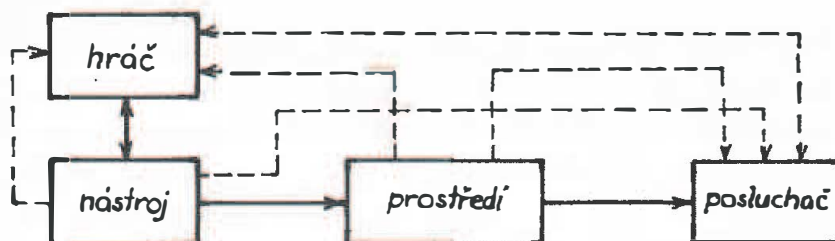
U řady hudebních nástrojů probíhají tzv. *tónové zkoušky*, zejména pokud má být nástroj označen jako „mistrovský“. Tyto zkoušky zahrnují v sobě též hodnocení kvality intonační i dynamické, někdy až příliš podstatnou měrou. Hodnocené nástroje jsou přehrávány vybraným hrá-

čem nebo celou skupinou hráčů. Zde však nastává první a někdy podstatně zkreslující moment. Každému hudebnímu nástroji, ať už ve větší nebo menší míře (podle typu nástroje), hráč přímo vnucuje svoji individualitu. Snaží se vědomě i nevědomě vyrovnávat jeho intonační, dynamické i zvukově barevné nedostatky a nebo naopak svým způsobem hry nebo i nezvládnutím interpretačně technického problému tón nástroje nechtěně záporně ovlivní. Proto je výběr hráčů pro tónové zkoušky velmi obtížný; hudebníkova osobnost, jeho vyzrálý umělecký projev a osobité zvládnutí nástroje zde působí někdy záporně. Druhým zkreslujícím momentem je v podstatě osobnost každého hodnotitele. Zde hraje roli nejenom subjektivní vjem kvality, jak již bylo uvedeno výše, ale i posuzování interpretačního výkonu hráče, psychické a fyziologické dispozice hodnotitele a nakonec vlastní profesionální vztah k posuzovanému nástroji. Každý hodnotitel si totiž v tomto okamžiku položí otázku, jak by asi na hodnocený nástroj hrál on sám. Tón hudebního nástroje je potom souhrnně hodnocen jak z části jeho objektivně fyzikálních vlastností tak z části určité estetické nadstavby dané vlastním uměleckým projevem hráče. Mezi těmito dvěma částmi kvality, které se sice vzájemně prolínají, ale jinak jsou podstatně odlišné, nedělá se u tónových zkoušek žádný rozdíl. Subjektivní přístup hodnotitele pak silně ovlivní úsudek o objektivní části kvality, která je dána nástrojem a jeho fyzikálními vlastnostmi a je nezávislá na výkonu a schopnostech hráče.

Objektivní hodnocení kvality tónu hudebních nástrojů spočívá právě v podchycení těchto fyzikálních vlastností v souvislosti s jejich subjektivním vjemem, přitom však estetická nadstavba kvality tónu zůstává nadále otázkou vjemu uměleckého projevu.

### 3. Přenos přirozeného hudebního signálu

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, nastává při procesu subjektivního hodnocení kvality tónu řada zkreslujících momentů. Nejsou to však zdaleka všechny momenty, vlivy a vazby, které se při přenosu přirozeného hudebního signálu vyskytují. Na obr. 3 je uvedeno základní schéma přenosu přirozeného hudebního signálu včetně hlavních vazeb mezi články tohoto přenosu. Základní osu tohoto přenosu tvoří *hudební nástroj — prostředí — posluchač*. Tuto osu lze pokládat v podstatě za neměnnou co se týče typu vazeb mezi jejími články, zcela zvláštní vazbu však tvoří hráč s nástrojem. Jednotlivé články přenosu je možno charakterizovat vlastnostmi, z nichž první část tvoří vlastnosti *nepodmíněné* existencí daného přenosového řetězce a druhou část vlastnosti *přímo existencí* přenosu *podmíněné*.



Obr. 3

Nepodmíněné vlastnosti přímo utvářejí kvalitu *primárních* vazeb přenosu (vyznačených plnou čarou), které jsou čistě akustické povahy vyjma zvláštní vazby mezi hráčem a hudebním nástrojem. Vlastnosti přenosem podmíněné jsou určitými modifikacemi vlastností nepodmíněných a vznikají až uzavřením *sekundárních* vazeb přenosu (vyznačených přerušovanou čarou), které mají charakter psychoakustický a psychooptický.

Základními nepodmíněnými vlastnostmi hráče jsou:

- manuálně technické schopnosti
- zvukově estetické zkušenosti
- subjektivní představa zvukové dokonalosti
- fyziologické předpoklady
- psychický stav

Základními nepodmíněnými vlastnostmi hudebního nástroje jsou:

- druh hudebního nástroje (smyčcový, dechový atd.)
- objektivní zvukové vlastnosti nástroje

Základními nepodmíněnými vlastnostmi prostředí jsou:

- objektivní akustické vlastnosti

Základními nepodmíněnými vlastnostmi posluchače jsou:

- zvukově estetické zkušenosti
- subjektivní představa zvukové dokonalosti
- vztah k danému hudebnímu nástroji
- fyziologické předpoklady
- psychický stav

Základními podmíněnými vlastnostmi hráče jsou:

- stupeň přizpůsobivosti danému nástroji
- znalost výrobce nástroje
- znalost jiných ohodnocení kvality daného nástroje
- znalost osobnosti posluchače (při tónových zkouškách)
- subjektivní hodnocení vlastností prostředí

Základními podmíněnými vlastnostmi posluchače jsou:

- znalost výrobce nástroje
- znalost jiných ohodnocení kvality daného nástroje
- znalost osobnosti hráče
- subjektivní hodnocení vlastností prostředí

Ze schématu přenosu je patrné, že sekundární vazby směřují vždy jenom k subjektům přenosu, tj. hráči a posluchači a vyvolávají tak výše uvedené podmíněné vlastnosti. Přerušíme-li některou ze sekundárních vazeb, příslušná podmíněná vlastnost mizí. Např. při přehrávkách nástrojů za závěsem odpadá psychooptický kontakt mezi hráčem a posluchačem. Určitou výjimku zde tvoří vazby na hráče a posluchače vycházející z prostředí. Tyto vazby lze do jisté míry ovlivňovat podstatnými zásahy do přenosu signálu (zejména zásahy elektroakustickými), nelze je však odstranit a je tudíž nutné s jejich vlivem vždy počítat.

První z primárních vazeb je vazba hráče a hudebního nástroje. Je to vazba oboustranná a její těsnost závisí na hudebním nástroji, resp. na podílu hráče na tvorbě tónu, který je přirozeně jiný u klávesových nástrojů než u dechových apod. Zpětné působení nástroje na hráče není pouze akustické, ale také mechanické; tvarová dispozice nástroje, chod klávesového mechanismu, kostní vedení tónu (u dechových i smyčcových nástrojů), fixovaná poloha hráče vůči nástroji a ještě řada dalších vlivů se podílejí na kvalitě spojení hráče s nástrojem a mohou se v daném okamžiku projevit jak kladně tak i záporně (v případě nepřizpůsobení hráče danému nástroji) ve zvukové kvalitě tónu hudebního nástroje.

Z hlediska osy přenosu přirozeného hudebního signálu tvoří hráč s nástrojem organický celek s řadou složitých vnitřních vazeb. Vazba nástroje a prostředí je vazbou jednosměrnou, prostředí nepůsobí zpětně na hudební nástroj, pouze zprostředkovává přenos signálu, který je vlastnostmi prostředí ovlivňován. Spektrální struktura tónu, vyzařovaný výkon a směrové charakteristiky nástroje spolu s akustickými vlastnostmi prostředí se pak projeví vůči posluchači i jako subjektivní vlastnosti, např. nosnost tónu. Vazba prostředí a posluchače se v případě uvažovaného přenosu jeví též jako jednosměrná, i když přítomnost posluchače nebo posluchačů ovlivňuje objektivní akustické vlastnosti prostředí. Prostor, resp. jeho hmotné částice v daném prostoru zprostředkovávají přenos signálu od hudebního nástroje k posluchači. Vlastnosti prostředí, tedy konkrétně daného prostoru objektivně ovlivňují tón hudebního nástroje a současně působí subjektivně na posluchače i hráče. Exaktní podchycení vlivu prostoru na přenášený signál je nemožné, proto pro účely měření tónu hudebního nástroje se většinou volí prostor s přesně definovanými akustickými vlastnostmi, které v minimální míře měřený signál ovlivňují. Naopak při přímém poslechu se většinou vlastnosti prostoru projevují příznivě a znásobují estetický účinek hudebního signálu na posluchače.

Jednotlivé vazby přenosu přirozeného hudebního signálu, hlavně pak sekundární jsou velmi proměnné a není možné jejich vliv na přenášený signál přesně určit nebo definovat. Tato skutečnost je však zcela nežádoucí v případě přenosu signálu pro účely fyzikálních nebo psycho-



akustických měření. Zde pak je možné dvoje řešení: Buď negativně působící vazbu zrušit a nebo ji pozměnit natolik, aby se její vliv mohl exaktně podchytit, případně zanedbat. Zrušit lze ovšem jenom vazby sekundární, hlavní osu přenosu lze sice přerušit vřazením elektroakustického řetězce, ale zrušením primární vazby ztrácí přenos hudebního signálu smysl. Jedinou výjimkou je zde ten případ, kdy hráč je současně posluchačem.

Vazbu hráče a hudebního nástroje, resp. její nepříznivý vliv lze částečně kompenzovat vhodnou volbou hráče nebo skupiny hráčů a naměřené výsledky statisticky zpracovat a nebo úplně hráče nahradit umělou generací tónu. Podle typu nástroje může být hráč nahrazen buď umělými ústy, nekonečným smyčcem či úderným mechanismem. Tím jsou zaručeny nejenom konstantní, ale zejména objektivně měřitelné veličiny, které vstupují do přenosu přirozeného hudebního signálu místo hráče. Problém je však v tom, že tyto náhrady napodobují činnost hráče pouze v úzkém rozsahu a mnohdy jej ani nahradit nemohou, např. u žesťových nástrojů. Problematika volby hráče ev. jeho náhrady je velice obsáhlá a přístup k jejímu řešení bude diskutován ještě v dalších kapitolách.

Ve vztahu hudebního nástroje k prostoru existuje z hlediska měřící techniky jediné přijatelné řešení a to použití bezdozvukové „mrtvé“ komory. Mrtvá komora zaručuje kvalitní signál pro analýzu vyloučením rušivých odrazů a interferencí, ovšem na hráče působí její atmosféra dosti depresivně a značně ovlivňuje jeho výkon zejména tím, že se hráč „neslyší“. Z těch samých důvodů nelze ani umístit do mrtvé komory posluchače. Zde je vidět, jak kvalitní primární vazba přenosu přirozeného hudebního signálu (pro účely měřící) může způsobit, že účinek vazby sekundární přenos kvalitativně zcela naruší.

Posluchači z hlediska příjmu signálu vyhovuje přirozený prostor, je však otázkou, jak vůbec má takový prostor vypadat. Rozpor mezi kvalitním prostorem pro měřící účely a poslechovým prostorem se obvykle řeší vřazením elektroakustického řetězce (mikrofon — magnetofon — reproduktor) do přenosu hudebního signálu. Toto ne zrovna šťastné, ale většinou nevyhnutelné řešení působí zcela zřejmé snížení kvality primárních vazeb v návaznosti na elektroakustický řetěz (hlavně pak na jeho konci u reproduktoru) a přerušování původních rušivých sekundárních vazeb spolu se vznikem nových, taktéž většinou rušivých.

Z uvedeného nástinu problematiky přenosu přirozeného hudebního signálu pro účely objektivního hodnocení jeho kvality vyplývá nejen jeho zřejmá složitost, ale hlavně nutnost řešení vztahů mezi jednotlivými články přenosu, aby tak byly vůbec zaručeny základní podmínky objektivnosti.

#### 4. Podmínky objektivit y hodnocení a jejich dodržení

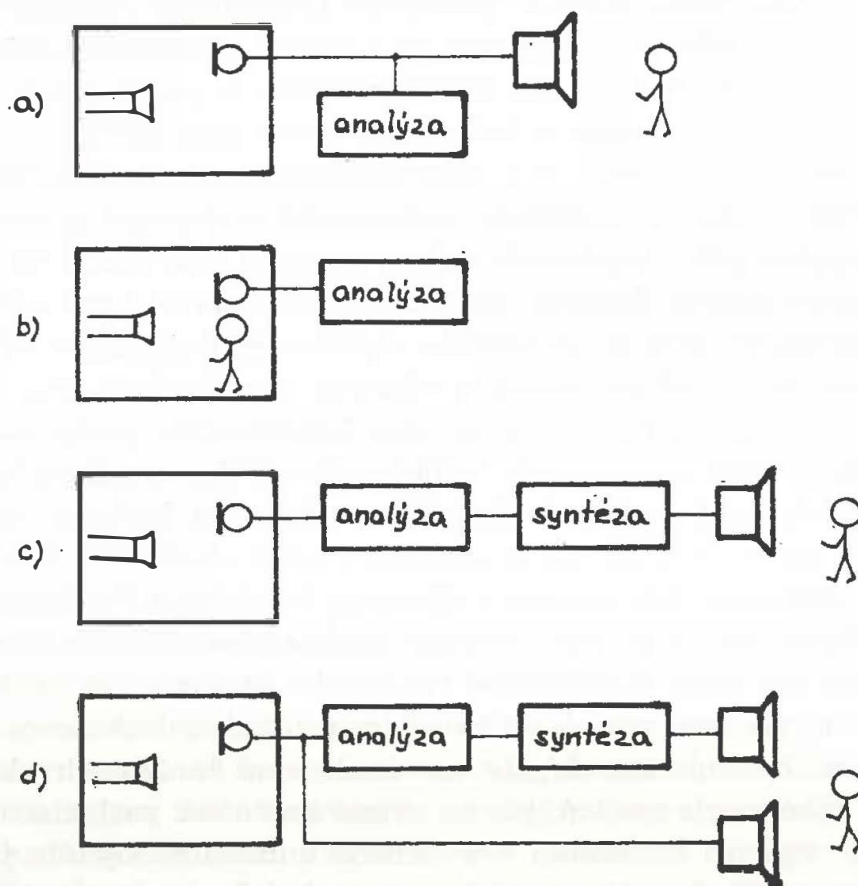
Základními podmínkami objektivit y hodnocení kvality tónu hudebního nástroje je *opakovatelnost* všech výsledků fyzikálních i psychoakustických měření a nalezení *vztahu* (korelace) mezi výsledky těchto měření. Přitom pravdivost tohoto vztahu musí zaručit opakovatelnost výsledků vlastního hodnocení, které se tak stává objektivním.

Tyto základní podmínky se promítají do dvou rovin problematik y objektivního hodnocení kvality přirozeného hudebního signálu, do roviny *fyzikálních měření* a roviny *subjektivního hodnocení*. Je zcela zřejmé, že v celé této problematice je hierarchii všech problémů nadřazeno právě subjektivní hodnocení, i když podstata objektivního hodnocení spočívá v jeho vyloučení. Tato skutečnost klade vysoké nároky na celou metodiku subjektivního hodnocení, na opakovatelnost jejich výsledků a samozřejmě i na faktickou použitelnost těchto výsledků. Neméně složitější situace je i v rovině fyzikálních měření. Dodržení opakovatelnosti a jednoznačnosti výsledků měření není při měření přirozených hudebních signálů tak zcela samozřejmé, jak by mělo z povahy fyzikálních měření vyplývat. Proto se velmi často setkáváme v literatuře s údaji o struktuře tónů různých hudebních nástrojů, které nejenom spolu nesouhlasí, ale také si odporují. Příčin tohoto rozporu je celá řada, např. vliv vstupních podmínek, použití různých měřících metod atd. Proto je nutné, aby celému výzkumu, který směřuje k objektivnímu hodnocení kvality přirozeného hudebního signálu, předcházelo podrobné seznámení se s objektem — tónem hudebního nástroje. Lze předpokládat, že podmínka opakovatelnosti výsledků měření, si vyžádá řadu konvenčních ustanovení, která se budou týkat jak vlivu vstupních podmínek tak i metodiky vlastní analýzy.

V současné době je používána v oblasti tohoto výzkumu řada různých metod, které pochopitelně vedou k různým výsledkům a závěrům, které jsou sice z hlediska použité metody správné, ale není možno je už srovnávat s výsledky jiných metod. Nelze tedy mluvit o opakovatelnosti výsledků v obecnějším měřítku. Zde tedy vyvstává problém použitelnosti jednotné metodiky pro celou rodinu hudebních nástrojů. Lze vyslovit názor, že metodu jednotného hodnocení půjde stěží použít pro nástroje konstrukčně i zvukově podobné (např. dřevěné dechové nástroje), natož pak pro nástroje povahově zcela odlišné. Toto se však týká již konkrétních metod objektivního hodnocení daných hudebních nástrojů; z hlediska obecného přístupu k problematice je možno vymezit dvě základní metody: metodu *analytickou* a metodu *analyticko-syntetickou*.

Na obr. 4 jsou uvedeny základní varianty těchto metod. Schémata a), b) zobrazují nejužívanější analytické metody. Tón hudebního nástroje je snímán měřícím mikrofonom v akusticky vhodném prostoru (nejčastěji

v bezdozvukové komoře) a je analyzován a reprodukován posluchači, který jej subjektivně ohodnotí. V druhém případě nehodnotí posluchač tón hudebního nástroje zprostředkovaným poslechem, ale přímým poslechem. Analyticko-syntetické metody, uvedené ve schématech c), d) se vyznačují tím, že posluchač hodnotí uměle vytvořený tón, zejména pak změnu kvality v závislosti na změně parametrů, které vstupují do zpětné syntézy (re-syntézy) hodnoceného tónu. Tón hudebního nástroje je snímán měřícím mikrofonom a analyzován. Z výsledků této analýzy je nejčastěji za pomoci počítače vytvořen umělý tón, u něhož na rozdíl od tónu přirozeného je skladba mikrostruktury zcela známa a exaktně podchycena. Podle schématu d) srovnává pak posluchač reprodukováný umělý tón s reprodukováným tónem přirozeným.



Obr. 4

Výhodou analytických metod je snad jenom možnost přímého poslechu, která i tak může být někdy problematická, nevýhodou je poměrně pracné stanovení závislosti jednotlivých fyzikálních veličin tónu na subjektivním vjemu jeho kvality. Analyticko-syntetické metody tuto nevýhodu sice odstraňují, ale už absolutní závislost na zprostředkovaném poslechu není právě žádoucí. Proto je vhodné až po srovnání výsledků obou metod a jejich vzájemné korekci dělat nějaké obecné závěry.

## 5. Subjektivní hodnocení

Subjektivní hodnocení akustických vlastností hudebního signálu spadá do oblasti psychoakustiky a souvisí velmi úzce s otázkami psychologie, psychometrie, sociologie, estetiky a dalších disciplín. Z toho je zřejmá složitost a rozsáhlost této problematiky, a proto je možné se zabývat pouze jejími hlavními otázkami.

Před diskusí výběru hráčů a posluchačů a s tím související volby hodnocené ukázky je nutno předeslat, že subjektivním hodnocením je v nejobecnějším slova smyslu každý poslech hudebního signálu. Avšak ve vztahu ke konkrétnímu hodnocení kvality jako estetického projevu tohoto signálu je třeba rozlišit dvě základní hlediska: hledisko hodnocení přirozeného hudebního signálu jako ryze fyzikálního objektu a hledisko hodnocení tónu hudebního nástroje jako nositele zvukově estetické informace. Je zcela přirozené, že toto druhé hledisko je podstatně komplexnější a zahrnuje v sobě ty aspekty hodnocení, které jsou již mimo rámec hudební akustiky. V problematice metod objektivního hodnocení kvality musí být nezbytně výchozím hlediskem subjektivní hodnocení přirozeného hudebního signálu jako fyzikálního objektu, tedy hodnocení subjektivního vjemu jeho struktury. Hudební akustika totiž nemůže a ani nechce objektivizovat estetický účinek hudebního signálu na posluchače, hledá pouze vztahy mezi fyzikální podstatou a vjemem signálu bez ohledu na jeho hudebně estetický obsah. Proto se ve výzkumu této problematiky dává přednost hodnocení samostatných tónů, při výběru posluchačů přednost psychoakustickým a fyziologickým dispozicím před hudební profesionalitou (metodologické souvislosti se subjektivním hodnocením vlastností prostorů, reproduktorových soustav atd.) apod. Subjektivní hodnocení kvality tónu hudebního nástroje jako nositele hudebně estetické informace vztahuje subjektivní vjem k představě zvukového ideálu v souvislosti s dobovými tendencemi, interpretačním využitím, estetickými zkušenostmi a osobním vkusem. Je zcela logické, že toto hodnocení hudebních ukázek bude záležitostí výkonných umělců, jak na straně hráčů tak posluchačů. Hudební akustika se však při hodnocení přirozeného hudebního signálu jako zdroje hudební informace nemůže zabývat pouze jedním z uvedených hledisek hodnocení, což právě otázky výběru hráčů a posluchačů, volby hodnocené ukázky a vlastní metodiky hodnocení značně komplikuje.

Na začátku přenosového řetězce hudebního signálu stojí hudební nástroj, jehož zvukové kvality jsou objektem hodnocení. Tyto zvukové kvality jsou více či méně, podle typu nástroje, ovlivňovány hráčem a z toho důvodu je nutné věnovat výběru hráče velkou pozornost. Na úplném začátku tohoto výběru však stojí otázka, zda *hudebník* — *hráč* nebo *umělá generace tónu*. Tato volba souvisí hlavně s volbou hodnocených ukázek,

protože při hodnocení jednotlivých tónů lze uvažovat o použití umělé generace tónu, ale při hodnocení hudebních ukázek připadá v úvahu pouze „živý“ hráč. Ponecháme-li volbu hodnocených ukázek prozatím bez odpovědi, závisí bezesporu problém hráče a umělé generace tónu na vlastním hudebním nástroji. Jak bylo již uvedeno, těsnost vazby hráče a nástroje, resp. jeho podíl na tvorbě tónu může být podle typu nástroje různý. Z toho vyplývá, že tam, kde hráč má malý vliv na tvorbu tónu, je možno jej snáze nahradit umělou generací a to nejen z hlediska konstrukce např. úderného mechanismu na klávesu, ale i z hlediska subjektivního hodnocení takto vytvořeného tónu. Z tohoto hlediska hraje pak velkou úlohu dokonalost napodobení resp. shoda, třeba pouze subjektivní, mezi přirozeně a uměle generovaným tónem. Umělá generace tónu dává na jedné straně záruku opakovatelnosti a měřitelnosti vstupních podmínek, na straně druhé lze předpokládat, že z čistě estetického hlediska tón negativně poznamená. Právě tak lze předpokládat, že účinek sekundární vazby přenosu hudebního signálu, v tomto případě informovanost posluchače o umělé generaci tónu, který posuzuje, aby výsledek hodnocení silně poznamenal, ne-li zcela znehodnotil. Volba mezi přirozenou a umělou generací tónu závisí na mnoha okolnostech, přesto lze již předem vyslovit názor, že použití umělé generace tónu bude perspektivní více v oblasti kontroly vlastní kvality nástroje než v oblasti výzkumu.

*Výběr hráče* pro účely hodnocení kvality hudebního nástroje byl a bude vždy problémem velmi ožehavým. V jeho osobě je totiž potřeba skloubit řadu vlastností, které se často mohou navzájem vylučovat. Jako první vlastnost zde vystupují *manuálně technické schopnosti* a zvládnutí nástroje jako je technika úhozu, nátisk apod. Tyto technické předpoklady musí však být orientovány na nezávislost na vlastnostech nástroje, zejména pak mechanických a na velkou přizpůsobivost danému nástroji. Nezvyk hráče na zcela cizí nátrubek, hubičku, chod klávesového mechanismu aj. by se měl jen v minimální možné míře projevit ve zvukových vlastnostech nástroje. Přitom je samozřejmé, že hráč má možnost se s hodnoceným nástrojem blíže seznámit s určitým časovým předstihem před vlastním hodnocením, ale současně při zachování anonymity výrobce a event. již existujících ohodnocení kvality nástroje. Další důležitou vlastností jsou hráčovy *zvukově estetické zkušenosti*. Ony totiž musí zaručit hráčovu dokonalou orientaci ve zvukových kvalitách hodnoceného nástroje, ale nesmí být překážkou nestrannosti a nezaujatosti hráče vůči těmto kvalitám. Splnění této podmínky bývá při volbě hráče velkým problémem, subjektivní představa zvukové dokonalosti nutí totiž hráče nechtěně vylepšovat zvukové nedostatky nástroje. Současně mohou na hráče též působit ty kvality nástroje, které nejsou právě objektem hodnocení, jako intonace nástroje, chod mechaniky, ale také vzhled nástroje, a pod-

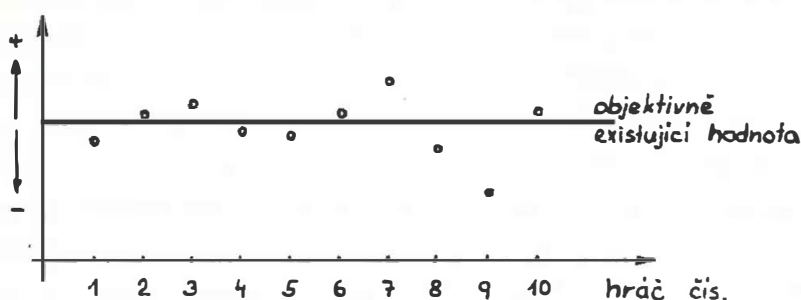
statně tak narušit nestranný postoj hráče vůči nástroji. Proto je bezpodmínečně nutné informovat hráče o objektu hodnocení a event. jej předem upozornit nejen na nedostatky, ale i přednosti nástroje, které hodnoceny nebudou. Hráč by se také neměl dát příliš ovlivnit vlastnostmi prostoru, neměl by znát hodnotitele a neměl by být hodnotitelem poznatelný. Nemalou roli hraje u hráče též *stav sluchového orgánu a okamžitý psychický stav*.

Vybrat podle uvedených hledisek vhodného hráče je někdy takřka nemožné, proto se často volí celá *skupina hráčů*, kteří daný nástroj přehrávají. Na volbu jednotlivých hráčů skupiny je nutno pohlížet stejně odpovědně jako na volbu jediného hráče. Složení hráčů skupiny musí totiž zaručit při zpracování výsledků hodnocení vyloučení jejich negativních vlivů. Proto by výběru hráčů měla předcházet předvolba, která by ověřila, zda se potřebné vlastnosti hráčů budou při vlastním hodnocení vzájemně doplňovat a nikoliv vylučovat. Hráči by měli zůstat během přehrávky ve vzájemné anonymitě bez možnosti poslechu hodnoceného nástroje. Tím se zamezí předběžnému otypování kvality nástroje hráči, které by mohlo ovlivnit jejich nestranný vztah k nástroji.

Během přehrávky nástroje si každý hráč udělá na jeho kvalitu vlastní posudek. Tento posudek není jenom dílem subjektivního vjemu, ale celkového dojmu, jakým nástroj na hráče působí. Z tohoto důvodu podává hráč o zvukových vlastnostech nástroje podstatně komplexnější posudek než posluchač. Hráčův posudek je však mnohem subjektivnější, což je dáno zejména tou skutečností, že hráč nemůže poslouchat sám sebe „ušima posluchače“. Proto nepřipadá v úvahu, aby hodnocení zvukové kvality vycházelo výlučně z hráčova ohodnocení; jeho ohodnocení má větší uplatnění v oblasti nástrojařských problémů než problémů zvukových.

Počet hráčů, kteří mají přehrávat hodnocený nástroj, určuje zároveň i počet informací, které musí posluchači přijmout a subjektivně vyhodnotit, proto z jejich hlediska je nejvýhodnější pouze jediný hráč. Na druhé straně pro zpracování objektivně měřitelných veličin tónu hodnoceného nástroje je už z hlediska statistického výhodnější větší počet hráčů, jejichž vliv na zvukovou kvalitu je rovnoměrně rozložen kolem objektivně existující kvality. Na obr. 5 je znázorněn rozptyl skupiny deseti hráčů kolem objektivně existující hodnoty nějaké měřitelné veličiny, která je ve vztahu k subjektivnímu vjemu kvality tónu (např. pořadí nástupu x-té harmonické tranzientu zkoumaného tónu). Jednotliví hráči ovlivňují pak danou veličinu jak do kladných tak do záporných odchylek od objektivně existující hodnoty, která je ovšem zatím neznámá. Tento graf je však hrubý zjednodušením. Ve skutečnosti jde o závislost více nezávisle proměnných, které ovlivňují danou veličinu. Statistické zpracování rozptylu naměřených hodnot umožní přiblížit se k objektivně existující hodnotě této

veličiny, je ale otázkou, zda také posluchač — hodnotitel umístí svůj subjektivní soud stejným způsobem.



Obr. 5

*Výběr posluchačů* pro subjektivní hodnocení souvisí s kvalitou jejich odpovědí, z toho důvodu je nutné věnovat rovněž jeho otázkám velkou pozornost. Jako první v pořadí připadají v úvahu hlediska *sociologická*. Jde tu o problém záměrného výběru z populace resp. z její určité části, věkového a profesního složení atd. Jedním z hledisek je též *stav sluchového orgánu*, úzce související právě s věkem a profesí posluchače, který by měl být sluchově normální. Tato skutečnost bývá velmi často u subjektivního hodnocení opomíjena. Profesní výběr posluchačů je možno rozdělit na dvě základní skupiny, na skupinu posluchačů majících *aktivní* vztah k hudbě a na skupinu posluchačů s *pasívním* vztahem k hudbě. Zvláštní skupinu pak tvoří posluchači, jejichž vztah k hudbě lze označit jako *nulový*, ne-li dokonce jako *záporný*. Výběr právě těchto posluchačů až na určité výjimky, nepřipadá v podstatě v úvahu.

Hudebníky je možno rozdělit na ty, kteří mají aktivní vztah k hodnocenému nástroji, tzn., že na něj sami též hrají, dále na ostatní instrumentalisty a na neinstrumentalisty, tj. skladatele, dirigenty, teoretiky apod. U hudebníků s aktivním vztahem k hodnocenému nástroji a též u ostatních instrumentalistů, hlavně těch, kteří hrají na příbuzný hudební nástroj dochází v hodnocení k určité deformaci způsobené řadou subjektivních činitelů. Je to především dvojí pohled na zvukové vlastnosti daného nástroje, poprvé jako vjem hráče, který je v těsném spojení s nástrojem a podruhé jako vjem posluchače. Tyto dva vjemy se navzájem prolínají a působí trvalou odchylku v pravdivosti subjektivního ohodnocení kvality tónu hudebního nástroje. Proto není možné omezit výběr posluchačů pouze na hráče s aktivním vztahem k hodnocenému nástroji nebo i k nástroji příbuznému. Podobná deformace je typická i pro posluchače, kteří pracují ve zvukové výrobě. Tito hodnotitelé mají rozsáhlé sluchové zkušenosti a postřeh v oblasti zprostředkovaného poslechu, více však orientované na uměleckou a technickou kvalitu záznamu než na zvukové vlastnosti daného nástroje. Přenášení těchto schopností do oblasti přímého

poslechu je někdy problematické. Nutno však podotknout, že právě zprostředkovaný poslech hudebního signálu u naprosté většiny posluchačů ve vztahu k hudbě dnes převažuje. Proto není tak zcela jednoduché i laického milovníka hudby postavit před hudební nástroj a žádat na něm posouzení jeho zvukové kvality, aniž by on nepoužil své estetické zkušenosti získané poslechem reprodukované hudby. Je tedy zřejmé, že profese posluchače a jeho vztah k hudbě hrají při výběru posluchačů pro subjektivní hodnocení velkou úlohu. Řešení těchto otázek je nutné, přesto však nepostačující, hlavními kritérii je totiž *existence a stálost vnitřního modelu, rozlišovací schopnost a opakovatelnost soudu* posluchače.

Vnitřním modelem označujeme *soubor subjektivních představ*, v případě hodnocení kvality tónu hudebního nástroje představ *zvukové dokonalosti*. Vnitřní model existuje u každého posluchače, protože je výrazem jeho estetického postoje vůči hudebnímu signálu. V našem případě však existencí vnitřního modelu rozumíme existenci použitelného modelu, tj. modelu, který je vůči hodnocenému nástroji jednoznačný.

Důležitou vlastností vnitřního modelu je jeho *stálost*. Čím víc je tento model zafixován ve vědomí posluchače a je nezávislý na vnitřních faktorech, tj. na psychickém stavu a na vnějších faktorech, tj. na vlivu prostředí, tím větší je předpoklad opakovatelnosti jeho hodnocení. Existence a stálost vnitřního modelu nezaručují však dobrou rozlišovací schopnost, která je potřebná při srovnávání kvality signálů mezi sebou.

Existence uvedených vlastností u posluchače se ověřuje pomocí poslechových testů, které vycházejí z hodnocení schodnosti a rozdílnosti ukázek, jejich seřazování do skupin atd. Tato hodnocení se opakují v různém časovém odstupu a za různých podmínek, aby se prověřila opakovatelnost soudu posluchače. Těmto poslechovým testům předchází dotazníková akce pro podchycení sociálních hledisek. Podle výsledků dotazníkové akce a poslechových testů se vyberou posluchači pro vlastní hodnocení. Tento výběr, který není tak jednoduchý, jak by se mohlo z jeho uvedené stručné charakteristiky zdát, nemusí být a obvykle ani není konečný. Podle průběhu vlastního hodnocení kvality tónu hudebního nástroje může dojít ke korekci ve výběru posluchačů. Počet posluchačů není nijak omezen, ale správně provedený výběr umožní redukovat počet posluchačů na přijatelné množství, kdy další zvyšování počtu už nemá podstatný vliv na kvalitu výsledků hodnocení.

Nemalou důležitost pro výsledek subjektivních hodnocení má též *volba zvukové ukázky*, která má být hodnocena. Hodnocená ukázka může mít buď charakter *hudební ukázky* a nebo je převážně tvořena *jednotlivými tóny*. Pro účely měřicí techniky jsou přirozeně vhodnější osamocené tóny, i když není dnes již problémem analyzovat tóny v reálné hudební souvislosti. Stanovisko posluchače a na-



konec i samotného hráče vůči hodnocené ukázce silně ovlivňuje výsledek hodnocení. V případě jednotlivých tónů může se sice posluchač soustředit na jejich zvukovou kvalitu, porovnávat je mezi sebou, ale už vzhledem k jeho dosavadním estetickým zkušenostem má tendenci chápat tuto kvalitu jako osamocenou a vytrženou ze souvislosti hudebního toku. Přednost ukázek složených z jednotlivých tónů tkví v možnosti velmi přesného srovnávání kvality různých tónů mezi sebou, avšak má-li posluchač hodnocení kvality „absolutizovat“, vyžaduje to jeho velmi konkrétní představu zvukové kvality jediného tónu. Existenci vnitřního modelu podobných kvalit lze předpokládat např. u hudebních nástrojařů. Při hodnocení hudební ukázky upoutává posluchače více hudební obsah a interpretace ukázky, zvukové kvality tónu jsou chápány jako projev různých tónových poloh nástroje. Posluchač se přestává soustřeďovat u jednotlivého tónu na jeho kvalitu jako projev vnitřní struktury a vnímá více esteticky působící složky tónu, jako např. změny dynamiky, vibráto apod. Z čistě fyzikálního projevu tónu hudebního nástroje posluchače začne v hodnocení obracet pozornost na zcela zřejmé změny kvality, jako jsou nedostatky v intonaci a dynamické vyrovnanosti, naproti tomu barvu tónu posuzuje jako projev estetické nadstavby tónu daný převážně schopnostmi hráče. Konkrétní přístup posluchače k hodnocení hudební ukázky je však zcela individuální a je určován jeho osobností.

Volba zvukové ukázky má samozřejmě velký vliv i na samostatného hráče, resp. na jeho výkon. U jednotlivých tónů je soustředěna pozornost hráče k jedinému zvukovému objektu, hráč věnuje sice tomuto tónu velkou péči co se týče jeho nasazení, barvy, dynamiky i intonace, přesto se však cítí být z hlediska svých schopností technických i uměleckých ošizen a nevyužit. Přirozené prověření vlastností neznámého nástroje spočívá přece ve sdělení hudební myšlenky, nikoliv v zahrání několika osamocených tónů. Při interpretaci hudební ukázky nastává u hráče podobná situace jako u posluchače. Těžištěm projevu přestává být detail — jednotlivý tón, hráč se (i nechtěně) více věnuje interpretaci celku a tak z pouhé přehrávky pro účely hodnocení kvality tónu hudebního nástroje se stává umělecké vystoupení.

Pro účely subjektivního hodnocení se potom často volí jak hudební ukázka tak jednotlivé tóny, to vše ale bez vzájemné souvislosti, což se přirozeně projeví i v posluchačově hodnocení. Posluchač v těchto případech dojde velmi často k rozpornému ohodnocení obou ukázek, které je pak pro další účely nepoužitelné. Složení hodnocené zvukové ukázky by se mělo řídit též i hledisky výběru jak hráče, ev. hráčů, tak posluchačů. Velmi často se totiž jeví jako výhodnější použít pro přehrávku jednotlivých tónů hráče, který nemá dosud velké estetické zkušenosti a který ovšem má nástrojovou techniku na takové výši, že neovlivňuje trvale

v negativním smyslu kvalitu tónu. Podobně lze orientovat též výběr posluchače, u kterého se potom dává větší přednost stálosti vnitřního modelu, velké rozlišovací schopnosti a opakovatelnosti soudu před špičkovými hudebními znalostmi a schopnostmi.

Stejně složitý jako tato základní volba je i vlastní *výběr obsahu zvukové ukázky*. V případě jednotlivých tónů je to otázka jejich výběru ev. přehrání celého tónového rozsahu nástroje, dále jejich řazení do určité posloupnosti, volby dynamiky, způsobu nasazení a délky trvání tónu atd. U nástrojů vícehlasých vystupují ještě problémy volby souzvuků apod. Při výběru hudební ukázky je nutno mezi ukázkou převzatou z hudební literatury a ukázkou pro účel hodnocení komponovanou, dále uvážit sloh a styl ukázky, její charakter, délku trvání atd.

Problém volby hodnocené ukázky je ovlivňován i metodikou vlastní analýzy. Pokud by nebylo nutné lpět na tradičním pojetí, resp. zobrazení spektra tónu (viz obr. 1), pak by analýza s pevně naladěnými filtry vhodného výběru umožnila zpracování hudební ukázky v jejím časovém průběhu. Tento přístup k analýze je však zatím více perspektivnější pro hudební estetiku než hudební akustiku, protože dává také možnost nahlédnout do problémů hudební interpretace. Volba zvukové ukázky úzce souvisí též s vlastním uspořádáním poslechových testů a metodou jejich vyhodnocení a v neposlední řadě i s řešením velkého metodologického problému subjektivního hodnocení, a to *volby přímého* nebo *zprostředkovaného poslechu*.

Základní otázkou v oblasti přenosu signálu, na kterou se snaží odpovědět nejenom psychoakustika, ale také elektroakustika, fyziologie, estetika a jiné disciplíny, je *adekvátnost* přímého a zprostředkovaného poslechu. V oblasti záznamu a reprodukce zvuku udělala elektroakustika v posledních deseti letech velký krok vpřed, vícekanálová hi-fi reprodukce není žádnou zvláštností, přesto však problém nahraditelnosti přímého poslechu zprostředkovaným zůstává. Tento problém má mimo jiné též hluboké sociálně společenské kořeny; zvukově estetické cítění dnešní populace je převážně určováno poslechem reprodukované hudby. Přes všechnu dokonalost elektroakustických zařízení lze tvrdit, že reprodukováný poslech má stále charakter *náhrady*, nikoliv ekvivalentu. Nejslabším místem elektroakustického řetězu je jeho poslední článek — reproduktor, jehož podchytení vlastností a vlivu na přenášený signál není tak jednoduché a jednoznačné jako např. u mikrofону. Frekvenční, fázové a směrové charakteristiky reproduktoru ovlivňují natolik přenášený signál, že posluchač přijímá jakousi transformaci zvuku hudebního nástroje, která může být a často bývá zvukově líbivější, plnější, výraznější atd. Tato skutečnost si sice získává příznivce hi-fi reprodukce, ale je velkým nebezpečím při hodnocení kvality přirozeného hudebního signálu. Je vlastně otázkou, zda potom

v případě reprodukováného tónu hudebního nástroje lze mluvit o skutečně přirozeném signálu.

Všechny tyto skutečnosti a ještě řada dalších svědčí pro volbu přímého poslechu při subjektivním hodnocení kvality tónu hudebního nástroje. Tímto však zase vyvstává nový okruh problémů, jako je *otázka poslechového prostoru*, zamezení vlivu sekundárních vazeb přenosu (viz kap. 3) atd. Z hlediska metodiky objektivního hodnocení je nutno se omezit pouze na analytickou metodu (obr. 4b). Tento přístup předpokládá současné zaznamenání signálu pro účely analýzy a zde vystupuje opět rozpor mezi prostorem vhodným pro měřicí účely a prostorem poslechově vyhovujícím. K uvedeným problémům přistupují ještě problémy organizace poslechových testů a faktické jejich neopakovatelnosti. Je tedy nutné volit asi jistý kompromis, použít jak zprostředkovaného tak přímého poslechu. Poslech nahrávky jednotlivých tónů umožní podrobně hodnotit tón hudebního nástroje jako jako zvukovou individualitu a dodatečný přímý poslech vhodně vybrané hudební ukázky kvalitativní souvislosti tónů a zvukový rozsah nástroje jako celek. Problematické však může být nakonec porovnání výsledků hodnocení z obou uvedených poslechů.

Dalším problémem je vlastní uspořádání subjektivního hodnocení a organizace poslechových testů. Je zcela zřejmé, že pro tyto účely je nejvhodnější použití magnetofonové nahrávky, která umožňuje kdykoliv se k objektu hodnocení vrátit. Podle uspořádání těchto skupin lze pak hovořit o párovém hodnocení, trialovém hodnocení, stanovení pořadí ve skupině atd. Velkou výhodou těchto základních a nejjednodušších uspořádání hodnocených tónů je jednoznačná odpověď hodnotitele ve formě binárního soudu. V případě hodnocení shody nebo rozdílnosti tónů zní odpověď ano — ne, v případě kvalitativního srovnání určitého znaku je odpověď lepší — horší apod. Při hodnocení skupiny je nejjednodušší odpověď určení pořadí podle daného kvalitativního hlediska. Toto uspořádání poslechových testů bude pravděpodobně postačující při ověřování stálosti vnitřního modelu, rozlišovací schopnosti a opakovatelnosti úsudku posluchače, tedy při výběru posluchačů než pro vlastní hodnocení kvality tónu hudebního nástroje.

Na samém počátku hodnocení tónu stojí totiž otázka, *co vlastně hodnotit*, co je i pro kvalitu tónu určující a co vlastně kvalitou v užším slova smyslu budeme u hodnoceného tónu rozumět. Objektem hodnocení v rovině subjektivního vjemu je tedy barva a v rovině fyzikálních veličin struktura tónu. Barvu tónu je nutno v tomto případě chápat jako ten subjektivní projev tónu, který není výškou nebo hlasitostí tónu, třeba že je s nimi v organické souvislosti. Barva tónu taky není projev struktury vytržené z časové souvislosti nekonečně trvajícího abstraktního tónu, ale projev právě časové závislosti struktury reálného konečného tónu.

Přesné vymezení pojmu barva tónu, obecněji barva zvuku, není jenom předmětem bádání akustiků, ale též fyziologů a muzikologů. V oblasti fyziologie slyší jen tento problém dosud velmi málo prozkoumán a ani muzikologové k němu nezaujímají jednotný postoj. Protože není znám podíl jednotlivých složek struktury tónů a jejich změn na sluchovém vjemu, není ani známo, co je pro kvalitu tónu určující. Při srovnání kvality dvou nebo více tónů je binární soud už nepostačující, je nutno rozlišit proč je jeden tón lepší než druhý. To, jakou odpověď na tuto otázku obdržíme od posluchače, závisí už jenom na jeho představitosti a schopnostech vyjadřování. V takovém hodnocení je popis vlastností a kvality tónu nezřídka úplným slohovým cvičením, pokud posluchač není předem nějakým daným předpisem omezen. Lze si potom představit obtížnost porovnání hodnocení tohoto druhu od různých posluchačů mezi sebou. Proto při subjektivním hodnocení vyvstává naléhavá potřeba vytvoření slovníku subjektivního hodnocení, jehož obsahem by byl *soubor pojmů*, ev. pojmových párů, které by byly pro barvu zvuku specifické a v možné míře i významově jednoznačné. V ideálním případě by pak zpracování formulářů o hodnocení kvality tónu sestavených z pojmů slovníku subjektivního hodnocení vedlo ke konečnému jednoznačnému binárnímu soudu. I když lze těžko předpokládat výsledek právě v této podobě, nutnost omezení posluchače na oblast vybraných pojmů je pro úspěch subjektivního hodnocení zcela zřejmá. Otázka, co je tedy předmětem hodnocení, co určuje kvalitu tónu a to, že se od jiného tónu kvalitativně liší, řeší potom vlastní metody subjektivního hodnocení, resp. zpracování výsledků subjektivního hodnocení: faktorová analýza nebo metoda multidimenzionálního škálování (ev. další jiné metody). Popis těchto metod se však vymyká z rozsahu tohoto pojednání. Cílem zpracování výsledků subjektivního hodnocení je odhalení dimenzí nebo faktorů, na sobě nezávislých, které určují v rovině subjektivního vjemu kvalitu tónu. Mezi těmito dimenzemi nebo faktory a objektivně měřitelnými parametry je nutno potom určit vztah — korelaci, ze které bude potom vypracováno vlastní objektivní hodnocení kvality přirozeného hudebního signálu.

## 6. Analýza přirozeného hudebního signálu

Druhým okruhem problémů, které vystupují do popředí při objektivním hodnocení kvality přirozených hudebních signálů, jsou záležitosti kolem fyzikálních měření, zejména pak týkající se analýzy signálu.

Podobně jako u subjektivního hodnocení i zde je nutno řešit otázku *volby nahrávacího prostoru*. Jak již bylo uvedeno, je pro měřicí účely nejvhodnějším prostorem bezdozvuková (bezodrazová) „mrtvá“ ko-

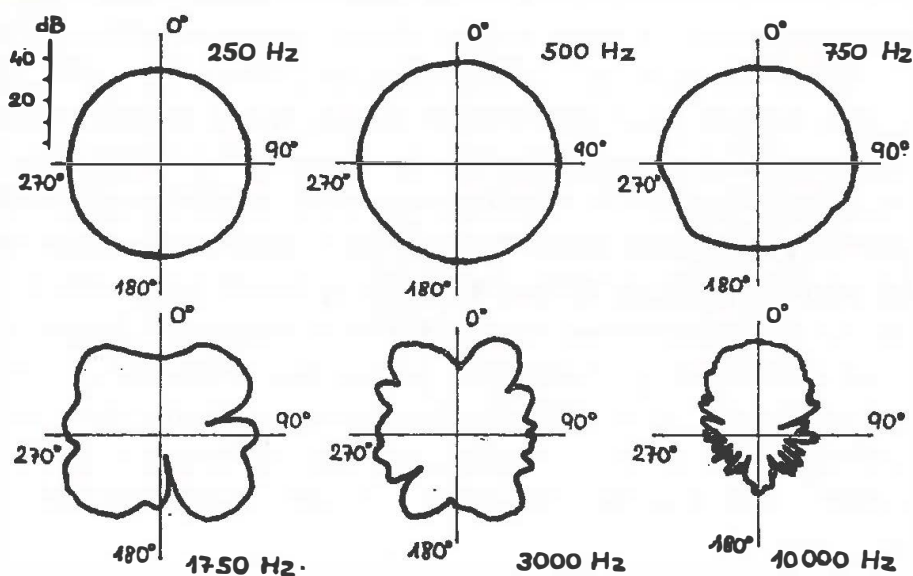
mora. U ní lze totiž prakticky zanedbat sekundární pole, tj. pole odražených zvukových vln. Doba dozvuku v mrtvé komoře se blíží k nule, z toho důvodu kritická vzdálenost (dříve poloměr dozvuku) roste teoreticky nadevšechny meze. Kritickou vzdáleností je taková vzdálenost od zdroje zvuku, ve které se akustický tlak vyvolaný přímou vlnou rovná tlaku vyvolanému vzniklými odraženými vlnami. Vliv pole odražených vln, tj. difuzního pole nelze exaktně podchytit a z toho důvodu je nutné tento vliv potlačit. V některých případech je však použití mrtvé komory problematické, třeba u psychoakustických měření, rovněž tak mrtvá komora nepatří mezi běžné vybavení akustických pracovišť. Potom lze pro méně náročné, informativní měření použít prostor s minimální dobou dozvuku a homogenním difuzním polem a mikrofon umístit od nástroje ve vzdálenosti nejvýše  $1/3$  kritické vzdálenosti, aby intenzita sekundárního pole byla minimálně 10 dB pod intenzitou pole primárního. V této souvislosti se též často mluví o přirozeném prostoru s definovanými akustickými vlastnostmi, který by byl na jedné straně vhodným poslechovým prostorem a na straně druhé jeho definované vlastnosti v místě mikrofonu by umožnily kvalitní snímání signálu pro měřicí účely. Bez nadsázky lze říci, že vyřešení takového semi-reverberantního prostoru je prakticky vyloučeno. Pro měřicí účely tedy zbývá pouze mrtvá komora.

Jako *měřicí mikrofon* se používá výhradně kondenzátorový mikrofon nultého řádu, tj. s všesměrovou (kulovou) charakteristikou. Tento mikrofon lze snadno ocejchovat a prověřit z hlediska jeho přenosových vlastností (frekvenční a fázové charakteristiky, zkreslení atd.), v použitelném akustickém pásmu lze dosáhnout u něho frekvenční charakteristiky v toleranci  $\pm 1$  dB i menší.

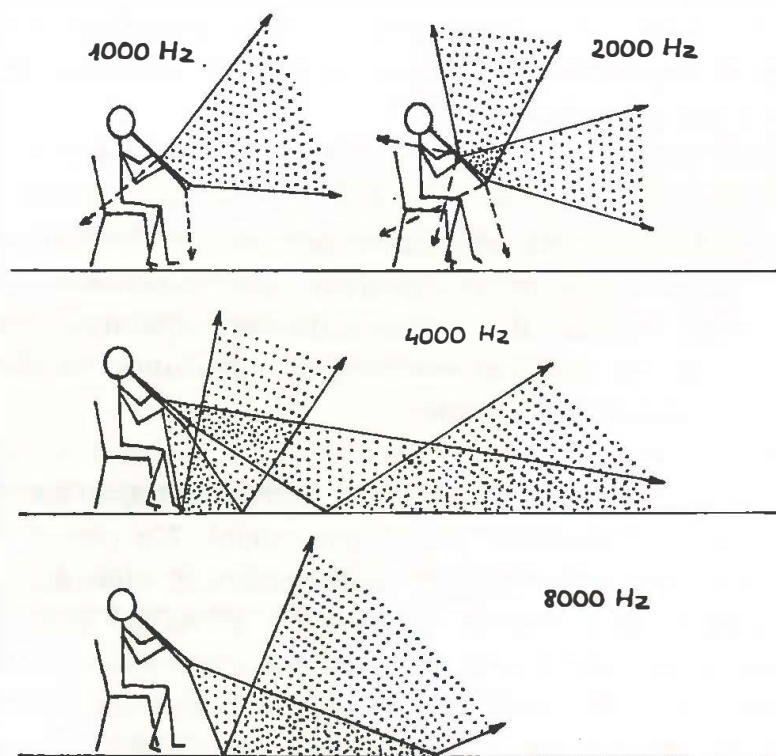
Prvním problémem, který vyvstává při snímání tónu hudebního nástroje měřícím mikrofonem, je otázka *vzájemné polohy mikrofonu a nástroje*. Tato poloha vyjma zvláštních případů měření na nástroji musí vycházet vždy z *přirozené polohy* nástroje vůči posluchači. Tato podmínka je ovšem velmi tolerantní a proto z důvodů opakovatelnosti výsledků měření je nutno se též zabývat *směrovými vyzařovacími charakteristikami* zkoumaného hudebního nástroje.

Směrové charakteristiky se nejčastěji uvádějí v polárních souřadnicích a zobrazují potom závislost akustického tlaku na úhlu při dané frekvenci tónu nebo frekvenci jeho harmonické. Na obr. 6 jsou směrové charakteristiky hoboje při různých frekvencích. Z charakteristik je zřejmé, že při nízkých frekvencích je směrová závislost minimální, kdežto vysoké frekvence (vysoké tóny) mají značnou směrovost. Jiné provedení směrových vyzařovacích charakteristik je uvedeno na obr. 7. Opět na příkladu hoboje jsou zakresleny úhly, ve kterých při konstantní vzdálenosti od nástroje se pohybuje úroveň akustického tlaku v rozmezí max.

3 dB. (22). Uvedené směrové charakteristiky mají však význam více hudebně-nástrojařský než fyzikální. Udávají vyzařování tónů hudebního nástroje do prostoru, neudávají však závislost změn v struktuře tónů na úhlu v těsné blízkosti nástroje. Nerespektování těchto změn narušuje opakovatelnost výsledků měření. Z obr. 6 je zřejmé, že zejména v oblasti vysokých frekvencí, tj. konkrétně u harmonických vyšších pořadových čísel je mož-



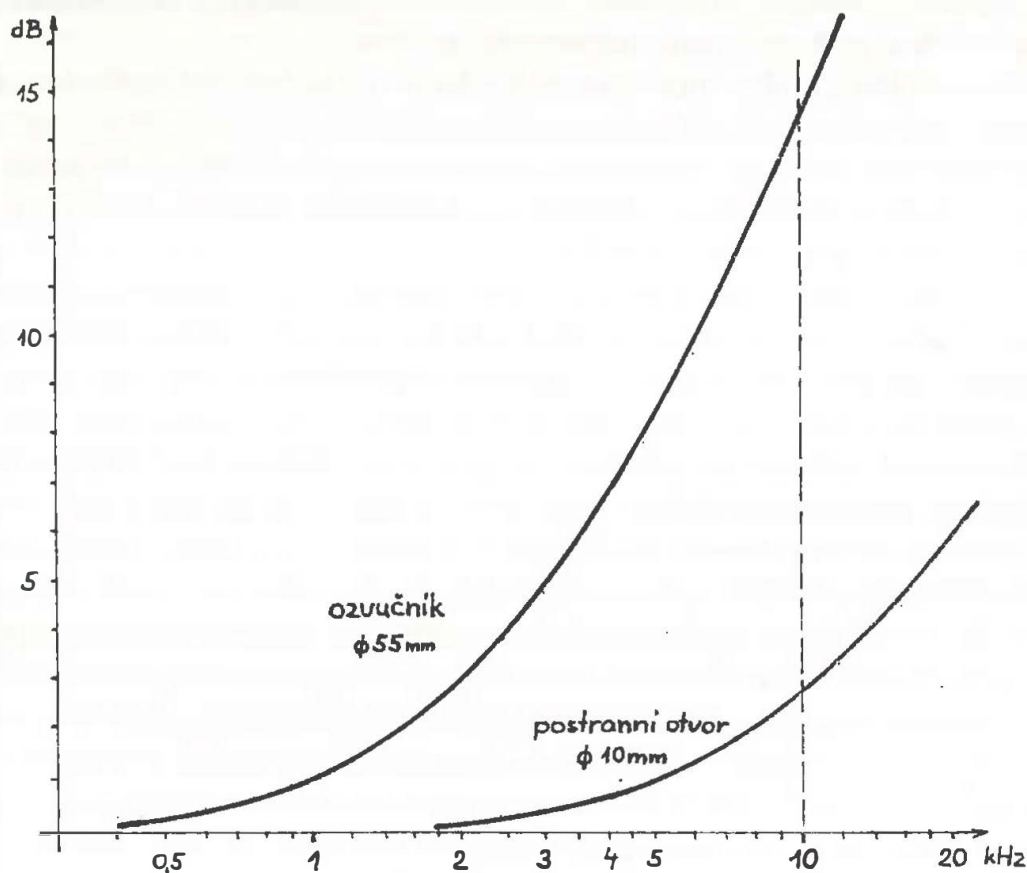
Obr. 6



Obr. 7

no naměřit v nepříliš velkém úhlu takový rozptyl hodnot, že takto získaná frekvenční spektra budou mezi sebou neporovnatelná. Pro měřicí účely nemá smysl zjišťovat směrové charakteristiky v takovém místě, kde nepřípadá přirozený poslech daného nástroje v úvahu, např. „za nástrojem“. Naproti tomu je zase zapotřebí důkladně a podrobně prozkoumat zvukové pole „před nástrojem“ a v některých případech i „podél nástroje“.

Toto se zejména týká dřevěných dechových nástrojů, u nichž se stoupající výškou tónu se odkrývají otvory, které působí jako další zvukové zdroje. Z toho vyplývá, že směrové vyzařovací charakteristiky těchto nástrojů jsou závislé nejenom na frekvenci tónu, ale také na počtu a poloze odkrytých otvorů, resp. na použitém prstokladu. Tato skutečnost je velmi opomíjena a při snímání tónu hudebního nástroje měřícím mikrofonom může být zdrojem velkých nesnází. Teoretické podchycení směrových charakteristik je pro řadu nutných zjednodušení pouze hrubým přiblížením a může sloužit jenom pro základní orientaci o závislost frekvenční závislosti a úhlech vyzařování. Na obr. 8 je vynesena závislost úrovně akustického tlaku v ose zdroje, kterým je píst kmitající na konci dlouhé trubice. Závislost je vynesena pro dva různé průměry otvorů, a to pro průměr ozvučnicku a jednoho postranního otvoru u klarinetu. Z uvedených křivek je



Obr. 8

zřejmé, že ozvučníkem, tj. osou klarinetu dochází k intenzivnějším vyzařování vyšších frekvencí než v ose než např. kolmo na osu. Jak bylo již výše uvedeno, poloha měřicího mikrofону vůči nástroji musí respektovat přirozenou polohu posluchače vůči nástroji, proto je nutné právě v okolí tohoto místa podrobně prověřit změny struktury tónu, hlavně pak vyskytující se minima v úrovních jednotlivých harmonických. Jak bude dokumentováno v kap. 8 na naměřených směrových charakteristikách klarinetu, může směrová závislost určité harmonické způsobit změny její úrovně v rozsahu až 30 dB a ještě více. Tyto změny mají převážně charakter ostrých lokálních minim, a mají za následek značné změny ve spektru tónu při vcelku nepatrné změně polohy měřicího mikrofону vůči nástroji, řádově kolem 10 až 20 úhlových stupňů. Proto při volbě polohy měřicího mikrofону je nutno vycházet ze znalosti rozmístění těchto minim kolem nástroje a pokud možno vyvarovat se takové polohy, ve které se tato minima vyskytují. Potíž je ovšem v tom, že polohy minim jsou obvykle u každé harmonické jiné a taktéž se tyto minima mění s různou výškou tónu. Poloha mikrofону bude tudíž určitým kompromisem vůči směrovým charakteristikám nástroje a současně bude respektovat přirozenou polohu posluchače. Přitom znalost výskytu a charakteru lokálních minim v blízkosti polohy mikrofону umožní případnou korekci ve vyhodnocování a porovnávání frekvenčních charakteristik tónu.

Volba polohy měřicího mikrofону může být též určována účelem měření, tak např. při vyhodnocování rušivých vlivů mechanismu hudebního nástroje nebo při zjišťování zvukového působení nástroje na hráče nemusí poloha mikrofону vycházet z postavení posluchače vůči nástroji. Tyto případy jsou však ojedinělé.

Zajímavou konfrontací mezi směrovými charakteristikami nástroje a přirozenou polohou posluchače je „poslech“ těchto charakteristik. V praxi to lze realizovat poslechem reprodukováných tónů nejčastěji z magnetofonového záznamu, když v průběhu držení tónu mikrofón měnil plynule svoji polohu po předem určené dráze kolem hudebního nástroje. Posluchač potom slyší držený tón, který mění svoji barvu a určí okamžik, ve kterém se mu barva tónu jeví jako nejpřirozenější. Tento okamžik odpovídá potom určité poloze mikrofону vůči nástroji. Není bez zajímavosti, že velmi často umístí posluchač optimum přirozenosti tónu právě do takového postavení mikrofону, které odpovídá přirozené poloze posluchače vůči nástroji (viz kap. 8). Toto vyhodnocení směrových charakteristik poslechem by mělo velký význam také pro nahrávací praxi zvukové výroby, kde umístění mikrofону je převážně určováno zkušeností zvukaře a je velmi často akusticky nepodstatné.

Poloha měřicího mikrofону vůči danému hudebnímu nástroji při snímání zvuku pro účely objektivního hodnocení kvality tónu by měla



být jednou z řady konvencí hudební akustiky s mezinárodní platností, aby se tak zaručila z tohoto hlediska opakovatelnost naměřených hodnot.

Další velmi závažnou vstupní podmínkou je *volba dynamiky snímaného tónu*. Jak je známo, barva tónu úzce souvisí s jeho dynamikou, úrovní hlasitosti. Vztah mezi frekvenčním spektrem tónu a jeho úrovní hlasitosti udávají *dynamické charakteristiky*. Tyto charakteristiky nelze u většiny hudebních nástrojů nijak teoreticky podchytit pro značný vliv hráče na průběh těchto charakteristik např. u smyčcových a dechových nástrojů. Volba dynamiky tónu souvisí též s dynamickým rozsahem uvažovaného nástroje a se závislostí dynamiky na výšce tónu.

Při zkoumání vlastností ojedinelého tónu lze při určité nenáročnosti volit pouze jednu úroveň hlasitosti, obvykle mezzoforte až forte, při posuzování tónu jako produktu určitého hudebního nástroje je nutné se zabývat alespoň dvěma stupni úrovně. Údaj o dynamice vyjádřený naměřenou úrovní akustického tlaku při snímání tónu měřícím mikrofonom tvoří nedílnou součást naměřených hodnot. Jako měřidla lze pro tento účel současně využít měřícího mikrofonu, jehož zesilovač má vestavěné měřidlo ocejchované v dB. V tomto případě nebudou však zařazeny váhové filtry (A, B, C, D) jako při běžných měření hlasitosti a údaj úrovně akustického tlaku bude označen jako dB/lin.

Při dalším zpracovávání zkoumaného tónu, zejména pak při jeho převodu do digitální formy je někdy výhodné, aby všechny zaznamenané tóny měly alespoň přibližně stejnou úroveň hlasitosti (správněji akustického tlaku). To ovšem znamená, že hráč je nucen kontrolovat dynamiku tónu pohledem na měřidlo. Tato činnost hráče však může nepříznivě ovlivnit jeho výkon a tím i kvalitu zkoumaného tónu, proto v případě nevyhnutelnosti této kontroly je nutno hráče předem na tuto situaci řádně připravit a ev. jej nechat delší dobu za těchto podmínek rozehrát. K dodatečným úpravám dynamiky měřených tónů, např. při přepisu magnetofonového záznamu je možno se uchýlit jen ve výjimečných případech, a to jsou-li dynamická vyrovnání malá, řádově do 6 dB a nelze-li jinak stejnou dynamiku dodržet. Jako velmi problematické se potom jeví subjektivní ohodnocení takto dodatečně upravených tónů. Zde totiž může dojít k porušení celistvosti vztahu mezi barvou a dynamikou tónu, který je u subjektivního vjemu velmi důležitý.

Znalost dynamických charakteristik tónu zkoumaného hudebního nástroje je jen užitečná, ale většinou též nutná. Dynamika tónu ovlivňuje totiž značným způsobem strukturu tónu a její nepodchycení je velkou překážkou opakovatelnosti výsledků měření. Proto i otázky volby dynamiky tónu by se měly stát předmětem už zmíněných konvencí. Akustický signál, který je měřícím mikrofonom přeměněn na signál elektrický, je možno podrobit okamžité analýze, ale v naprosté většině případů je nutné z důvodů

technických i organizačních tento signál zaznamenat na magnetofonový pásek. Použití magnetofonu resp. jeho zařazení do elektroakustického řetězce přináší sebou nebezpečí zhoršení kvality přenášeného signálu a proto je nutné věnovat zvýšenou pozornost kvalitě záznamu.

Jako magnetofony se pro tyto účely používají buď magnetofony měřicí s frekvenční modulací nebo běžné profesionální magnetofony špičkové úrovně. Měřicí magnetofony jsou především výhodné pro analýzu nízkých frekvencí a krátkodobých signálů a pro jejich frekvenční transformaci. Pro běžný záznam vyhovují magnetofony s rychlostí posuvu 38,1 cm/s, pro méně náročná měření i 19 cm/s. Technické parametry použitého magnetofonu musí odpovídat nejvyšším nárokům na kvalitu záznamu a reprodukce signálu, což se přirozeně týká jak mechanických tak elektrických vlastností magnetofonu. Kromě běžných problémů kvality magnetického záznamu vyvstává při použití magnetofonu pro měřicí účely další závažná okolnost, které ve zvukové výrobě není připisována žádná role. Jedná se o fázové zkreslení magnetofonu. Vzhledem k tomu, že objektem analýzy je i fáze jednotlivých složek spektra zkoumaného signálu, může právě fázové zkreslení zaznamenaného signálu omezit širší platnost výsledků měření. Proto je nezbytné prověřit u použitého magnetofonu kromě běžných přenosových vlastností též fázové zkreslení, což zase není po technické stránce jednoduchá záležitost. Řešení tohoto problému souvisí nakonec s obecnou otázkou významu a vlivu fáze signálu a složek jeho spektra na subjektivní vjem, o čemž bude dále ještě pojednáno. Lze však konstatovat, že v praxi se zatím vliv fázového zkreslení magnetického záznamu příliš neuvažuje a tak magnetofon je zcela běžnou součástí elektroakustického řetězce pro analýzu signálu.

Tón hudebního nástroje, zachycený měřicím mikrofonom a ev. nahrazený na magnetofonový pás, se dále podrobuje analýze buď v analyzátoru nebo počítači. *Analýzou signálu* se rozumí *rozbor jeho struktury*, amplitudy, frekvence, fáze a časové závislosti. Současná metodologie analýzy vychází z fourierovského rozvoje periodické funkce a Fourierovy transformace funkce neperiodické.

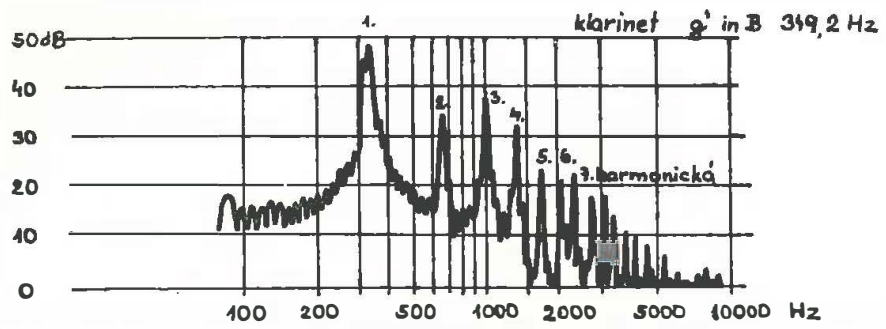
Základní funkcí každého (elektronického) analyzátoru je schopnost *pásmové filtrace* daného signálu, která umožní propuštění jenom části jeho spektra a změření amplitudy této části. Analyzátozem může být potom buď selektivní zesilovač *s konstantní relativní šířkou pásma* nebo heterodynní filtr *s konstantní absolutní šířkou pásma*. Konstantní relativní šířka propouštěného pásma se udává buď v procentech např. 10 %, což znamená, že šířka pásma při naladění analyzátoru na 100 Hz bude 10 Hz, na 500 Hz bude 50 Hz atd., nebo v potlačení oktávového kmitočtu např. 40 dB, což znamená, že při naladění na frekvenci 1000 Hz jsou frekvence 500 Hz a 2000 Hz potlačeny o 40 dB. U těchto analyzátorů stoupá tedy absolutní

šířka pásma s rostoucí frekvencí, a to má za následek klesající schopnost přesného rozlišení harmonických vyšších pořadových čísel např. 10. a 11. harmonické tónu o základní frekvenci 100 Hz, která leží na 1000 Hz a 1100 Hz při použité šířce pásma 10 %.

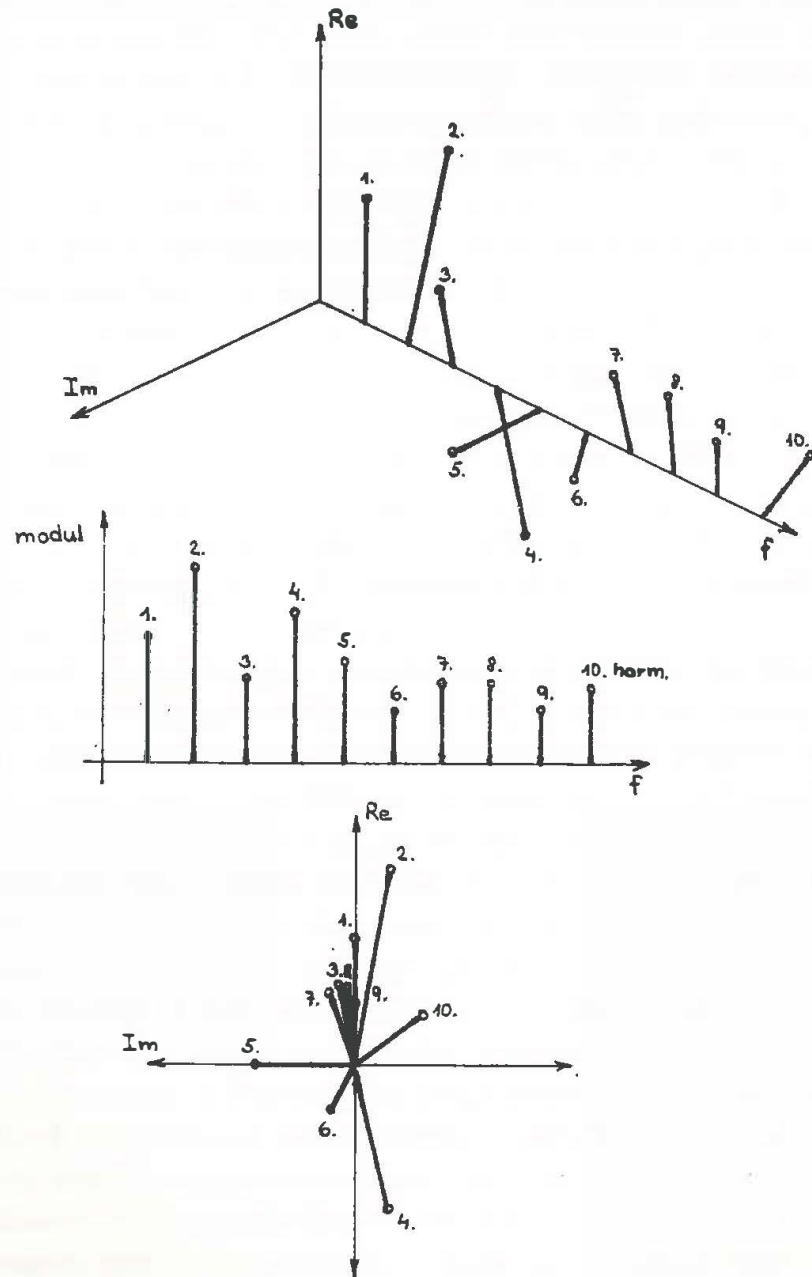
Analyzátory s konstantní relativní šířkou pásma lze přelaďovat buď po skocích na normalizované frekvence (oktávové a třetinooktávové analyzátory) nebo plynule v rozsahu např. 2 Hz — 20 kHz.

Analyzátory s konstantní absolutní šířkou pásma jsou založeny na směřovacím principu a lze je plynule přelaďovat v rozsahu akustických frekvencí při volitelné šířce pásma např. 2 Hz. Čím užší je šířka pásma, tím více odpovídá údaj voltmetru analyzátoru skutečné amplitudě měřené harmonické. Nevýhodou velmi úzké šířky pásma je reagování analyzátoru na změny frekvence harmonické, na kterou je analyzátor naladěn a která se projeví jako pokles výchylky odečítané na voltmetru. Čím větší je šířka pásma, tím méně reaguje analyzátor na změny frekvence, které mohou být jak přirozeného původu (výšková fluktuace tónu), tak důsledkem kolísání magnetofonu. Další nevýhodou analyzátoru s konstantní absolutní i relativní šířkou pásma je nutnost postupného přelaďování na jednotlivé harmonické, což předpokládá stálou přítomnost signálu (tónu) na vstupu analyzátoru. Tento problém se nejčastěji řeší uzavřením smyčky magnetofonového pásu, která je přehrávána po celou dobu analýzy. Z toho vyplývá, že v této podobě jsou uvedené analyzátory schopny analyzovat pouze dlouhé držené tóny, resp. jejich zakmitané stavy.

Tuto nevýhodu částečně odstraňují *analyzátory okamžitého spektra*, třetinooktávové nebo úzkopásmové. Tyto analyzátory jsou tvořeny sadou filtrů a odpovídající výstupní napětí těchto filtrů jsou zobrazena svislými čarami na obrazovce analyzátoru u příslušných frekvencí, které jsou ovšem pevně naladěny. Tak je umožněno současně pozorovat tvar frekvenčního spektra. Třetinooktávový analyzátor okamžitého spektra obsahuje obvykle 38 čar, úzkopásmový až 400 čar. Toto jemné dělení frekvenčního rozsahu u úzkopásmového analyzátoru umožňuje zobrazení čárového spektra, které již poměrně odpovídá skutečnosti. Spektra je možno z obrazovky ofotografovat nebo zaznamenat jejich změny na filmový pás. Určitou nevýhodou těchto analyzátorů jsou jednak pevné frekvence čar (zejména u třetinooktávového analyzátoru) a jednak pomalé časové konstanty, které takřka znemožňují pozorování rychlých změn ve spektru např. v oblasti tranzientu tónu. Odečítání údajů z voltmetru analyzátoru je velmi zdlouhavé a předpokládá překreslení naměřených hodnot do grafické podoby (viz obr. 1), proto se napětí voltmetru přivádí do zapisovače úrovně, který mechanickým pohonem přelaďuje oscilátor a současně kreslí průběh spektra. Na obr. 9 je uveden příklad takto zakresleného spektra tónu klarinetu naměřeného při konstantní absolutní šířce pásma 10 Hz.

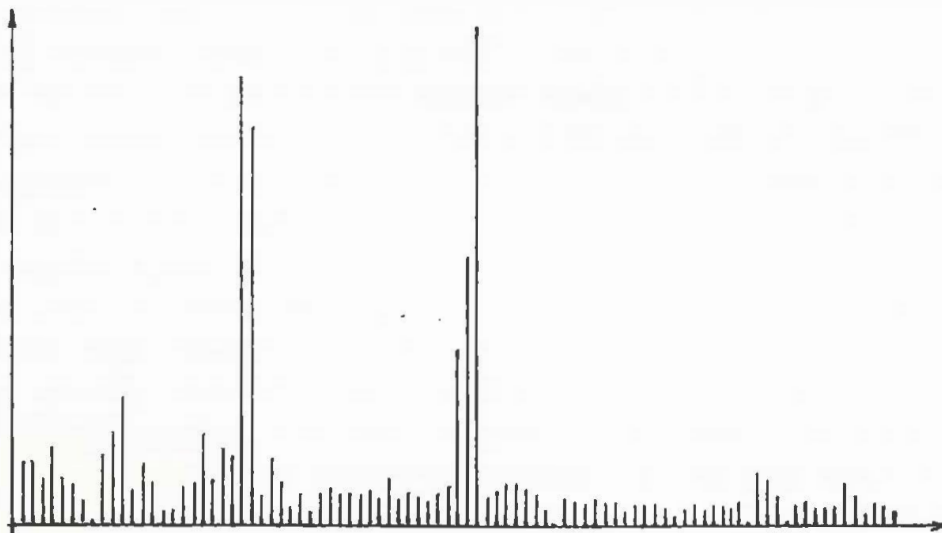


Obr. 9



Obr. 10

Frekvenční spektra získaná uvedenými analyzátory jsou pouze spektra dvourozměrná, udávají závislost amplitudy na frekvenci, resp. jejího modulu na frekvenci. Amplitudy složek spektra nejsou ovšem v obecné podobě reálná čísla (skaláry), nýbrž komplexní čísla (vektory). To znamená, že každá harmonická i neharmonická složka spektra má jednak svoji velikost a směr, tj. amplitudu (resp. její modul) a fázi v komplexní rovině. Na obr. 10 je nakresleno v trojrozměrném zobrazení čárové spektrum spolu s tradiční podobou spektra, která udává závislost modulu na frekvenci a netradičním zobrazení vektorů amplitud v komplexní ro-



Obr. 11

SVM - FFT 147/3  
 MU - A95 3.4.74  
 KLAVIR c' 261,6 Hz  
 N = 256

PROGRAM MU - A95  
 FOURIEROVA RADA REALNE POSLOUPNOSTI ANALYZA

POCET VZORKU = 256 REALNYCH  
 DELKA PERIODY = 1,000

K	RE	IM	AMPLITUDA	FAZE
0	,501563/ -1	-,000000/ -0	,50156/ -1	0,00000
1	-,474964/ -1	,134215/ -1	,49356/ -1	2,86619
2	-,253928/ -1	,267863/ -1	,36909/ -1	2,32950
3	,208108/ -1	,566852/ -1	,60385/ -1	1,21895
4	,282059/ -1	,233661/ -1	,36627/ -1	0,69183
5	,319963/ -1	,300119/ -2	,32137/ -1	0,09352
6	-,218433/ -1	,561732/ -2	,22554/ -1	2,88988
7	-,167647/ -3	,409481/ -3	,44247/ -3	1,95939
8	-,381837/ -1	,353748/ -1	,52052/ -1	2,39436
9	-,180229/ -1	-,699242/ -1	,72210/ -1	-1,82306
10	,739872/ -1	,629235/ -1	,97126/ -1	0,70476
11	,223146/ -1	-,921081/ -2	,24141/ -1	-0,39147

vině. Toto zobrazení v komplexní rovině postihuje charakter čárového spektra za předpokladu jeho periodicity, tzn. že frekvence vyšších harmonických jsou skutečně celistvými násobky frekvence první harmonické a nebo bude-li u každého vektoru amplitudy uveden údaj o její frekvenci. Uvedené analyzátory však fázi složek spektra tímto způsobem podchytit nemohou, zde je nutné aplikovat prostřednictvím počítače matematické metody analýzy.

Na obr. 11 je uvedeno spektrum tónu klavíru (resp. modul spektra) a část tabulky, která udává číselné vyjádření spektra, jeho reálné a imaginární složky a tomu odpovídající amplitudy a fáze složek spektra na frekvenci. V prvním sloupci však čísla neudávají číslo harmonické, ale diskrétní dělení frekvenční osy. Toto jsou výsledky analýzy počítačem při použití programu FFT (Fast Fourier Transform).

Přesto, že toto statické podchycení struktury tónu je již velmi podrobné a přesné, nevyjadřuje chování složek spektra u reálného tónu. Teprve zavedením čtvrtého rozměru, *časové osy spektra*, která se tak stává nezávisle proměnnou všem ostatním veličinám, tj. amplitudě, frekvenci a fázi všech složek je tón vyčerpávajícím způsobem popsán. Zavedení časové závislosti do analýzy není však jednoduchou záležitostí nejen z hlediska technického, ale i matematického. Popsanými analyzátory je možno zpracovat pouze velmi dlouhé, držené tóny, ev. krátký tón z uzavřené magnetofonové smyčky, ale nikoliv již rychlé změny ve struktuře tónu, které probíhají např. v oblasti jeho tranzientu. Matematická analýza nezná takový převod časové závislosti z roviny periodické funkce do roviny jejího frekvenčního spektra, který by odpovídal reálnému časovému vývoji analyzovaného signálu. Aby bylo možné sledovat rychle časové změny ve spektru signálu běžnými analyzátory, je zapotřebí časově transformovat tyto změny na takovou rychlost, která bude v relaci s možnostmi analyzátoru i zapisovače úrovně. Nejjednodušší takovou transformací je snížení rychlosti posuvu u magnetofonu při reprodukování záznamu signálu. Tato transformace je však vázána na současnou frekvenční transformaci, která při podstatném snížení rychlosti např. na  $1/10$  rychlosti původní použití tohoto postupu zcela vyloučí. Jinou možností časové transformace při magnetofonovém záznamu skýtá použití magnetofonu s rotující hlavou nebo hlavami, kde je možno provést časovou transformaci nezávisle na frekvenční. Nevýhodou tohoto postupu je jednak složitost samotného zařízení a velká náročnost na jeho kvalitu a potom problematická reprodukce záznamu za podmínek, které jej kvalitativně vždy poznamenají.

Tyto analogové metody časové transformace signálu zcela vytlačilo *použití číslicové techniky* a zápisu signálu v digitální formě. Spojitý, analogový signál je digitalisován a uložen v paměti, ze které je jej možno libovolnou opakovací frekvencí vybavit, např. až  $1000\times$  pomaleji, aniž by

došlo k jeho kvalitativním změnám. Současně je možno zaznamenat signál na děrnou pásku a podrobit jej pak analýze v počítači. Vybavení signálu z paměti může být též ve formě analogové, což umožňuje např. zápis oscilogramů tranzientů tónů hudebních nástrojů pomocí běžného zapisovače úrovně, tedy zápis dějů ve skutečnosti trvajících desítky milisekund, který probíhá  $1000\times$  pomaleji. Použití těchto číslicových převodníků dává možnost zkoumání struktury signálu v jejím časovém vývoji běžnými analyzátory.

Pro analýzu signálu samočinným počítačem není zapotřebí signál časově transformovat, je pouze nutné jej převést do jazyka počítače. Vlastní analýza je už potom jenom otázkou programu.

Výsledky analýzy by pak měla být frekvenční a fázová spektra ve svém časovém vývoji u reálného tónu hudebního nástroje. Toto vlastně jediné komplexní spektrum zahrnující v sobě jak harmonické tak i neharmonické složky a rušivé příměsy signálu je potom vyčerpávajícím objektivním podchycením jeho fyzikálně-akustických vlastností. Dává informace jak o spektru tradičně pojatém (viz obr. 1), jeho harmonicitě, o poloze a intenzitě formantových oblastí, o neharmonických složkách, šumech a hlucích v tónu obsažených, tak o časové závislosti tohoto spektra, jeho vývoji a zániku, o frekvenčních, fázových i amplitudových fluktuacích a podstatných změnách, o vývoji a ustálení výšky tónu, o struktuře vibráta i tremola a dalších projevech přirozeného hudebního signálu.

## 7. Vyhodnocení měření a kvalitativní standard

Pokud postupy fyzikálních a psychoakustických měření, popsané v předchozích kapitolách, zaručí stanovenou míru opakovatelnosti svých výsledků, lze potom přistoupit k řešení nejzávažnějšího problému objektivního hodnocení kvality přirozených hudebních signálů, a to *nalezení vztahu* (korelace) *mezi výsledky těchto měření*. Z oblasti psychoakustických měření, poslechových testů jsou k dispozici subjektivní ohodnocení kvality ve formě jednoznačných binárních soudů i mnohознаčných silně subjektivních slovních posudků. Vedle toho by měla být již známa, nebo alespoň naznačena existence faktorů či nezávislých dimenzí subjektivního vjemu kvality, tj. těch činitelů z roviny objektivních výsledků, které mají podstatný a na sobě nezávislý vliv na tento vjem.

Z oblasti fyzikálních měření jsou k dispozici podrobná spektra, dávající vyčerpávající statický a dynamický pohled na strukturu zkoumaného tónu. Tato objektivní informace je ovšem velmi rozsáhlá a lze předpokládat, že pouze její část bude mít konkrétní vztah k subjektivnímu vjemu. Z toho vyplývá, že stanovení nezávislých dimenzí subjektivního

vjemu úzce souvisí s problémem omezení údajů o struktuře tónu. Při vymezování tohoto okruhu potřebných dat není možno vycházet z fyziologie sluchového vjemu, protože není dosud znám jednoznačný účinek změny parametrů daných složek spektra přirozeného signálu na tento vjem, např. otázky vzájemných fázových vztahů a změn fáze složek spektra. Právě tak není možné omezit počet dat pouze aplikací metody multidimenzionálního škálování. Proto musí být výsledek analýzy co nejpodrobnější, aby se tak vyloučilo opomenutí vlivu některé složky spektra na kvalitu subjektivního vjemu.

Problém omezení počtu objektivních údajů o tónu hudebního nástroje resp. o jeho struktuře předchází stanovení korelace mezi objektivně měřitelnou fyzikální veličinou jako nezávisle proměnnou a subjektivním vjemem kvality jako závisle proměnnou. Lze předpokládat, že tato korelace bude *nelineární* a ve své konečné podobě nebude závislostí jednoduchou, párovou, ale *vícenásobnou*.

Nezávisle proměnnými budou v této korelační závislosti jednotliví kvantitativní ukazatelé struktury, např. délka tranzientu, monotónnost poklesu spektra apod., závisle proměnnou pak bude kvantifikovaný subjektivní vjem kvality. Je ovšem otázkou, zda kvantifikace umožní soustředění kvalitativních ukazatelů do jedné závisle proměnné, zda vůbec přiřazení objektivně měřitelných veličin k subjektivnímu vjemu půjde v dostatečné míře objektivitě vyjádřit jenom jednou, třeba vícenásobnou korelační závislostí. Současně vystupuje však *problém interkorelace* mezi nezávisle proměnnými.

Výběr objektivních údajů, nezávisle proměnných, resp. jejich omezení musí vycházet z existence korelačního vztahu mezi nimi a subjektivním vjemem, to ale neznamená, že všechny vybrané údaje jsou v použitelném vztahu k subjektivnímu vjemu. Těsnost závislosti (korelační index) by měla dosáhnout takové hodnoty, aby bylo možno korelačním polem proložit jednoznačně *regresní křivku*. Jednoznačnost tohoto přiřazení nemusí být v celém rozsahu subjektivního vjemu kvality, zejména pak vůbec ne v oblasti vysokého kvalitativního ocenění. Naproti tomu lze celkem bezpečně odhadnout protipól zvukového ideálu, tj. úplné popření kvality, které se ztotožňuje se ztrátou typičnosti a charakteru tónu daného nástroje. Rozsah vjemu kvality lze potom rozdělit na dvě části, a to část převážně jednoznačného vztahu mezi objektivní a subjektivní proměnnou, týkající se nízkých zvukových kvalit, a část, ve které převažuje víceznačný vztah objektivní a subjektivní proměnné, a která zahrnuje oblast vysokých kvalit. Právě tato oblast vysokých kvalit tónu hudebního nástroje je středem zájmu objektivního hodnocení, protože špatnou kvalitu tónu není potřeba zvlášť hodnotit. Subjektivní soudy v oblasti špatné kvality jsou většinou velmi přesné a jednoznačné, což souvisí s postupnou ztrátou charakteru

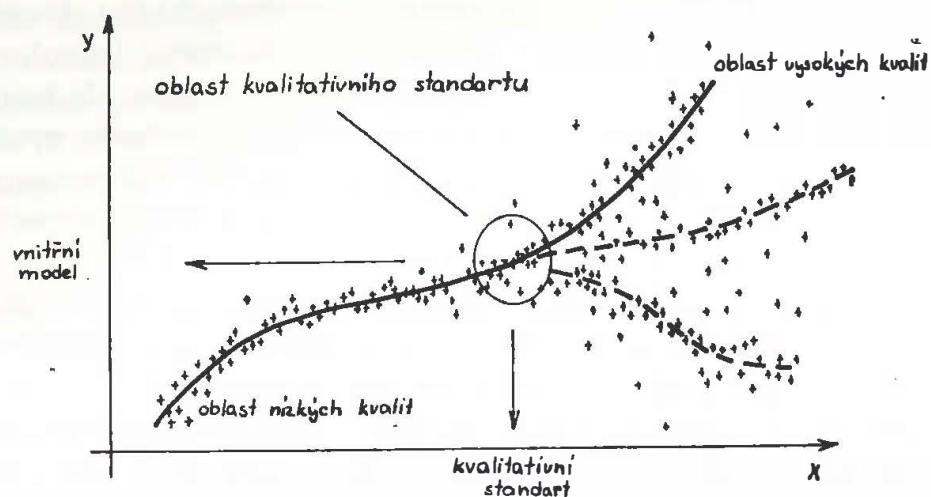


tónu vzhledem k vnitřnímu modelu posluchače. Posluchač si dovede velmi dobře představit změnu barvy tónu, která odpovídá změně jednoho charakteru v druhý, např. změna tónu trubky v tón lesního rohu, ale nedovede si představit takovou změnu barvy, která by se blížila určitému zvukově dokonalému projevu trubky, protože tento projev nezná. Velký rozptyl subjektivních představ dokonalosti je jednou z příčin víceznačnosti vztahu objektivních a subjektivních veličin v oblasti vysokých kvalit. Lze vyslovit názor, že předělem v oblasti subjektivních hodnot mezi uvedenými dvěma částmi rozsahu kvality bude *vnitřní model* posluchače a v rovině objektivních hodnot pak jemu odpovídající *kvalitativní standard*.

*Kvalitativní standard* tónu daného hudebního nástroje je v podstatě *objektivní podchycení typičnosti a charakteru* tónu, není to ovšem jenom pouhý popis tónu, ale hlavně vyjádření vztahu mezi jeho fyzikální podstatou a subjektivním vjemem. Tato základní korelace vyjadřuje *první přiřazení subjektivní závisle k objektivní nezávisle proměnné*, i když pouze v jednom bodě nebo úzké oblasti předpokládané regresní funkce. Na obr. 12 je znázorněn teoretický případ jednoduché korelační nezávislosti mezi danou objektivní veličinou struktury tónu a subjektivním vjemem kvality kvantifikovaným sestavením pořadí kvality. Na pořadnici x je tady vynešena objektivní veličina, na pořadnici y subjektivní veličina. Korelačním polem je potom proložena regresní funkce, která v oblasti horších kvalit je jednoznačná, kdežto v oblasti lepších kvalit může být vykládána mnohoznačně. V této oblasti dochází ke zmenšení těsnosti závislosti y na x a může též dojít i k porušení monotónnosti poklesu nebo vzrůstu regresní funkce. Předěl mezi těmito oblastmi tvoří *kvalitativní standard*, který v rovině subjektivního vjemu by měl odpovídat vnitřnímu modelu průměrně hudebně vzdělaného posluchače. Víceznačnost regresní funkce je potlačována existencí vícenásobné korelační závislosti, tzn. že řada dalších nezávisle proměnných objektivních veličin má vliv na subjektivní kvalitu a že vliv těchto veličin je v různých částech rozsahu kvality různý. U jednoduché korelační závislosti dochází velmi často k jevu, že pokles hodnoty jednoho objektivního ukazatele se projeví např. jako pokles subjektivního vjemu kvality, ale vzrůst tohoto ukazatele nad určitou hranici neovlivní vzrůst kvality nebo dokonce způsobí pokles kvality. Nad touto hranicí však začne převažovat vliv jiného objektivního ukazatele a zde vyvstává problém vzájemné závislosti (interkorelace) těchto objektivních ukazatelů.

Těsnost vazby objektivní a subjektivní veličiny, resp. hodnota korelačního indexu vyjadřuje při zachování dalších podmínek objektivní již zcela konkrétně stupeň této objektivní, proto je nutné, aby v celém rozsahu kvality existoval *použitelný korelační vztah*; aby korelace vůbec existovala.

Vedle toho vystupuje také problém platnosti této korelace jako



Obr. 12

kritéria kvality v celém zvukovém rozsahu daného hudebního nástroje. U řady hudebních nástrojů existují poměrně odlišné tónové polohy, rejstříky a to nejenom ztěžuje, ale v mnohých případech i úplně znemožňuje sjednocení kvalitativních kritérií jednotlivých tónových poloh. Avšak už z důvodů praktické použitelnosti by měl být počet korelačních závislostí co nejmenší, tedy objektivní kvalitativní charakteristika nástroje co nejjednodušší a přitom nejvýstižnější a nejjednoznačnější. Zůstává však otázkou použití korelace jako statistické metody v obecném smyslu, případné její kombinace s jinými metodami. Na toto dá však odpověď až další výzkum objektivního hodnocení kvality přirozených hudebních signálů.

## 8. Výzkum tónu klarinetu

Rozsáhlost problematiky objektivního hodnocení kvality přirozených hudebních signálů, tak jak bylo o ní pojednáno v předchozích kapitolách, lze dokumentovat na příkladu tónu klarinetu. Jako první konkrétní seznámení se s touto problematikou byla práce o *tranzientu tónu klarinetu*.

Cílem práce bylo 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 tónu.

Dosavadní výzkum tónu klarinetu se týkal ve většině případů pouze spekter zakmitaného stavu. Protože klarinet je válcová píšťala na jednom konci otevřená a na druhém uzavřená, je spektrum jeho tónu

v prvním přiblížení *liché*, tj. obsahuje pouze liché harmonické. Ve skutečnosti však spektrum sudé harmonické obsahuje, což svědčí o tom, že konec vzduchového sloupce v hubičce klarinetu se nechová jako zcela uzavřený. Tento fakt potvrdila řada měření, která provedli Saunders (32), Olson (28), Meyer a Buchmann (25) a další. Z předpokladu, že se štěrbina mezi hubičkou a plátkem nikdy úplně neuzavře, vyšel Ghosh (9) a vypracoval teorii vzniku tónu u klarinetu. Vibracemi klarinetových plátek se též zabýval Backus (2). Spektrum tónu klarinetu do souvislosti s jeho kvalitou se pokusil dát McGinnis aj. (41). Ve své práci objasnil obsah jednotlivých harmonických v různých rejstřících nástroje a jejich vliv na charakter tónu. Naměřené údaje však nesrovnával se subjektivním vjemem kvality. Parker (29) analyzoval tóny dřevěného a kovového klarinetu a dospěl k závěru, že vliv materiálu nástroje na spektrum není příliš podstatný.

Tranzienty tónů klarinetu zkoumal Backhaus (1), který určil jejich délku a také pořadí nástupu jednotlivých harmonických. Richardson (30) sledoval tranzienty klarinetu a dalších dechových nástrojů zejména co do vývoje tvaru obalové křivky. Délkou trvání tranzientů u neperkuských nástrojů se zabývali Luce a Clark (14), u nás pro většinu hudebních nástrojů určil délky tranzientů Melka (17).

Analýzu tranzientů zesťových dechových nástrojů pomocí počítače provedli Luce a Clark (15) a vynesli obálkové křivky spekter pro různé stupně dynamiky. Analýzu tranzientů a jeho zpětnou syntézu tónu několika hudebních nástrojů provedl Freedman (7, 8) a Risset a Mathews (31). Subjektivním vjemem délky tranzientu a tvaru jeho obalové křivky u různých hudebních nástrojů bez uplatnění analýzy se zabýval Hojan (11). Metodou analýzy tranzientů hudebních nástrojů na počítači vypracoval Bariaux (3) a poukázal na kolísání frekvence harmonických u tónu klarinetu.

Výsledky uvedených metod analýz tranzientů tónů hudebních nástrojů, zejména pak tónu klarinetu nebyly a většinou ani nemohly být srovnávány se subjektivním vjemem kvality analyzovaného tónu, aby se tak ukázalo, které složky spektra a jakou měrou mají na tento subjektivní vjem podstatný vliv.

Koncepci celého měření určilo použití *zapisovače jednorázových dějů* (Digital Event Recorder) 7502 firmy Brüel Kjaer. Signál byl v tomto zapisovači zaznamenán v *digitální formě* a pro další měření, tj. zápis oscilogramu tranzientu, analýzu a zápis jednotlivých harmonických, byl převeden zpět do *analogové formy*. Tento postup byl volen ze dvou důvodů. Jednak nebyla k dispozici děrovačka 6301 potřebná k zapisovači 7502 k na děrování pásků pro počítač, pro který by bylo nutno také připravit program analýzy a jednak z důvodů snadnější zpracovatelnosti výsledků v analogové (grafické) formě, která je pro první seznámení se s problema-

tikou podstatně přehlednější už vzhledem k provedenému počtu měření.

Nahrávání tónových ukázek a jejich subjektivní hodnocení se provádělo na hudební fakultě AMU, vlastní analýza na katedře zvukové techniky a vibrační elektrotechnické fakulty ČVUT.

Celé měření bylo rozděleno do třech částí. V první části hráli dva hudebníci na své nástroje (B klarinety), které si mezi sebou měnili včetně výměny hubiček a plátků. Na vzniklých deseti sestavách nástroje, hubičky a hudebníka byly přehrávány tři tóny ze zvukového rozsahu klarinetu. Z hluboké „šalmajové“ polohy to bylo  $f$  (znějící  $e_s$ ), ze středního rejstříku  $g_1$  (znějící  $f_1$ ) a z jasného „klarinového“ rejstříku  $a_2$  (znějící  $g_2$ ). V druhé části měření hrál jeden hudebník na tři nástroje, u nichž navzájem měnil hubičky. Přehrávané tóny byly stejné jako v první části. V třetí části měření hrálo celkem deset hudebníků, každý na svůj nástroj. Zde bylo v šalmajové poloze  $f$  zvýšeno na  $g$  a v klarinové poloze  $a_2$  na  $c_3$ . Celkem bylo nahráno a měřeno  $3 \times 29$  tónů. Tóny byly nahrány na mgf. pásek a potom poslechem hodnoceny. Hodnotitelé byli rozděleni na tři skupiny, v první byli hudebníci — hráči na dechové nástroje, v druhé hudebníci — neinstrumentalisté a třetí skupinu tvořili nehudebníci — technici. Každý z nich individuálně hodnotil charakter nasazení tónu a jeho barvu, stručně slovně popsal a udělil body od 0 do 10. Každá část měření byla hodnocena samostatně. Uvnitř žádné skupiny hodnotitelů se nevyskytly u hodnocení jednoho tónu větší odchylky než 2 body, celkově nedošlo k žádnému zcela rozpornému ohodnocení kvality tónu.

Jako nahrávací a poslechový prostor byla použita místnost o objemu cca  $90 \text{ m}^3$  s pohltivým obložení stěn a se střední dobou dozvuku cca 0,2 s. Měřicí mikrofon Tesla VÚST AMC 331 A o průměru vložky 24 mm byl vzdálen od ústí ozvučnicku klarinetu cca 60 cm, osa mikrofonu svírala s osou klarinetu úhel cca  $110^\circ$ . Dynamika tónu (mezzoforte až forte) byla kontrolována hudebníkem na vestavěném měřidle mikrofonu a udržována v rozmezí cca 3 dB. Nasazení tónu bylo žádáno přirozené, konkrétní. Z měřicího mikrofonu byl signál veden přímo do magnetofonu Studer B 62. Na výstup tohoto magnetofonu byl potom připojen přímo zapisovač jednorázových dějů 7502. Časová kapacita jeho záznamu byla nastavena na 80 ms, skutečná délka zaznamenaného signálu byla kratší. Pro pořízení zápisu oscilogramů tranzientů byl na výstup zapisovače 7502 připojen zapisovač úrovně 2305. Při frekvenční analýze tranzientu (resp. zaznamenaného úseku signálu) byl tranzient v zapisovači 7502 opakován v reálném čase a analyzován filtrem 2020, použitá šířka pásma byla 10 Hz. Stejným způsobem byl analyzován zakmitaný stav tónu. Získaná frekvenční spektra byla překreslena do diskrétního tvaru. Zařazením filtru 2020 mezi magnetofon a zapisovač 7502 bylo umožněno zaznamenat časové průběhy jednotlivých harmonických tranzientů. Filtr 2020 byl postupně

přeladován generátorem 1024 na frekvence jednotlivých harmonických. Spouštěcí signál pro zapisovač 7502 byl vyveden před filtrem 2020 z komplexního signálu, což umožnilo časové zarovnání konců zápisů harmonických a tím zjištění jejich posloupnosti nástupu. Při zápisu sinusových průběhů harmonických, který byl proveden u několika vybraných tónů, byla použita šířka pásma filtru 31,6 Hz. Při zápisu obálek prvních deseti harmonických byla šířka pásma zvětšena na 100 Hz.

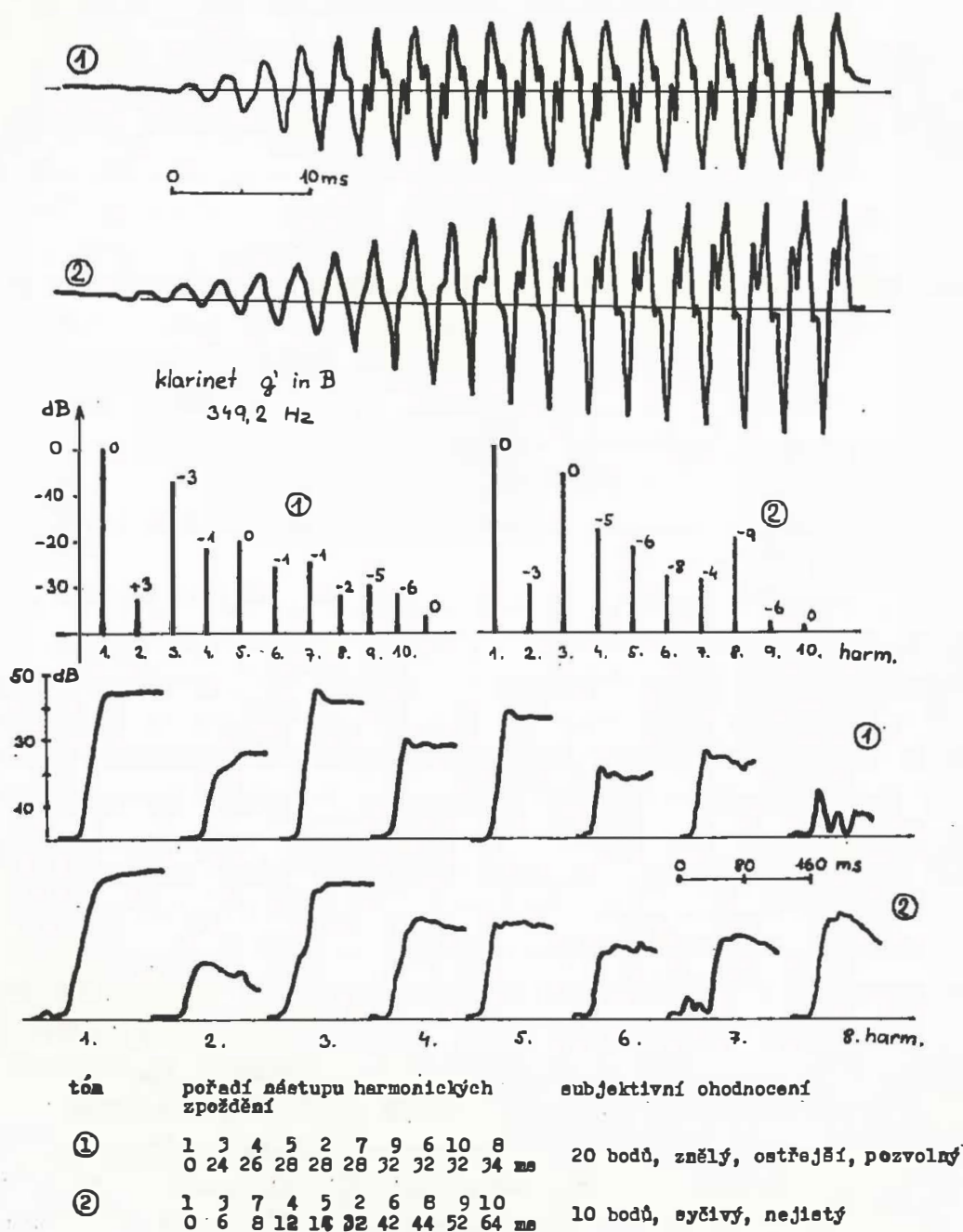
Z oscilogramu tranzientu byla předně odečtena délka trvání tranzientu jako doba od počátku registrace signálu k tvarovému ustálení průběhu. Za tvarově ustálený průběh (zakmitaný) byl považován ten, u kterého tvarové odchylky průběhu následujících period byly menší než 5 % (max. 8 %) amplitudy zakmitaného stavu. Tato definice délky trvání tranzientu se přirozeně liší od definic uváděných Lucem a Clarkem (14) a Melkou (17). Dále byl odečten počet celých period a počet průchodů nulou tranzientu. Z průběhů obálek byla zjištěna posloupnost nástupu harmonických, jejich zpoždění vůči harmonické první v pořadí a časová konstanta náběhu každé harmonické. Dále byly vyneseny frekvenční spektra tranzientu a zakmitaného stavu. Srovnáním naměřených hodnot délky trvání tranzientů v závislosti na sestavě nástroje, hubičky a hráče bylo zjištěno, že délku tranzientu v hlubokém rejstříku určuje zejména hráč ve spojitosti s hubičkou, v klarinovém rejstříku pak zcela výrazně samotná hubička. Úroveň sudých harmonických lze připsat z velké části schopnostem hráče, 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 v klarinovém rejstříku *ztrácí*. Frekvenční spektra zakmitaných stavů vykazaly vůči spektrům tranzientů rozdíly u některých harmonických až o 13 dB. Pokles či vzrůst harmonické do zakmitaného stavu ukázal na souvislost s charakterem nasazení tónu. U tónů hlubokého rejstříku nastupující jednotlivé harmonické v určitých seskupeních, jako první v pořadí většinou nastoupí 1. harm., při ostrém nebo nezvládnutém nasazení 3. nebo 5. harm. Nejdříve nastoupí skupina lichých harmonických (1. až 7.), následuje skupina sudých (2. až 6.) a nakonec ostatní. Ve středním rejstříku se sudé harmonické posouvají na přední místa a v klarinovém rejstříku již pořadí nástupu téměř souhlasí s pořadovými čísly harmonických. Zpoždění nástupu upřesňuje obraz o nasazení a dává současně představu o délce tranzientu; časové konstanty nejsou v přímé souvislosti se zpožděním nebo pořadím harmonické.

Pro srovnání naměřených hodnot s výsledky subjektivního hodnocení byl stanoven základní *předpoklad lichosti spektra*, tj. že každá sudá harmonická je nižší úrovně než sousední lichá. Ukázalo se, že s klesající subjektivní kvalitou tónu stoupá počet převýšení sudých harmonic-

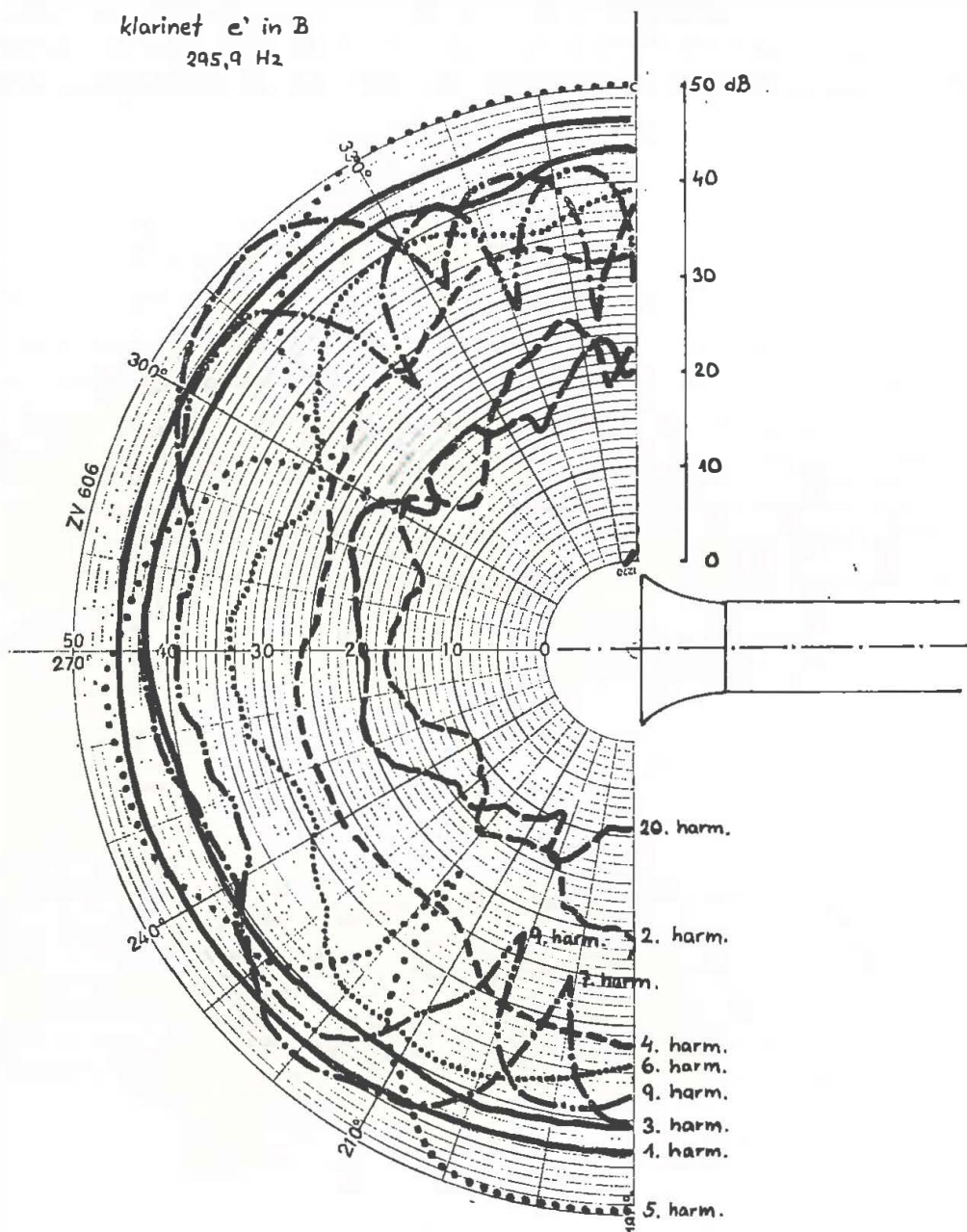
kých nad liché a jejich výskyt se přesouvá k pořadově nižším harmonickým. Tato skutečnost však ztrácí platnost se stoupající tónovou polohou a v klarinovém rejstříku předpoklad lichosti zcela neplatí. Nejúplnější obraz o charakteru tranzientu dávají průběhy obálek jednotlivých harmonických.

Z provedených měření a jejich rozborů by bylo možno vyvodit tyto závěry: Vliv hráče na parametry tónu nástroje se ukázal natolik podstatný, že při nesprávné interpretaci výsledků měření by mohl podstatně



Obr. 13

ztížit jejich zobecnění. Pro hodnocení klarinetu jako výrobní značky zde silně vyvstala potřeba umělého generování tónu (umělých úst). *Kvalitativní standard* lze charakterizovat *tvarům spektra* (ne obsahem jednotlivých harmonických), dále *časovou posloupností nástupu harmonických* s přihlédnutím k jejich *zpožděním a časovým konstantám*. Lichost spektra se ztrácí se stoupající tónovou výškou, úroveň sudých harmonických určuje podstatnou měrou kvalitu tónu. Průběh obálky 1. harm. v hlubokém rejstříku je pozvolnější s řadou nepravidelností a s častým překmitnutím, 2. harm. vykazuje v průběhu značné výkyvy, které pokračují i v zakmitaném stavu. Podobně se chová i 4. harm., další sudé se blíží

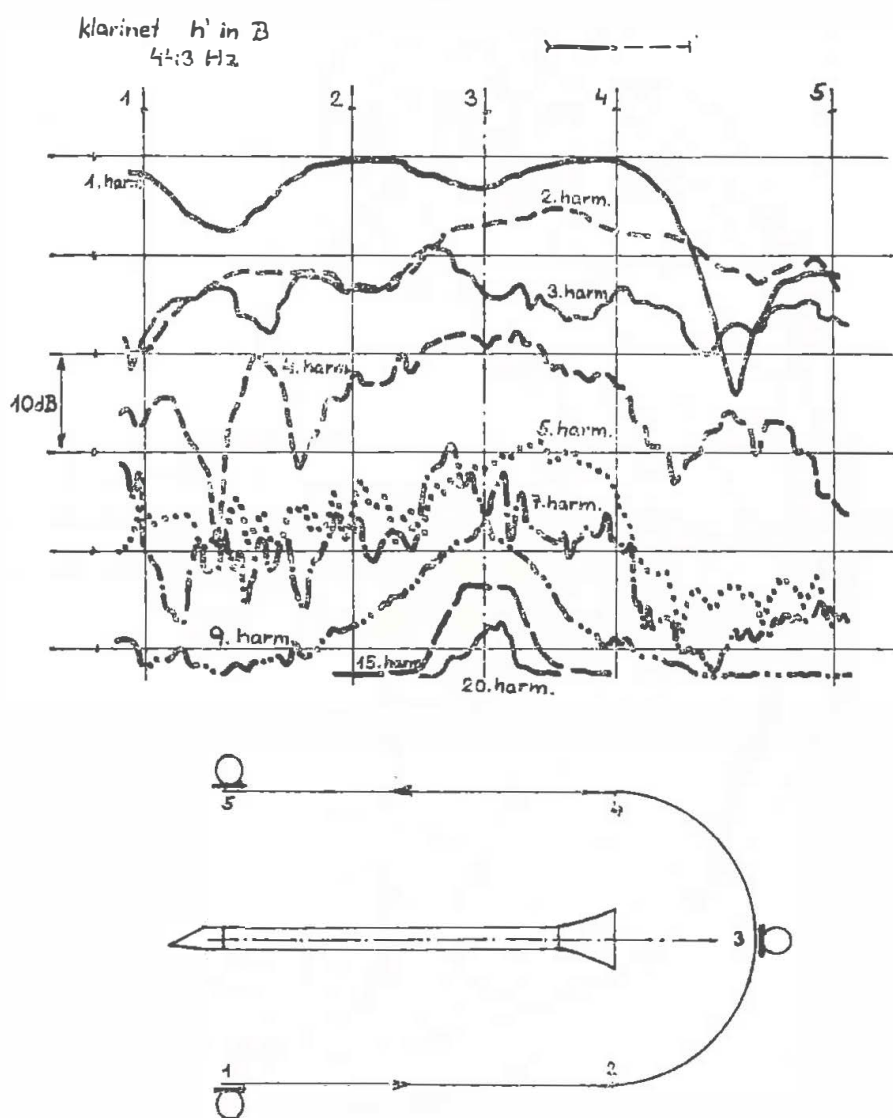


Obr. 14

tvarem obálky lichým. Vyšší liché mají hladší průběh, nepravidelnosti ukazují na nejisté nasazení. Ve středním rejstříku jsou průběhy obálek harmonických jednodušší, častěji se vyskytují ostřejší překmity. V klarinetovém rejstříku mizí rozdíl mezi obálkami lichými a sudých harmonických, zrychlují se náběhy a některé harmonické dostávají impulzivní charakter.

Na obr. 13 jsou uvedeny příklady dvou odlišně hodnocených tónů klarinetu, jejich tranzientů, spekter tranzientů, obálek harmonických a údajů o pořadí a zpoždění nástupu harmonických spolu se subjektivním ohodnocením kvality. U každé spektrální čáry je údaj v dB, který vyjadřuje vzrůst nebo pokles příslušné harmonické ve spektru zakmitaného stavu.

V rámci dalšího výzkumu tónu klarinetu byly měřeny *směrové a dynamické charakteristiky klarinetu*. Na obr. 14 je nakreslena směrová

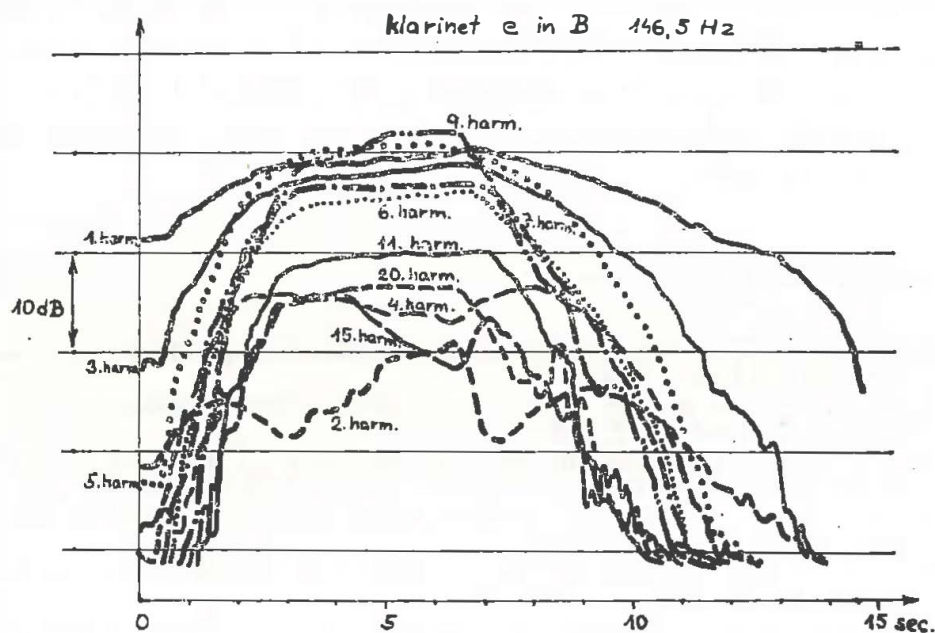


Obr. 15



závislost uvedených harmonických v polárních souřadnicích při generaci tónu umělými ústy (měřeno v mrtvé komoře) ve svislé rovině a vzdálenosti od ústí ozvučnicku 90 cm. Na obr. 15 je příklad netradičního zobrazení směrových charakteristik, získaných pohybem měřícího mikrofону po uvedené dráze o konstantní vzdálenosti od klarinetu 25 cm taktéž ve svislé rovině. Tón v tomto případě byl produkován hráčem a snímán v prostoru, který byl již použit při záznamu tranzientů tónu klarinetu. Plnou čarou nad průběhy harmonických je vyznačena přirozená poloha posluchače vůči nástroji, přerušovanou čarou pak nejčastěji poloha mikrofónu vůči nástroji. Poslechem bylo potom určeno místo subjektivně optimální barvy tónu, které v naprosté většině případů se shodovalo s přirozenou polohou posluchače vůči klarinetu (viz kap. 6).

Příklad dynamické charakteristiky tónu klarinetu je uveden na obr. 16, který je vlastně zobrazením crescenda a decrescenda uvedených harmonických. Průběhy křivek jednotlivých harmonických neudávají jenom informaci o změnách barvy tónu, ale také jsou odrazem změn v ústech hráče. Z průběhu druhé harmonické lze usuzovat na kvalitu uzavření vzduchového sloupce v ústech a tím i na změnu nátisku a chování plátku. Vysoký obsah 2. harmonické ukazuje na povolení nátisku, kdežto nízký obsah souvisí s dokonalejším uzavřením trubice klarinetu v ústech hráče. Je zajímavé, že průběh dalších sudých harmonických nemusí být totožný tvarově s průběhem druhé, což může souviset nejenom se složitými poměry v ústech hráče, ale i s fázovými vztahy mezi jednotlivými harmonickými. Uvedené směrové a dynamické charakteristiky jsou předmětem dalšího výzkumu, který předchází připravované podrobnější analýze tónu klarinetu a jiných



Obr. 16

dechových nástrojů, která má za cíl připravit základní podklady a prověřit možnosti stanovení nových kritérií pro objektivní hodnocení kvality přirozených hudebních signálů.

Závěrem by bylo vhodné zmínit se ještě jednou o problému, který není jenom problémem hudební akustiky, ale akustiky jako takové vůbec. Je to problém, který dosud nebyl objasněn a který má právě pro objektivní hodnocení kvality přirozených hudebních signálů nesmírný význam. Jde o otázku, co a jak vlastně slyšíme. Z hlediska hudební akustiky se potom jedná o poznatelnost a rozlišitelnost barvy zvuku jako projevu jeho jedinečnosti. Rozlišení tónů různých hudebních nástrojů dané zkušeností civilizace je víceméně jen formálním přiřazením pojmů, ale v čem tkví podstata slyšení barvy? Je možno vůbec proces slyšení ztotožňovat s analýzou vycházející z matematické abstrakce a realizovanou možnostmi současné měřicí techniky? V čem je lidské ucho dokonalejší a v čem jednodušší než kterýkoliv analyzátor? Fyziologie sluchového orgánu nedovede zatím uspokojivě odpovědět na tyto otázky, jejichž ideálním řešením by bylo sestavení dokonalého modelu sluchového analyzátoru. Vedle tohoto problémů existuje přirozeně celá řada dalších otázek, které nebyly dosud v hudební akustice zodpovězeny a které úzce souvisejí s objektivním hodnocením kvality. Jsou to např. otázky skutečné platnosti Schumannových zákonů o barvě zvuku, otázky teorie vzniků tónu u hudebních nástrojů, otázky terminologie a řada dalších.

Uvedený rozbor problematiky objektivního hodnocení kvality přirozených hudebních signálů není možno považovat za zcela vyčerpávající, přesto však je to pokus o ucelený pohled na základní okruhy problémů objektivního hodnocení a náznak jejich řešení.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedení hudební fakulty za velkou podporu výzkumu v hudební akustice a katedře dechových nástrojů za nevšední zájem a plodnou spolupráci. V poslední řadě bych chtěl též poděkovat všem, kteří radou a pomocí se na tomto výzkumu podíleli a budou i nadále podílet.

#### *Seznam použité literatury a pramenů:*

1. Backhaus H., Über die Bedeutung der Ausgleichvorgänge in der Akustik, Zft. für techn. Phys. 13 1932 31.
2. Backus J., Studies of the Vibrations of Clar. Reeds, Dokument. střed. ČSHN Hradec Králové ev. č. 687.
3. Bariaux D. aj., A Method for Spectral Analysis ... Acustica 32 1975 307—313.
4. Bolt R. H., Wanted the Formant dead or alive, JASA 20 1948 66.
5. Bláha M., Lébl V., Některé metodologické problémy spektrografie, Hudební věda 1972 č. 2, str. 163—167.
6. Bláha M., Lébl V., Objektivní a subjektivní problematika zvukové barvy, Hudební věda 1974 č. 3, str. 212—249.
7. Freedman M. D., A Method for Analyzing Musical Tones, Journ. Audio. Eng. Soc. 16 1968 419—425.

8. Freedman M. D., Analysis of Musical Instrument Tones, JASA 41 1967 793—806.
9. Ghosh R. N., Theory of the Clarinet, JASA 9 1938 255.
10. Grey J. M., An Exploration of Musical Timbre Stanford University, Report No. STAN-M-2 1975.
11. Hojan E., Subjektive Timbre Assessment for Some Musical Instruments ... Sborník 9. akust. konf. 1971.
12. Irman K. aj., Stavba hudebních nástrojů, SPN 1968.
13. Korn T. S., Theory of Audio Informations, Acustica 22 1969 336.
14. Luce D., Clark M., Durations of Attack Transients of Nonpercussive Orch. Instr., JASA 13 1965 194.
15. Luce D., Clark M., Physical Correlates of Brass-Instrument Tones, JASA 42 1967 1232—1243.
16. Luce D., Dynamic Spectrum Changes of Orchestral Instruments, J. Audio Eng. Soc. 23, No. 7, 565—568, 1975.
17. Melka A., Příspěvek k objasnění psychoakustického významu zkreslení tranzientů... kand. práce 1972.
18. Melka A., Über die Auswahl von Testpersonen für die subjektive Beurteilung der Übertragungsqualität, Sborník 14. akust. konf. 1976.
19. Merhaut J. a kol., Příručka elektroakustiky, SNTL Praha 1964.
20. Merhaut J., Základy fyziologické akustiky a teorie přirozených akustik signálů, skripta ČVUT 1972.
21. Meyer J., Akustik der Holzblasinstrumente in Einzeldarstellungen, das Musikinstrument Frankfurt am Main 1966.
22. Meyer J., Akustik und musikalische Aufführungspraxis, das Musikinstrument Frankfurt am Main 1975.
23. Meyer J., Die Deutung von Klangspektren, Das Musikinstrument 1963 XII 9 689—695, Frankfurt am Main.
24. Meyer J., Die Problematik der Qualitätsbestimmung bei Musikinstrumenten, Sborník 14. akust. konf. 1976.
25. Meyer E., Buchmann G., Die Klangspektren der Musikinstrumente, Berliner Berichte 32 1931 497, 735.
26. Mertens P. H., Die Schumannschen Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für Übertragung von Sprache und Musik, Bochinsky, Frankfurt am Main 1975.
27. Modr A., Hudební nástroje, SNKLHU Praha 1954.
28. Olson H. F., Musical Engineering, McGraw Hill New York 1952.
29. Parker S. E., Analyses of Tones of Wooden and Metal Clarinets, JASA 1947 19 415—419.
30. Richardson E. G., The Transient Tones of Wind Instruments, JASA 26 1954 960—962.
31. Risset J. C., Mathews M. V., Analysis of Musical Instrument Tones, Physics Today 22 1969 No. 2 960—962.
32. Saunders F. A., Analyses of the Tones of a Few Wind Instruments, JASA 19 1946 395—401.
33. Slavík J. B. a kol., Základy fyziky I., NČSAV Praha 1961.
34. Syrový V., Analýza tranzientu tónu klarinetu a subjektivní vjem jeho kvality, Sborník 14. akust. konf. 1976.
35. Syrový V., Tranzient tónu klarinetu (jeho analýza), Hudební nástroje 1977 č. 1 14—17.
36. Špelda A., Směrové charakteristiky klarinetu, Hudba a zvuk 1970 č. 2 62—64.
37. Špelda A., Úvod do akustiky pro hudebníky, SNKLHU Praha 1958.
38. Špelda A., Burghauser J., Akustické základy orchestrace, Panton Praha 1967.
39. Těplov B. M., Psychologie hudebních schopností, SHV Praha 1965.
40. Weyer R. D., Time-Varying Amplitude-Frequency-Structures in the Attack Transients of Piano and Harpsichord Sounds Acustica 35 1976 232—252, 36 1976 241—258.
41. McGinnis C. S. a j., An Experimental Study of the Tone Quality of the Boehm Clarinet, JASA 14 1943 228—237.