

Univerzita Karlova v Praze
Fakulta humanitních studií

Vnímání drsnosti zvuku vyvolané nepravidelným kmitáním struny houslí
Bakalářská práce

Jan Otčenášek

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jana Kružíková, Ph.D.

Praha 2013

Poděkování

Chtěl bych zejména poděkovat Mgr. Janě Kružikové, Ph.D. za její pečlivé a trpělivé vedení, všem pracovníkům Výzkumného centra hudební akustiky MARC HAMU za jejich odborné vedení a celé své rodině.

Obsah

1. Úvod do výzkumné problematiky	1
Shrnutí zásadních výsledků této práce	2
2. Teoretická část	4
Subjektivní vnímání zvuku, subjektivní atributy, subjektivní charakteristiky	4
Drsnost	7
Multidimenzionální povaha drsnosti	11
Housle	14
Párové srovnávání	19
3. Empirická část	19
Formulace výzkumného problému	19
Průběh experimentu	21
Analytické postupy	26
4. Zpracování výsledků	28
Deskriptivní statistika individuálních dat	28
Slovní popis vnímaných vlastností zvuků	34
Analýza příčin drsnosti z pohybu struny	37
5. Zhodnocení práce	41
Literatura	42

Výzkumná oblast: psychologické studium zaměřené na sluchové vnímání

Výzkumné téma: subjektivní vjem drsnosti zvuku

Výzkumný problém: vnímání rozdílnosti drsnosti tónu houslí a souvislost s jevy na struně houslí

Jak vyplývá z názvu práce, tématem tohoto výzkumného projektu je příspěvek k doplnění psychologických poznatků o subjektivním vnímání nepříjemně drsného zvuku a k upřesnění teoretických modelů, které drsnost zvuku vysvětlují. Vzhledem k šíři dané problematiky bylo téma zúženo na vnímání drsnosti zvuku při poslechu tónu houslí a experiment se omezil na ty druhy drsnosti tónu, které lze proměňovat různým přitlakem smyčce a polohou smyčce vůči kobylce.

1. Úvod do výzkumné problematiky

Každý slyšící člověk je ve svém každodenním životě vystaven působení zvuků. Tyto zvuky produkuje okolní prostředí, ale každý člověk je zároveň často také aktivním původcem vzniku celé řady různých druhů zvuků. Sluchové vjemy, spolu s vjemy z ostatních smyslů (viz sensorické procesy Atkinson 2003), jsou pro člověka zdrojem informací, které přímo ovlivňují chování člověka nebo jsou jednou z příčin psychického stavu jedince. Působení zvuku na člověka prostřednictvím sluchového vjemu nabývá široké spektrum různých podob. Od prvotní úlohy vyvolat život zachraňující reakce (týkající se i všech dalších smyslů), přes komunikační a informační působení (které též souvisí s abstraktním myšlením) až po působení estetické. Estetické působení má u člověka své specifické umělecké užití (zejména v hudbě či filmu, ale i v řečových projevech, např. v divadelním umění). Sluchové vjemy mimo jiné též zprostředkovávají mezi subjekty přenos emocí akustickou cestou (vyvolání strachu pomocí drsně pronesené věty, úzkostný stav mluvčího zprostředkovaný úzkým či kolísavým hlasem, veselost vyvolaná hlasem světlým a lesklým apod. viz výuka na divadelních školách, např. Hlasová výchova v učebnici Foniatrie (Dršata a Chorobok 2010). Emoční účinek mají i obecné zvuky (např. strach při rachotu hromu či hučení peřejí dravé řeky). Při subjektivním vnímání zvuků (i bez zaměření se na složitější emoční prožitky) jedinec rozeznává příjemnost či nepříjemnost nějakého konkrétního akustického podnětu.

Zatímco psychický stav jedince lze zkoumat i bez přímé vazby na okolní prostředí, v případě sluchových vjemů nebo jejich projevů je nutné se zabývat i vlastnostmi zvukových podnětů, které je vyvolaly. V moderních studiích sluchových vjemů jsou proto psychologické experimenty již od jejich počátků (Stumpf 1883) nerozlučně propojeny s výsledky dalších oborů: akustika (Hemholtz 1863; Ohm 1944), fyziologie (Bekesy 1960), matematická statistika (Thurstone 1947), experimentální psychologie (Guilford 1954), neurofyziologie (Syka, Voldřich, Vrabec 1981). Psychologické výzkumy tohoto typu jsou proto řazeny do podoboru pro něž se postupně ujal název psychoakustika (Fastl a Zwicker 1990).

Zvuky při psychoakustických experimentech jsou akustickými podněty, kterými jsou v posluchačích – respondentech poslechových testů vyvolávány subjektivní sluchové vjemy. Při experimentech mají podněty záměrně vlastností, kterými se od sebe vhodně odlišují. Tyto vlastnosti podnětů lze charakterizovat pomocí hodnot fyzikálních veličin. Výzkum vnímání (percepce) se pak zaměřuje na jednotlivé primární vjemy (někdy též nazývané počítky), které se v procesu vnímání integrálně spojují do celistvého vjemu (Atkinson 2003).

Vlastnosti celistvých subjektivních vjemů pak lze charakterizovat pomocí míry subjektivních veličin (primárních sluchových vjemů). Přestože jejich výzkum v současnosti ještě zdaleka není

ukončen, mezi základní (dimenzionální) veličiny je zařazována i drsnost (vedle hlasitosti, výšky, doby trvání) (MELKA 2005).

Veličina drsnost byla zavedena k přesnější charakterizaci do té doby používané multi-dimenzionální veličiny barva zvuku (sound color, v hudbě též timbre). Při rychlejším kolísání zvuku, tj. časových změnách jeho fyzikálních vlastností rychlejších než asi 20 Hz (period za vteřinu), člověk vnímá charakter zvuku jako drsný. Protože kolísání zvuku může způsobovat celá řada fyzikálních veličin, současná psychoakustická literatura uvažuje drsnost též za multi-dimenzionální (Tsai 2004) a zabývá se hypotézami pro další dělení takto vnímané vlastnosti. Teoretická zdůvodnění a modely jsou v současné době ověřovány a jedním z cílů této práce je přispět k tomuto ověření.

Příčinami kolísání a nepravidelností zvuku houslí (tzn. příčinami drsnosti) se z fyzikálního hlediska zabývaly již práce v 80. letech minulého století (souhrnně McIntire 1979). Z těchto prací vyplývá, že síla přítlaku, rychlost pohybu a poloha smyčce různými způsoby ovlivňují nepravidelnosti a kolísání kmitání struny. Tyto souvislosti byly identifikovány při snímání pohybu smyčce v určitém bodě pomocí fotodiody. Od té doby technika značně pokročila a pohyby struny je možné snímat současně v mnoha bodech vysokorychlostní kamerou.

Časový průběh akustického tlaku vyzářeného zdrojem zvuku a zaznamenaného např. pomocí mikrofону lze využít k poslechovým testům (ucho není citlivé na fázové poměry (Sedláček 1956). Ale protože se fázové poměry jednotlivých spektrálních složek komplexního zvuku proměňují podle vzdálenosti zdroj zvuku – mikrofón, se změnou vzdálenosti se proměňuje i tvar časového průběhu. K charakterizování vlastností zvuku, které nejsou spojeny s časovými změnami (např. subjektivní veličiny tmavost – světlost (Štěpánek, Melka, Otčenášek 1995) je používána spektrální analýza, při které se rozdílnost fáze složek neprojeví. Pro její výpočet však musí být použit dostatečně dlouhý časový interval (časové okno), ve kterém jsou časové změny amplitud spektrálních složek vyrušeny a nahrazeny jejich průměrnými hodnotami (Kadlec 1996). Fyzikálně charakterizovat různé druhy časových změn způsobujících vnímanou drsnost pomocí spektra (i časového vývoje spekter) je tedy nemožné a pomocí samotného časového průběhu akustického tlaku velmi problematické. Z těchto důvodů je cílem práce též ověřit charakterizaci časových změn pomocí autokorelační funkce zaznamenaných časových průběhů pohybu struny a kobyly získané ze záznamů vysokorychlostní kamerou.

Shrnutí zásadních výsledků této práce

Hlavní přínos této práce:

V této práci jsem se snažil přispět k ověření předpokladu Tsai (2004) a dalších prací uvedených v teoretické sekci, ze kterých vyplývá, že by bylo možné metodou popisných charakteristik v oblasti vnímané barvy zvuku rozlišit více podob drsnosti. Experiment se omezil na možné podoby drsnosti tónu houslí v souvislosti s změnou parametrů drsnosti zvuku houslí. Houslové tóny použité v této práci byly popsány slovními atributy **Na použitých houslových tónech byly nalezeny deskriptory: hrubost, řezavost, křapavost, bzučivost, šumivost**). **Percepční prostory různě drsných zvuků byly vícerozměrné**

Práce také splnila následující cíle:

1. Cíl: Přispět k ověření existujících psychologických modelů. Pomocí **hypotézy subjektů** práce potvrdila v oblasti vnímání drsnosti model stability percepčních prostorů vyjádřený McAdams (1999), který předpokládá stálost percepčních

prostorů, ale jejich odlišnost v závislosti na odlišných posuzováních stylech různých skupin posluchačů. Práce ověřila stabilitu těchto poslechových skupin a jejich příslušnost do posluchačské skupiny byla dána do souvislosti s odlišnými styly vnímání a různou citlivostí škál při posuzování (odpovědi posluchačů poslechových testů spolu statisticky významně korelovaly, ale dimenzionalita percepčních prostorů *laiků* se lišila od *expertů*). Toto dále podporuje zjištění uvedená v hlavním přínosu této práce o vícerozměrnosti vnímané drsnosti. Vícerozměrnosti drsnosti potvrdila zejména interpretace percepčního prostoru skupiny expertů

2. Cíl: Ověření charakterizace časových změn fyzikálního pohybu struny

Pomocí formulované **hypotézy příčinnosti** práce zamítla možnost použití hodnoty prvního maxima autokorelační funkce (Fujii, Atagi, Ando (2001) k predikci míry vnímané drsnosti u aperiodického kmitání struny (k vyjádření časových změn v relativním pohybu struny zaznamenaném vysokorychlostní kamerou pomocí autokorelační funkce). Tento způsob neumožnil rozlišit méně drsné zvuky mezi sebou. Toto také poukázalo na hlubší kvalitativní podstatu příčin těchto drsností.

3. Cíl: Poskytnout podklady pro navazující výzkumné práce

Jak uskutečněné poslechové testy, tak záznamy vysokorychlostní kamerou realizované v této práci **poskytly celou řadu dalších dat**, v této práci doposud nezpracovaných, která problematiku mohou dále upřesňovat a doplňovat v navazujících výzkumech (výsledky z preferenčních matic, slovní popisy sluchových vjemů z párového srovnávání, průběhy pohybu struny v dalších místech).

2. Teoretická část

Subjektivní vnímání zvuku, subjektivní atributy, subjektivní charakteristiky

Zvuk lze v psychologické oblasti popsat pomocí odlišných charakteristik, které dělí fenomén vnímání zvuku do čtyř oblastí. Je to *hlasitost, výška, doba trvání a téžbr*. Tyto vlastnosti se odvíjejí, a vzájemně ovlivňují, byť různou měrou, od fyzických veličin zvuku jako akustický tlak, frekvence, spektrum či spektrální obálka, délka trvání. V rámci těchto kategorií lze mluvit o vnímání subjektivních kvalitativních vjemů. V akustice je také nutné rozlišovat mezi tónem a hlukem. U obou sice můžeme rozlišit uvedené vlastnosti, jako výška (v případě tonálního hluku), či mluvit o rozložení spektra, princip jejich vnímání a modely s nimi spojené jsou však odlišné (např. Ando (2009)). Při popisu vlastností zvuku používáme popis pomocí popisných charakteristik, kvalit. Popisné kvality mohou záviset např. na frekvenci (světlý zvuk u vysokých frekvencí a temný zvuk u nízkých). Proces vnímání zvuku se také vyznačuje mnoha nelinearitami, způsobenými fyziologickými vlastnostmi sluchového aparátu a psychobiologickou povahou kódování vstupních informací (např. u stejného tónu vnímáme odlišnou barvu, při různé hlasitosti (Rossing 2002)) a tyto kvality nejsou přímými protějšky fyzikálních dějů.

Percepce

Vnímání (percepce) zvuku: Je neuronální a kognitivní proces, který integruje jednotlivé primární vjemy (někdy též označované jako počítky) vytvořené zpracováním primárních neuronálních informací ze sluchového nervu, do celkového sluchového vjemu (percept) (Atkinson 2003). Probíhá zejména ve vyšších patrech nervové soustavy. Je též závislé na předchozí zkušenosti (paměťové stopě), na podmiňování, asociacích a na nevědomých kognitivních a afektivních operacích. Percepce zvuku mimo jiné umožňuje konkrétní posouzení slyšených zvuků, určení prostorového umístění zdroje zvuku, odlišení různých zvukových podnětů (zvukových objektů), porozumění jazyku a jemným detailům výslovnosti, vyvolává emoční působení, apod.

Percepční prostor

Zvuky, které vůči sobě vnímáme v určitém kontextu můžeme studovat za použití percepčních prostorů. Percepční prostor barvy zvuku můžeme vytvářet v případě, že je dodržena konstantnost ostatních veličin. Percepční prostory jsou poměrně stabilní (McAdams 1999). Různé skupiny posluchačů ale mohou mít odlišné *styly* vnímání, které jsou obvykle spojeny s odlišnými *posluchačskými strategiemi*. Percepční prostor, je při posuzování různých tónů stálý a nezávislý na kontextu posuzovaných zvuků (McAdams 1999). Proměnu v kontextu McAdams vysvětluje tak, že se mění zaměření posluchače na jednotlivé vlastnosti (*rozdílová citlivost*). McAdams uvádí, že proměnlivost vnímání při posuzování tónu je zřejmě spíše projevem změny citlivosti škál při posuzování, nikoliv samotnými změnami vnímání, a jedná se o posun *posuzovacích škál*.

Lidský sluchový aparát

Hlavním orgánem, který slouží překódování fyzikálních informací do nervových vzruchů, je kochlea uvnitř vnitřního lidského ucha. Tvoří jí spirální trubice a kostěná lišta, na kterou jsou upnuty membrány (basilární a Reisnerova). Na basilární membráně se nachází převodní část

sluchového ústrojí, *Cortiho orgán*, ve kterém se nachází vnitřní a vnější vláskové buňky. Jejich vlásky stimulují *pohyby bazilární membrány*, resp. kapaliny uvnitř hlemýždě. Základní analýza zvuku rozkmitáním membrány v různých polohách je doplněna časovou analýzou intervalů shluků vzruchů více vláken. Lidský sluchový aparát funguje v rámci frekvenčního rozsahu 20 – 20000 Hz.

Zpracování zvuku probíhá již na cestě do sluchového centra. V současné době je rozšířen modulární přístup k zpracovávání informací uvnitř sluchového centra (např. Peretz a Coltheart 2003 či McAdams Bigand 1993). Lidské centrum sluchu se nachází v prostřední části Heschelových závitů a uvnitř laterální rýhy koncového mozku. Sluchové informace zpracovávají systémy již na vzestupné sluchové cestě (ascending auditory pathway) ke sluchovému centru (ranné zpracování na několika ranných úrovních neuronálních sítích sluchového nervu a thalamu). To dovoluje rychlou odezvu na základní atributy zvuku a rychlou reakci na signály nebezpečí (Koelsch 2005). I na dalších úrovních existuje hierarchie ke stále větší komplexnosti informací, které zpracovávají, a zároveň tvoří funkčně i prostorově oddělená centra (Warren 2008). Autonomii jednotlivých neurálních center (např. *výšky, tónu*) uvádí i (Stewart et al. 2006). Poté dochází k extrakci složitějších vlastností zvuku, např. chromatického zbarvení výšky, intenzity, nebo drsnosti dochází na další úrovni extrakci (Koelsch 2005). Tyto extrahované vlastnosti jsou uloženy do poslechové paměti a utváří se zde jejich reprezentace (*Idib.*). Základní centrum sluchu obklopují vyšší mozkové oblasti v temenních, spánkových a frontálních lalocích (*asociativní oblasti*). Vlastností komplexních zvuků (např. rozpoznávání struktury tónu nebo hlásek) se zpracovávají v oblasti horní plochy spánkového laloku (Warren 2008). Složitější vzorce sluchových informací (např. melodie) jsou analyzovány v oblasti horních spánkových závitů.

Pro výzkumy psychologických korelátů percepce tónu jsou podstatné studie pacientů s lézemi (Koelsch 2005) a amusických pacientů (vada schopnosti poslechu hudby). Pacienti např. nemohou rozlišit jednotlivé nástroje a hudbu často popisují jako *plohou* nebo *mechanickou*. (Warren 2008). Vada ve schopnosti vnímat tón je často spojena s neschopností rozpoznávat výšku tónu. *Distimbrie* většinou nastává při poškození horního spánkového závitu (zde se nachází primární sluchová centra). Neurologický pohled na tyto mozkové sítě podrobněji představuje například výzkum (Alluri et al. 2011)

I v oblasti emoční odezvy na sluchové podněty lze pozorovat hierarchii zpracování, která může být podobná hierarchii ve zpracovávání ostatních sluchových informací. U dissonantních zvuků je např. velká míra shody posluchačů u *nepříjemnosti* (unpleasantness), zatímco komplexnější odezvy (jako např. mrazení v zádech) jsou často zcela individuální (Stewart et al. 2006). Tuto hierarchii uvádí také jiné studie.

Barva zvuku

Barva zvuku je jednou z vlastností zvuku, kterou rozlišujeme při jeho percepci. Dle definice se jedná o *atribut sluchového vnímání, podle kterého je posluchač schopen rozlišit 2 zvuky jako nepodobné, aniž by přitom použil kritéria výšky tónu, hlasitosti a doby trvání* (Pratt a Doak 1975 s. 317). Termín barva zvuku a tón (slovo francouzského původu užívané v hudební praxi od počátku 19 století) tvoří pro tyto účely synonyma. Barva je podstatnou percepční vlastností komplexních zvuků, byť i jednoduché zvuky mohou mít barvu (Helmholtz 1863). Vnímání barvy zvuku umožňuje posluchači podrobněji rozpoznávat zvuky a tak například rozumět řeči, poslouchat hudbu a rozpoznávat percepční vzorce (o důležitosti vjemu barvy zvuku svědčí např. neurologické a klinické studie s pacienty s amuzickou poruchou (Stewart et al. 2006) nebo výzkumy dávající do souvislosti tón a emoční prožitky při poslechu zvuku, případně hudby (Hailstone et al. 2009; Eerola, Ferer, Alluri 2012). Výzkum v oblasti barvy zvuku je relevantní

pro celou řadu oblastí zvukového a průmyslového designu, prostorové akustiky, problematiky hlukové zátěže, techniky stavby hudebních nástrojů apod. Tato práce svými přesahy může být využita v každé z těchto oblastí subjektivního posuzování zvukové kvality výrobku.

Barvu zvuku není možné vyjádřit na jedné škále (na rozdíl od např. hlasitosti) a je mnohorozměrnou veličinou. Melka uvádí, že je možné spíše určit "*co barva zvuku není, než co je*" (Melka 2005, str. 243), že podle určitých přístupů může být samotný koncept oddělení hlasitosti, barvy a výšky částečně uměle vytvořeným rozlišením a že i výška a hlasitost mohou být jen součástí obecného vjemu barva zvuku. Obvykle ale převládá názor, že vnímání barvy lze považovat za oddělenou část vnímání, k vnímání výšky, či hlasitosti a doby trvání (Srov. Syrový 2003; Rossing 2002).

Základní souvislosti vnímání barvy lze vysvětlit, pokud ucho přirovnáme k frekvenčnímu analyzátoru, který provádí analýzu *struktury* (témbru) spolu s analýzou *amplitudy* (hlasitosti) a *frekvence* (výšky) (Hemholtz 1863). Barvu určuje konkrétní poměr jednotlivých harmonických složek tónu a odděluje vnímání barvy jednoduchých a komplexních tónů. Hemholtzova teorie frekvenční analýzy vysvětluje principy vnímání barvy zvuku a vnímání vlastností barvy u jednoduchých i u některých komplexních tónů. Výšku komplexního tónu určuje prvních pět harmonických složek (tuto teorii ve větší podrobnosti rozpracovali např. (Rasch a Plomp 1999)) a další harmonické pak vnímáme jen jako barvu tónu. Jednotlivé harmonické mají značnou korelaci s vnímáním kvality daného tónu, což pak vystihuje model formantových oblastí: Barvu určují prominentní harmonické, které vnímáme uvnitř formantových oblastí.

Poznámka: V anglicky psané literatuře je často používán pojem kvalita zvuku (*sound quality*) ve stejném významu jako barva zvuku, a shrnuje kvalitativní vlastnosti zvuku, avšak s českým významem slova kvalitní nemá spojitost. V této práci jej pro záměnu nepoužívám

Vnímání témbru je podkladem pro lidskou schopnost rozpoznávat emoční a významovou částí zvuku. I krátký, jednoduchý zvuk může znít například "*jasně*", "*drsně*", "*tupě*". Již "*základní tóny samy o sobě mohou přenášet smysluplnou informaci*" (Koelsch 2005, str. 579).

Výzkum v oblasti popisných charakteristik barvy zvuku

Melka uvádí, že "*barva zvuku je patrně nejsložitější, nejvíce zkoumanou a nejméně probádanou veličinou ze všech základních sluchových vjemových veličin*" (Melka 2005, str. 243) Výzkum základních dimenzí barvy zvuku je poměrně početný. V českém jazykovém prostředí se zaměřil na výzkum popisných charakteristik a škál barvy zvuku zejména Štěpánek (Štěpánek 2004), v anglickém prostředí pak např. (McAdams 1999, Caclin et al. 2005). Autoři (Štěpánek a Moravec 2005, Otčenášek 1997) dospěli např. k obecným dimenzím společného percepčního prostoru barvy hudebního zvuku: *temný, tmavý – jasný, světlý. drsný, hrubý – jemný, plný, široký – úzký*. Nejvýraznějším rozměrem barvy zvuku je téměř ve všech studiích ostrost (Bismarck 1974). Ostrost je spojena s vnímáním drsnosti zvuku a dalšími popisnými charakteristikami (např. kovový či napjatý). Vypovídá též o rozložení energie a úzkosti spektra tónu (Štěpánek, Otčenášek 2001).

Barvu lze dát do souvislosti se spektrálními charakteristikami vyzářeného zvuku. U *úzkosti* se například ukázala silná závislost s amplitudou první harmonické složky. V dalších studiích na směrové vyzářování houslí se ukázaly jako relevantní pro posouzení zvuku houslí *bzučivost* a *lesk*, které jsou zároveň teoreticky podstatné i z hlediska této práce. Bzučivost a lesk je závislá na spektrální podobě signálu, oba faktory vycházejí ze stejného fyzikálního faktoru a v závislosti na přesné spektrální podobě jsou vnímány odlišně. V souvislosti s touto prací je relevantní také popisná charakteristika *šustivost*. Šustivost může být zřejmě v závislosti na své

spektrální charakteristice vystižena přídavnými slovy *pískový, syčivý, zaprášený* či *žíně* a souvisí značně s vnímanou mírou nekvality nástroje (viz studie (Štěpánek, Otčenášek 2001)). *Žíně, písek* či *šustivost*, spolu s odkazem na výzkum Štěpánka, zmiňuje i Tsai (2004) jako jednu z možných podob drsností, které mohou souviset s vjemem subharmonických složek a *mechanismem poslechového seskupování*, jako jedna z podob subharmonicky vnímané drsnosti. Ve studii Štěpánka a Otčenáška (1999) byly tyto popisné charakteristiky identifikovány u vysokého tónu d^3 houslí. McAdams (1994) uvádí v návaznosti na poznatky podobných studií některé unifikované dimenzionality.

Tato práce se soustředí na dimenzi barvy zvuku drsnost, kterou lze vnímat při poslechu zvuku houslí a je předpokládána její souvislost s konkrétními aperiodickými fenomény na zdroji zvuku.

Objektivní charakteristiky barvy zvuku

Některé skupiny výzkumníků se snaží vyjádřit kvality zvuku popisem jednotlivých dimenzí jejich spektra (např. popis pomocí spektrálního centroidu, jehož frekvenční poloha je dána rozdílem v úrovni spektrálních složek v oblasti vysokých a nízkých frekvencí (Caclin et al 2005)). Jako další jsou používány *jemnost spektra* (spectral smoothness) nebo *hrubost* (spectral flux), který vyjadřuje míru proměn spektra v čase mezi jednotlivými jeho částmi. (Caclin et al 2005; McAdams 1999). Caclin považuje uvedené veličiny za jednotné charakteristiky barvy zvuku a uvádí, že tyto parametry vystihují hlavní předpoklady výsledné podoby vnímaného zvuku pro většinu případů syntetických i reálných zvuků. Tyto studie jsou obvykle příliš obecné a jemné rozlišení zvláště hudebních zvuků je pomocí těchto charakteristik je obtížné.

Barva zvuku houslí

Tato práce vychází z výzkumu popisných charakteristik tónu houslí Štěpánka a Otčenáška (2001) a Claudia Fritz et al (2012) v rámci kterých proběhl výzkum na konkrétní oblasti vnímání barvy zvuku houslí.

Rozsáhlou analýzu verbální percepčních prostorů barvy zvuku houslí na základě deskriptorů bez doprovodných stimulů provedla Fritz et al. (2012). Tento prostor obsahuje polaritu *kovový* (metallic), *hrubý* (harsh) a *nevyvážený* (unballanced), které na svém druhém pólu obsahoval deskriptory *sladký* (mellow), *warm* (teplý) a *vyvážený* (ballanced) a polaritu *tupý, tlumený* (dull – muted) a *jasný, živý* (bright – responsive). Méně vyhraněná polarita se také ukázala u zvuků *weak, clear, light - harsh, heavy, dark*. Podstatnou dimenzí v těchto výzkumech, stejně jako ve výzkumech hlasu, se jeví drsnost. Vnímání drsnosti má podle těchto výzkumů značný vliv na posuzování kvality obecných i hudebních zvuků. Fritz et al (2012) uvádí, že nacházená synonyma a antonyma neodpovídají výsledkům, které bychom mohli očekávat na jazykové bázi, a usuzuje na hlubší podstatu za nimi ukrytých procesů vnímání. Housle jsou pro výzkum barvy zvuku vhodný nástroj. Z výsledků Fritz (2012) vyplývá, že hráči slova k popisu tónů houslí používali koherentně a vykazovali vysokou shodu, která není pravidlem u jiných nástrojů (Např. Lemaitre 2007). Uvedené výsledky jsou v souladu s výsledky Otčenáška a Štěpánka (2001).

Drsnost

Drsnost je jednou z psychoakustických dimenzí barvy zvuku. Vjem drsnosti vyjadřuje změny v časové struktuře zvukového signálu a drsnost odpovídá jeho změnám v časové ose. Pokud jsou změny kratší než 30 ms., přestáváme je vnímat jako jednotlivé děje a vnímáme je jako drsnost.

Drsnost vzniká u periodických i neperiodických signálů (Fastl 2005). V psychoakustice zavedl pojem poslechové drsnosti Hemholtz (1883), který tak popisuje bzučivé, drsné a skřípavé vlastnosti zvuku, zejména v jinak harmonických blízkých intervalech (Hemholtz 1886; Vassilakis 2010; Plomp 1965). Drsnost je také popisována jako chvění, tlukot, vrčení (Plomp 1999) nebo bzučení, chraptění, skřípání. Melka (2005)

Obvykle chápaná drsnost vyvolaná sledem periodických impulzů závisí na jejich modulaci a frekvenci (vzdálenosti mezi pulzy) (Fastl 2005). Drsnost závislá na modulačním kmitočtu má svou charakteristickou podobu. Pomalé proměny amplitudy vjíme jako proměny hlasitosti (do 15 za sekundu) a vjíme je jako tlukot. Se zvyšující se frekvencí následuje přechod přes chvění k bzučivosti (Vassilakis 2010). Tato drsnost lineárně narůstá do určité hladiny (De Baene et al. 2004). Drsnost nekomplexních tónů se také postupně zvětšuje, až zcela zmizí při 150 fluktuacích za vteřinu.

Aures (1985), Daniel a Weber (1997) či Vassilakis (2010) navrhuje modely drsnosti u nehudebních zvuků či hluků nebo u tónů způsobených jednoduchými tóny. Tyto modely lze použít pro akustické vyjádření drsnosti z různých časových charakteristik spektrální obálky, zejména na časové rozlišení drsnosti podle rychlosti fluktuací (např. míra fluktuace signálu, míra amplitudové modulace atd.), ale tyto vztahy přestávají platit u hudebních zvuků (Fastl a Zwicker 1990).

S drsností souvisí smyslová (senzorická) disonance a zejména u posluchačů v západním kulturním okruhu je drsnost spojená s komplexním konceptem nelibozvučnosti (Vassilakis 2010; Terhardt 1973), souvisejícím s neharmonicitami (senzorická disonance se liší se od kulturně specifické hudební disonance, ovšem obě disonance spolu mohou souviset).

Drsnost bychom měli být schopni posuzovat odděleně od souběžných vjemů (Melka 2005). Hodnotitelé mohou ale mít nízkou shodu při hodnocení ve středním rozsahu škály. Toto např. Bergan a Titze (2001) považují za možný projev vnímání několika podob drsnosti.

Vnímáním míru drsnost ovlivňují děje na bazilární membráně a sluchovém nervu (Fastl a Zwicker 1990). Omezená pružnost bazilární membrány způsobuje, že se na ní vyskytuje 24 kritických barkových pásem, uvnitř kterých dochází k interferenci složek tónů odlišných frekvencí (Fastl a Zwicker 1990). Drsnost se mění s výškou tónu a rozsahem tónu v rámci barkových pásem. Dva jednoduché tóny, které jsou v samostatných kritických pásmech se mohou vyskytovat bez projevů drsnosti a vnímáme je jako souzvuk dvou oddělených výšek tónů. Uvnitř barkových pásem se postupně projevují jako drsnost a rázy. Jevy na bazilární membráně v rámci jednoho kritického pásma, mohou způsobovat různé odchylky od modelů drsnosti. Drsnost klesá např. se snížením intenzity výchylek, ale i mírně modulovaný komplexní tón může za určitých okolností působit drsně, protože komplexní tóny excitují širší část membrány. Na jednoduchých tónech se mění rozsah drsnosti podle frekvence rázů.

Vliv ostrosti na příjemnost drsných zvuků

Nehudební zvuky (zejména hluky) mají přímý vztah mezi drsností - příjemností a drsností - ostrostití. Čím ostřejší a drsnější je zvuk, tím vyšší je jeho potenciál být nepříjemný (Takao, Hashimoto, Hatano 1993). Nejvyšší potenciál k vnímání ostrosti mají středně vysoké frekvence 2-4 khz. Citlivost ucha je největší v rozsahu 2-4 kHz, takže vůči těmto frekvencím jsme vnímavější (Hench, Chesky 1990). Zřejmě je to proto, že hluk o této frekvenci má největší pravděpodobnost poškodit vnitřní ucho. Toto podporuje i zjištění, že nepříjemnost ostrosti rychle narůstá s hlasitostí. Nepříjemná povaha drsnosti není takto snadno odvoditelná.

Drsnost v poslechu hudby

Závislost příjemnosti a nepříjemnosti na míře drsnosti je nejasná. Drsnost je doceňována v různých kulturách rozdílně, některé hudební tradice jí upřednostňují více, než jiné (Vassilakis 2005). Určitý charakter drsnosti může být podstatnou složkou bohatého zvuku všech hudebních nástrojů (např. trumpety (Geringer a Worthy (1999)) a drsnost byla dána do spojitosti se změnami napětí v hudbě (Pressnitzer et al. 2000). Lze předpokládat, že v hudbě jsou hodnotné jen některé zvuky, které mají drsnost zastoupenou v určitých mezích a určité podobě. Drsnost tvoří úmyslné prvky v hudební tvorbě více kultur (Vassilakis 2005; Tsai 2003; Tsai 2003b). Je součástí různých technik zpěvu jako *growling* nebo *řev* (Tsai 2010) i v operního zpěvu. Drsný charakter mají syntetizované zvuky, piáno, housle, flétna tara, bosenský zpěv ganga a indické bubínky tambura (Vassilakis 2005; Tsai 2003b). Ostré a drsné zvuky tvoří podstatnou složku v elektrické i rockové hudbě. Těmto muzikologickým tématům se zde nebudu více věnovat, účel mého výzkumu se omezí pouze na psychologický výzkum drsnosti v souvislosti se zvukem houslí.

Teorie drsnosti podle modelů

V současném poznání je možné rozlišit 4 rozdílné modely drsnosti. Ty zároveň mohou stát na pozadí samostatně vnímaných podob drsnosti.

Drsnost způsobená frekvenční a amplitudovou modulací

Sinusový tón modulovaný v intenzitě nebo frekvenci s frekvencí větší než 20 Hz vnímáme jako drsný tón. Fastl a Zwicker (1990) u této drsnosti rozlišují *celkovou míru modulace*, její *rozsah a nosnou frekvenci*. Početné studie ukazují, že míra vnímané drsnosti závisí na rozsahu těchto modulací. Drsnost způsobená amplitudovou modulací je jedna z lépe prozkoumaných drsností, avšak vysvětluje jen drsnost u amplitudových modulací do frekvence 200 Hz. Při frekvencích vyšších, než 200 Hz se z těchto drsných modulací stává vjem tónu. Tuto drsnost se také souhrnně spolu s disonantní drsností vysvětlují teorie komplexních kmitů bazilární membrány v rozsahu *kritického barkového pásma* (Plomp 1966; Fastl a Zwicker 1990).

Disonantní drsnost

Disonantní drsnost vzniká pokud znějí dva jednoduché tóny v intervalu, který není v celistvém poměru jejich frekvencí, jejich spektrum se skládá a vznikají *rázy* nebo rychlé *interferenční modulace* v časovém průběhu. Tyto rázy způsobují drsnost, kterou zároveň vnímáme jako průvodní jev s disonancí (Terhardt 1973). Disonance a drsnost pravděpodobně nejsou totéž i přesto, že někteří autoři disonanci za drsnost považují. Alternativní fyziologické teorie drsnosti a disonance (Fastl 1990) pak více zdůrazňují fyziologický původ sekundárních rázů na basilární membráně (týká se i souzvuku sinových tónů s celistvým poměrem frekvence harmonických složek). Tomuto nasvědčují některé periodické i aperiodické sekvence nervových vzruchů, které odpovídají periodě jednotlivých rázů a mění se podle polohy harmonických v rámci kritického pásma (Fastl 1990). Mechanické interference mohou vytvářet tóny s harmonickými složkami, které leží svou frekvencí ve stejném kritickém pásmu. Možnost této interference vnímané drsnosti narůstá s výškou tónu (Fastl a Zwicker 1990). Podle této teorie drsnost vzniká interferencí harmonických složek dvou tónů v kritickém pásmu. Podle jiných výzkumů Tramo et al. (2001) přítomnost harmonických složek ve stejném kritickém pásmu nemusí ve všech případech nutně rázy způsobit. Není také samozřejmé, že rázy způsobené harmonickými složkami musí nutně způsobovat nepříjemné vjemy a nízké hodnocení kvality zvuku (Tsai 2004), ani, že změřená neuronální aktivita skutečně odpovídá vjemu drsnosti. Nízko položené hlasy by

podle Zwickerovy teorie měly mnoho harmonických složek v rámci kritických pásem a měly by být drsné, ovšem podle poznatků hlasových terapeutů tomu tak není. „*I když by nerozlišené harmonické složky, které se shlukují kolem formantu zpěváka mohou přidávat do zvuku drsnost, posluchači upřednostňují jasné, nízko položené hlasy, oproti hlasům zastřeným, nevýrazným, tupým (dull), které drsnost postrádají*“ (Tsai 2004, s. 258).

Drsnost způsobená subharmonickými složkami (“sub-pitch“)

Hypotézy vysvětlující drsnost v souvislosti s vnímáním subharmonických složek lze rozlišit na hypotézy, které popisují vnímání drsnosti v souvislosti s přítomností subharmonických složek, které vůči sobě neleží v dokonalém poměru (např. disharmonie u struny klavírních nástrojů), od novější hypotézy, která vysvětluje vnímání drsnosti i u tónů, které mají subharmonické složky v přímém poměru s harmonickými složkami (teorii *poslechového seskupování (auditory grouping)* (Tsai 2004)). Možné vysvětlení subharmonické (*sub-pitch*) drsnosti podávají některé fyziologické teorie vzniku subharmonické drsnosti, kdy vjemy drsnosti ze *sub-pitch* složky mohou vznikat z fyziologické podstaty dějů na sluchovém nervu, jako důsledek časového kódování informací při jejich přenosu. Toto časové kódování přestává být nad frekvencí 1000 Hz přesné. Při přenosu informací několika blízko sebe ležících frekvencí, které prošly přes *kritické pásmo* může vznikat druhotná drsnost na sluchovém nervu (Moore a Ogushi 1992)

Je možné, že určitou tuto podobu drsnosti jako subharmonické příměsi v tónu, která může mít podobu subharmonické drsnosti popsal Štěpánek a Otčenášek (1999) jako poslechovou kvalitu *zrnitý, písek* či *šustivý*, jejíž původ pocházel z šumu pod frekvencí základní harmonické. Výzkum v této oblasti je aktuálním výzkumným problémem.

Subharmonická drsnost

Subharmonicita je účelový název pro soustředění energie ve spektru, které má svou periodicitu nižší, než je základní rozpoznatá frekvence ($(2n-1) F_0/2$) daného tónu, přičemž F_0 je vnímaná výška a $n=1,2,3$ (Tsai 2004). Graficky je možné tyto subharmonické složky rozpoznat jako nízké vrcholy ve frekvenčním spektru, s frekvencí nižší, než je frekvence prvního zřetelného převýšení. Subharmonicita jsou běžné v hlasových projevech lidí, kde amplituda i frekvence subharmonicit se prokazatelně projevuje různou a proměnnou mírou drsnosti v hlase (Omori et al. 1997; Bergan a Titze 2001) a byla intenzivně zkoumána. Subharmonické frekvence vyvolává asymetrie kmitání hlasivek, která způsobí, že se periodicitu objevuje jen např. každý n -tý cyklus. Z fyziologického hlediska je obtížné tento typ drsnosti popsat pomocí psychoakustických modelů (Omori et al. 1997)

Vztah drsnosti k subharmonicitě lze vysvětlit mechanismem *poslechového seskupování* založeném na mechanismech rozpoznávání výšky tónu. Tento mechanismus popsal Tsai (2004). Míra vnímané drsnosti (a podle hypotézy této práce zřejmě také její podoba) je závislá na naší schopnosti rozlišit zdroj zvuku a přiřadit daným subharmonickým základní frekvenci F_0 . Vjem drsnosti v případě subharmonických složek vzniká tehdy, pokud jsou spodní subharmonické složky příliš slabé k tomu, aby způsobily vjem výšky tónu, ale jejich vyšší harmonické složky jsou dostatečně silné k tomu, aby způsobily vjem drsnosti, který je ovšem způsobený jejich vyhodnocováním ve vyšších patrech sluchového centra. Subharmonické složky, které popisuje Tsai ve své disertační práci (Tsai 2003b) se vyskytují ve druhé oktávě čínské flétny dizi a jsou způsobeny nepravidelnými kmity membrány této flétny. Tsai uvádí, že tyto subharmonicity, které jsou přímým podílem původní frekvence, vnímáme jako *nečistoty (impurities)* v hlavním tónu. Podobné subharmonické složky popsal také McIntire u aperiodických kmitů strun smyčcových nástrojů (McIntire et al. 1981).

Multidimenzionální povaha drsnosti

Drsnost zřejmě má více podob. Například řvavý či hřmotný typ hlasu způsobený nepravidelnými kmity nadhlasivkových oblouků, což přidává do zvuku velké množství postranních pásem, je charakteristický značnou modulací amplitudy a spektrální bohatostí (Tsai 2010). Vnímáme jej jako řvavý, agresivní zvuk. Charakteristikám tohoto hlasu jsou podobné některé specifické techniky hraní na trumpetu či saxofon a jsou podobné určitým aspektům zvuku elektrických kytar. V případě dechových nástrojů vnáší do zvuku aperiodicitu nelineárně kmitající rty hráče, který touto technikou také přidává do hry různé drsnost způsobující prvky (druhy amplitudových modulací, subharmonicit i širokopásmových hluků). Tsai uvádí, že pokud je řvavý tón na trumpetě vyluzován v určité podobě, kterou nazývá *měkký průběh* (soft dynamics), tento zvuk může připomínat smutek či melancholii. U elektrických kytar může mít modulovaný charakter zvuku (který vzniká záměrným ořezáním časového průběhu přebuzením elektronických zesilovacích prvků) také agresivní charakter (Tsai 2010), kterému hudebníci mohou dát velmi kultivovanou podobu. Tsai uvádí rozlišení na *měkké drsné zvuky* a *hlasité drsné zvuky* (na příkladu hlasu). Uvádí „*drsný zvuk nemusí být nutně řvavý*“ (Tsai 2010, str. 212). Hlasité zvuky nám mohou připomínat spíše agresivitu a měkké spíše smutnost (Tsai 2010). Jako příklad uvádí Tsai ruský lament, pro který je charakteristická *měkká podoba* (tu je možné dát do souvislosti s výraznou subharmonickou složkou).

Subharmonické zvuky se běžně chápanou drsností ve smyslu bzučivosti či chrčivosti nemusí vyznačovat vůbec. Tsai (2003b) uvádí některé podoby zvuku čínského nástroje *jinghu*, které vznikají jako důsledek nelineárně dynamické povahy a *nepravidelných* dějů na struně (inharmonicitu, subharmonicitu, postraní pásma). Je možné je dát do souvislosti s "*kvetoucími zvuky*" (Tsai 2006), které ale mají zároveň drsnou kvalitu připomínající patologický lidský hlas (*idib*). Kvetoucí zvuky mají opět svou charakteristickou kvalitu.

Drsnost jako multidimensionální kvalita hlasu

Drsnost je nejčastěji zkoumána v souvislosti s lidským hlasem. Protože projevy nepravidelného kmitání jsou u kmitání houslových strun i hlasivek do určité míry podobné, předpokládám, že bude možné podobné jevy jako u hlasu, měřit i na zvuku houslí. Jelikož vibrace struny jsou pro vysokorychlostní kameru lépe přístupné než hlasivky, základní poznání příčinných souvislostí může být vzájemně obohacující.

Drsnost hlasu představuje jeden z hlavních faktorů, pomocí kterých se hodnotí kvalita hlasu při výuce zpěvu i v klinické foniatřii (např. Bergan a Titze 2001; Bergan a Titze 2004). Jedním z rozšířených hodnotících postupů je například vyšetřovací metoda hlasu GRBAS, kterou které lékaři subjektivně hodnotí parametry *stupně* (Grade), *drsnosti* (roughness), *dyšnosti* (breathiness), *astenie* (aesthenicity) a *napětí* (strain) (Kreiman a Geratt 1994).

K diagnóze patologických hlasů se často používají slova jako *dyšnost* a *drsnost*. Výzkumy indikátorů drsnosti její odlišnou podobu předpokládají. Podle těchto výzkumů je možné se domnívat, že samotná drsnost je vícerozměrná vlastnost. Z hlediska této práce je podstatný výzkum Kreiman a Geratt (1994), který naznačuje, že dyšnost a drsnost jsou multidimenzionální a vzájemně propojené konstrukty. Dyšnost ovlivňuje ve velké míře hodnocení drsnosti, i přesto, že drsnost na hodnocení dyšnosti vliv nemá. Kreiman také upozorňuje na značný rozptyl posuzování mezi subjekty, který se odráží při posuzování kvality hlasu, a, že tradiční hodnotící škály kvality hlasu mohou být náchylné na zkreslení. Dyšnost a drsnost jsou vzájemně propojené a tvoří *mnohorozměrnou* kvalitu.

V oblasti výzkumu hlasu existuje také několik výzkumů týkající se osovosti verbálních deskriptorů. Např. Kreiman a Gerratt (1994) se zabýval tím, zda *hrubost* (harshness) a *dyšnost* (breathiness) je podomnožinou projevů, které označujeme jako *chrapot* (hoarse).

Vnímání drsnosti lidského hlasu

Aperiodicita hlasivek souvisí s vnímáním kvality hlasu (Kreiman a Gerratt 2005; Omori et al 1997). Posluchači lidského hlasu preferují jasný hlas s nižším poměrem šumu, harmonických složek a aperiodicit (Ferrand 2002). Ale lze zaznamenat i opačné tendence. Například u hlasů, které jsou *chrapotivé* (Tsai 2010), je hlas, který je kompozitním průměrem všech hodnocených hlasů, často stejně atraktivní, jako nejvíce atraktivní hlas v celé sadě. Změnu vnímání může způsobovat např. efekt *vyrušení aperiodicit* (aperiodic noisy components), takže výsledkem mohou být větší preference pro daný hlas. Podobný efekt má také reverberace, u které vnímáme, že zvuk *pročišťuje* (McDermott 2012). Uvedené informace z výzkumu preferencí lidského hlasu však mohly být ovlivněny i různými dalšími vedlejší faktory]

Evoluční vysvětlení nepříjemného vjemu drsnosti může být např. podprahové vyvarování se nemocných a starých lidí, u kterých drsnost v hlase pozorujeme (Ferrand 2002). Evoluční teorie uvádějí, že nejčastější běžné přírodní zvuky většinou postrádají ostrost a drsnost, protože jsou analyzovány na nejnižších úrovních zpracování sluchového signálu (McDermott, Oxenham 2011; Simoncelli 2009), komplexní zvuky jsou pak zpracovávány na vyšších úrovních a můžeme u nich rozlišit širší škálu podob. Mapa preferencí může mít rozmanitější podoby (McDermott a Simoncelli 2011).

Teoretické ukotvení multidimenzionality drsnosti

Drsnost ve zvuku nemusí mít vždy nepříjemný charakter (Tsai 2003), může být vnímána jako příměsí k tonické kvalitě (Jensen 2004). Dle Menšena příměsí (příměs jako důsledek částečně nepravidelných nebo zcela náhodných časových změn) k harmonickému zvuku přidávají specifické kvality. Uvádí termín *noise* s vysvětlením, že je jej nutné chápat jako zatím blíže neurčené příměsí ve zvuku (lze je předpokládat ve smyslu Tsaiových (2003b) *příměsí* (impurities). Podle vlastností zvuků jsou rozlišitelné kategorie *nahodilých událostí*, *neúplných zvuků* a *harmonických zvuků s proměnlivou amplitudou a frekvencí*. Bez příměsí a nepravidelných kmitů by byla většina zvuků *jednotvárných* (*dull*) (možná také ve smyslu *mdlý*, *či zastřený*, *nevýrazný* *či úzký*), *chladných* *či mrtvých* (*lifeless*) a *syntetických* (Jensen 2004). Popisné charakteristiky jsou pouze orientační a rozhodně je nelze dávat do souvislosti s *popisnými charakteristikami barvy zvuku hudebních nástrojů*, které využívá tato práce (a které by mohly Jensenovy definice upřesnit). Dle Jensena by měl být vliv různých parametrů rozpoznatelný jako příměsí k základnímu vjemu např. jako *jasnost*, *tvrdost*, *údernost* (Jensen, 2004) a mohl by přidávat do zvuku další kvality jako *řvavý*, *prskavý*, *dyšný*, *šplouchavý*. Toto se zdá být v souladu s poznatky Geringer et al. (1999)

Jensen tyto kvality dokazuje proložením sinusových průběhů barevným šumem na základě frekvenční, či amplitudové modulace. Získal tak široké spektrum zvuků připomínajících hlas a také dechové a strunné nástroje. Tyto simulace je možné provádět manipulacemi s rychlostí změn v obálce, s intenzitou těchto změn. Parametry harmonicky specifikované frekvenční a amplitudové modulace (*jitter* a *shimmer*) (Jensen 2004) jsou pak podobné aperiodicitám struny houslí, jak je uvádí McIntire (1981). V rozličných polohách v tomto prostoru syntetických parametrů existují *značné* rozdíly v barvě výsledného zvuku (Jensen 2004). Jensen intuitivně

popisuje amplitudovou modulaci jako *hrčící, hřmící* (rumbling), *dyšnou, praskavou*, a frekvenční modulaci jako *drsnou, podivnou* (wierd) a *lezoucí* (walking).

V souvislosti se smyčcovými nástroji lze předpokládat, že některé aperiodicity smyčcových nástrojů mohou přidávat cenné vlastnosti do zvuku a podílet se na utváření *živosti zvuku* (*life*). Živost pak způsobuje, že zvuk vnímáme jako *příjemný* (enjoyable sound) (Jensen, 2004). Tato složka je neoddělitelnou součástí sensorické příjemnosti a provází řadu dalších základních kvalit, jako například drsnost, ostrost či tonalita. Vliv *živosti zvuku* by mohl být jeden z důvodů odlišnosti preferencí zvuků u posluchačů poslechového testu. Podobné poznatky z poslechových testů s hudebníky a naivními posluchači ve svých výzkumech ukazuje Geringer et al (1999). Posluchači bez hudební praxe preferují temné zvuky, zatímco posluchači s hudebním praxí spíše preferují jasné a ostřejší zvuky (a za určitých předpokladů drsné), než ty tmavé, temné zvuky, které působí ploše (Geiringer et al. 1999).

V souladu s Jensen (2004) a McDermot (2004) lze soudit, že existuje určitá mez, kdy už příměsí či fluktuace nejsou vnímány individuálně, ale vnímáme je jako příspěvek (contribute) k barvě zvuku. Tento příspěvek by mohl být u různých druhů drsnosti jiný a mohla by se měnit i jeho podoba

Vnímání kvality

Hudebníci hrající na housle kladou značný důraz na zvuk a kvalitu svého nástroje (Fritz, Muslewski, Dubois 2010). Výzkum, který prováděl Dünwald (1991), byl soustředěn na akustické vlastnosti velké škály houslí, které měly značné rozpětí kvality. Výsledkem Dünwaldova výzkumu byla identifikace 4 oblastí v frekvenčních pásech, které mají vliv na vjem kvality zvuku. *190-650 650-1300 1300-4200 a 4200-6400 Hz*. Oblasti odpovídá bohatosti, nasalitě, brilanci a jasnosti hraných tónů. Tyto oblasti Dünwald považuje za možné indikátory konkrétních aspektů kvality zvuku, která souvisí se zde řešeným problémem. Citlivost hudebníků vůči změnám kvality zvuku ukazuje i studie rozdílových prahů pro jednotlivé modifikace zvuku houslí (Fritz 2007). Kritické schopnosti rozpoznat charakteristiky zvuku u posluchačů smyčcových nástrojů, jejichž tóny mají vysokou tendenci k drsnému projevu a množství již proběhlých výzkumů činí z houslí vhodný nástroj pro další výzkum.

Senzorická příjemnost a posouzení příjemnosti

Jednou z vnímaných vlastností zvuku je sensorická příjemnost (podobně, jako v oblasti čichu často užívaný rozměr *hédonický tón*, který vyjadřuje vnímanou nepříjemnost daného stimulu, a může vést k soudu kvality). Zde je uvedeno základní shrnutí vlivů, které mohou ovlivňovat vnímání *kvality*, tak jak je vyjadřuje několik autorů (Fastl 1997, Melka 2005, Ando 2009). Jsou to: fyzikální vlivy (zvuková kvalita obsahuje faktory akustického signálu) prostředí (např. míra obklopení zvukem (Ando 2009)), psychoakustické faktory (popisují jednotlivé dimenze vnímání: hlasitost, ostrost, síla změn (fluctuation strength apod.) a psychologické či antropologické proměnné. Jednou veličinou je *hodnota sensorické nepříjemnosti/příjemnosti* (sem patří např. hluchost, drsnost, ostrost) vyjádřená indikátorem bezprostřední *preference* při srovnání jednotlivých zvuků (Fastl 1997; Melka 2005). Existuje řada jiných, neposlechových veličin, např. obraz zdroje může vytvářet *očekávání*, situace, za které kvalitu hodnotíme, či osobní postoj vůči zdroji mohou vyvolávat *averze, preference* apod. Při vnímání celkové kvality zvuku mají na výsledné hodnocení vliv také další komplexní psychologické faktory: *kontext, nálada, osobnost, emoční stavy, asociace* zvuků ke kontextu. Zvedené faktory dále rozvádí také například Melka (2005). Tyto úrovně hodnocení pak nejvíce odpovídají oblasti estetiky, v této práci se jím však zabývat nebudu.

Podstatou pro *příjemnost zvuku* je *senzorická příjemnost (libozvučnost)* (Melka 2005). Sensorická příjemnost je komplikovaná psychoakustická veličina. Nejsilněji příjemnost souvisí se změnami na elementárních veličinách majících vliv na posuzování kvality (*senzoricky adekvátní veličiny*), tj. výšky, hlasitosti, ostrosti, síly kolísání, tónovosti a drsnosti (Melka 2005). Jak ale ukazuje výzkum determinantů kvality zvuků houslí (např. Dünwald (1991) nasálnost, jasnost, bohatost) a výzkumy Otčenáška a Štěpánka (2002), barva zvuku je zásadní veličinou, které má na posuzování sensorické příjemnosti vliv.

Příjemnost je tedy výsledkem komplexního evaluativního soudu. Je také moderována působením *okolí, jinými smysly, vkusem, emocemi, očekáváními apod.* (moderující faktory (Melka 2005)). Z pohledu emocí sensorickou příjemnost vysvětluje koncept afektivní kvality. Vyzářený zvuk je nositelem některých fyzikálních vlastností, jejichž působení vnímáme, jako libé, zvučné, malebné, bohaté, a jiných, které můžeme vnímat jako nepříjemné či nelibě znějící. Zdroj zvuku mající určité fyzikální vlastnosti (nebo postrádající nějaké) můžeme vnímat např. jako chudý (Rossing 2002; Fritz et al 2012). U hudebních zvuků (ale čím dál, tím více i u neperiodických kmitů různých těles jako je skřípění brzd, třepotání lopatek turbín apod.), chceme-li je kultivovat, je nutné zkoumat dílčí detaily např. pozorováním příčin vzniku těchto zvukových vlastností přímo na zdroji (McIntire 1981).

Housle

Každý hudební nástroj tvoří několik *akustických prvků*. Podle vlastností a vztahů mezi těmito prvky jsou nástroje členěny v typologiích hudebních nástrojů (např. Kurfustova systematika hudebních nástrojů (Kurfurst 2004)). Akustickými prvky jsou: oscilátor, rezonátor a excitátor. Oscilátor je část nástroje, která kmitá a přenáší svou energii na rezonátor. Rezonátor je kmitající médium uváděné do pohybu oscilátorem a předává energii oscilátoru do okolí (při této své činnosti se vůči oscilátoru chová jako filtr). Rezonátorem může být i vzduch nebo blána, často se jedná o desku. Excitátor je prvek, který budí oscilátor. Smyčcové nástroje tvoří třídu nástrojů, které jsou rozezvučovány třením smyčce (Kurfurst 2004). Tato kapitola popisuje zejména ty principy konstrukce smyčcových nástrojů, ze kterých vyplývá příčina vytváření drsnosti jejich tónů.

Housle jsou historický hudební nástroj. Doložený vývoj je nejméně od roku 1680 (Campbell a Gerated 1987). Za jeho dalším vývojem stál např. Antonio Stradivari či Giuseppe Guarneri. Campbell (1987) vyslovuje domněnku, že jedním z důvodů, proč se housle staly hlavním nástrojem v orchestrální hudbě, je jejich schopnost vytvářet mnoho kvalitativně, hlasitostně i strukturně odlišných zvuků. Campbell uvádí, že tato schopnost je překonána jen hlasem (Campbell a Gerated 1987).

Rezonátor: tělo houslí tvoří svrchní a spodní rezonanční deska, které jsou po stranách propojené luby a opírají se o sebe i prostřednictvím duše pod strunou *e*. Rezonančními vlastnosti obou desek, basový trámec umístěný na svrchní desce i umístění duše mají společný vliv na celkovou kvalitu nástroje a na charakter jeho zvuku. Silové působení struny se přenáší na tělo přes kobylku, která se jak na spodní, tak horní straně pohybuje (v tomto projektu je její kolíbatý pohyb důležitý zejména pro nastavení úhlu kamery). Tělo houslí je radiační prvek pro zvuk předaný kobylkou a tvoří složitý spektrální filtr. Ke kvalitě zvuku houslí přispívá zejména spektrální filtr jednotlivých vibračních módů desek (Rossing 2002). Výrobci věnují značnou pozornost jejich ladění (např. poklepem či pozorováním Chladniho obrazců buzených reproduktorem (Campbell 1987) při konstrukci špičkových nástrojů a snaží se dosáhnout vhodného sladění rezonančních módů. Působení filtrů je doplněno zesílením frekvencí ve spodní části spektra (450 – 550 Hz) rezonancí spodní desky a rezonujícím objemem vzduchu uvnitř

dutiny (200-270 Hz), která vyzařuje 2 otvory ve tvaru F. Oblasti působení tohoto filtru, které mají vliv na kvalitu zvuku houslí a na vlastnosti jeho barvy, stanovil zejména Dünwald (1991), podle kterého se také nazývají jednotlivá pro zvuk houslí relevantní frekvenční pásma.

Oscilátor: Housle mají 4 struny v ladění g, d¹, a¹, e². Struna je zakončená na kobylce, která předává energii tělu. Pro kobylku je charakteristická volná vazba, kdy spojovací článek mezi strunou a rezonátorem odebírá struně jen relativně menší množství energie oproti jiným strunným nástrojům. Vazba umožňuje relativně netlumený periodický pohyb struny, který malými přírůsky energie smyčce dovoluje dosahovat velkých výchylek.

Excitátor: Struna smyčcových nástrojů je buzena pohybem smyčcem, který tvoří koňské žíně napnuté mezi špičku a žabku. Kalafuna nanosená na žíně zvyšuje tření mezi smyčcem a strunou. V současnosti se používá konkávní smyčec (dílo François Tourte z 18 stol.), který dovoluje přesněji měnit parametry síly a přítlaku. U předchozích druhů smyčců síla přítlaku na strunu nenarůstala tak rychle a ke stejným změnám tlaku bylo nutné použít vysoké změny síly. Konkávní konstrukce smyčce umožňuje, aby hráč dynamicky ovládal tlak smyčce na strunu, ale zároveň díky svému tvaru a pružnosti nedovoluje snadno přesáhnout extrémní hodnoty tlaku na strunu. Různé parazitní děje na smyčci spíše struně odčerpávají energii na rozdíl od jeho přiměřeně rovnoměrného pohybu „*rozdíly mezi smyčci jsou postřehnutelné spíše pro hráče, než pro publikum*“ (Askenfelt 1995, s. 39). Použití koňských žíní je podstatné pro jejich mikrošupinatý povrch (mj. dobře ulpívá kalafuna). Děje mezi smyčcem a strunou neoddělitelně utváří charakteristický zvukový projev houslí

Struna houslí

Volná struna hudebního nástroje při svém kmitání tvoří stojaté vlny v celistvých poměrech úseků oscilátoru ukotveného mezi dvěma pevnými body. Každý díl délky struny kmitá s frekvencí rovnou tomuto poměru a vytváří harmonické složky tónu. K tomuto pohybu se přidávají pohyby další, které vznikají konstrukcí skutečného nástroje a dalšími vlivy. Jsou to zejména disharmonicita vznikající odlišnou délkou aktivní struny na spodní straně kontaktu struny s kobylkou oproti její svrchní části (mají odlišné délky), nehomogenita opředení a torzní (krutové) kmity struny (McIntire a Woodhouse 1979)

Kmitání struny houslí

Struna smyčcových nástrojů získává energii v procesu působení smykových sil na plochách smyčce a struny. Tomuto ději se říká *trhavý* (či *přilnavý*) *skluz* (stick-slip motion). Efekt zadržování mezi skluznými plochami je obecně studovaným a modelovaným fyzikálním fenoménem a neomezuje se jen na struny houslí. Je charakteristický např. pro drhnutí židle o podlahu, tření kol kolejových vozidel při projíždění zatáček (nebo brždění). Trhavý skluz je charakteristický nelineární dynamitou, která způsobuje, že je poměrně obtížně modelovatelný (Woodhouse a Galluzzo 2004). Poznání akustických projevů trhavého skluzu a také mechanismů vzniku drsnosti v jeho zvuku je tak podstatné z více hledisek. Přilnavý skluz způsobuje střídání rozdílů síly působící na těleso a stálé třecí síly, která v určitém bodě skluzu převáží, a pohyb pak zase následně zbrzdí.

Pohyb smyku a přilnutí způsobuje charakteristický průběh kmitání struny smyčcových nástrojů. Pohybující se smyčec strunu táhne sebou až do bodu, kdy zpětný tah struny překoná vazkost kalafuny, struna sklouzne do místa, kde vytratí svou energii (ve fázi smyku), a opět přilne ke smyčci (fáze přilnutí). Mezi okamžiky, kdy se struna utrhne smykem z fáze přilnutí a kdy struna opět přilne, se mění rychlost struny vůči smyčci. Poměr mezi třecí a statickou silou postupně unášené struny dynamicky mění příchod Hemholtzova rohu (Hemholtzův roh je název pro

vychýlení struny vyvolané jejím přeskokem při utržení se struny ze stavu přilepení ke smyčci, přičemž se tento roh šíří postupně přes celou strunu k ořechu a pak po odrazu zase zpět ke smyčci; jeho fáze je opačná, takže, když se došlívá zpět ke smyčci, jeho dynamická síla se sečte s tahem struny proti unášení smyčcem a spojení obou sil přímo vyvolá, v různých režimech hry různou měrou urychlí, nové utržení a smyk). Postupný vznik Helmholtzova rohu dodává charakteristické zabarvení nakmitávacím začátkům tónů (Hutchins a Benade 1997). V této práci se nebudu zabývat nakmitávacími ději, ale jen stacionární částí tónu s již ustálenými přeběhy Helmholtzova rohu po struně. Při optimálním znění tónu je doba pohybu Helmholtzova rohu od smyčce k ořechu a po odrazu zpět ke smyčci shodná s periodou tónu, na které struna kmitá. Housle tak jsou schopny vydávat stabilní tón i přesto, že struna houslí nekmitá volně, ale je po většinu času v kontaktu se smyčcem. Lokální pohyb struny s Helmholtzovým rohem nemá charakter postupného vlnění, ale jeví se jako charakteristický zubatý průběh. Shrnutí současných poznatků o pohybech struny houslí podává dále například Woodhouse a Galluzzo (2004). Aperiodicity v tomto ději se po přenosu na kobylku velmi zesilují (McIntire et al. 1981). Uvedená složitá a povaha děje na struně tak vede k charakteristickým nestabilitám, nepravidelnostem a příměsem v tónu houslí. Spektra zvuku smyčcových nástrojů jsou pak charakteristická frekvenčními postranními pásmy a subharmonickými složkami. Ty mohou kvalitu a barvu zvuku obohacovat i znehodnocovat. Jejich fyzikální podobu zkoumal například McIntire (1981), ze kterého tato práce vychází.

Vliv smyčce a kalafuny na charakter zvuku

Konstrukce moderního smyčce se podílí na charakteru a kvalitě zvuku smyčcového hudebního nástroje spíše tím, že usnadňuje hráči zaujmout a ovládat různé režimy hry (např. pružností (Askenfelt 1995)). Mezi smyčcem a strunou existuje složitá interakce. Askenfelt ale uvádí "*na smyčci se odehrává množství dějů, ale na struně či kobylce se vše projeví jen málo či vůbec*" (Askenfelt 1995, s. 39). Vliv smyčce se může projevat spíše při začátcích tónů, ve statické části tónu hrají vlastnosti smyčce spíše pasivní úlohu.

Interakce mezi hráčem a nástrojem

Mezi nástrojem a hráčem probíhá interakce. Hráč aktivně ovládá zvuk nástroje pomocí mírných korekčních pohybů (Schoonderwaldt a Demoucron 2009). Působí zejména na rychlost smyčce, vzdálenost mezi kobylkou a na sílu přtlaku. Demoucron tyto 3 parametry považuje za hlavní parametry určující charakteristiku zvuku a dostačující pro popis interakce mezi hráčem a nástrojem (Schoonderwaldt a Demoucron 2009; Guetler et al. 2003). Ke studiu těchto pohybů se užívají nákladná kalibrační zařízení. Malý vliv má sklon smyčce vůči houslím, naopak z poznatků McIntire et al (1981) vyplývá vliv šířky žíní v kontaktu se strunou a tím i na vliv naklonění smyčce (toto Schoonderwaldt s Demoucronem příliš nezdůrazňují).

Pro podobu zvuku jsou z analytického hlediska podstatné *parametry vedení smyčce* (bowing parameters), které se při běžném hraní pohybují v rámci určitého vymezeného rozsahu *parametrů vedení smyčce* (bowing parameter space). Jsou to: *síla přtlaku, poloha smyčce, rychlost, akcelerace a vzdálenost ke kobylce* (Schoonderwaldt a Demoucron 2009). Tyto parametry popisuje hudební nauka svými termíny, například sílu přtlaku *forte*, vzdálenost vůči kobylce *sul tallone, sul ponticello*

Aperiodicity na struně houslí

Z modelů struny smyčcových vyplývá, že struny smyčcových nástrojů mají tendenci k určitým specifickým druhům aperiodicit. Výzkumy na tyto aperiodicity prováděli McIntire et al. (1981) a

v dané práci navrhuji modely, které mohou být teoretickým vysvětlením několika fenoménů na struně houslí. Zejména jde o *frekvenční modulace* a přibývající hluk (buildup of noise), které vynikají, pokud se snažíme hrát více a více u kobyly a s větším přitlakem. McIntire mluví o *noise*, který lze přeložit jako *hluk* či *šum*; ale jeho charakteru, obzvláště charakteru jeho tónu, se dále nevěnuje. Tyto vlastnosti lze zkoumat systémem *popisných charakteristik*.

McIntire et al (1981) vyslovuje tyto teoretické závěry:

- 1) Nestabilita v ideální struně se projeví pouze v subharmonických složkách hraného tónu.
- 2) Hluk u kobyly způsobuje od subharmonicit odlišný fenomén, který je spojen s konečnou šířkou plochy smyčce v kontaktu se strunou
- 3) Změny síly přitlaku, změny rychlosti pohybu smyčce, změny amplitudy kmitu, změny v poloze smyčce ovlivňují míru excitace subharmonických složek.

McIntire et al. (1981) rozeznává několik režimů nepravidelného kmitání struny smyčcových nástrojů. Jsou jimi *frekvenční* a *amplitudová modulace* (*jitter* a *shimmer*) pohybu, *hroty* (spikes) a *stínové subharmonické složky* (ghostly subharmonics). V praxi jsou tyto vlivy všechny spojeny v jeden, ale s odlišnými vzájemnými poměry.

Jitter je rozptyl v časové periodicitě a lze jej měřit jako časové zpoždění okamžiku, kdy na kobyly přijde tlak z Helmholtzova rohu. Podle McIntire (1981) frekvenční modulace nedosahuje dostatečné intenzity, aby byla slyšitelná. McIntire toto posuzuje podle rozptylů stanovených Cardzo (1968) na frekvenční modulaci. Tyto laboratorní výzkumy ovšem nemusí být zobecnitelné a je možné, že za určitých okolností slyšitelná být může. McIntire uvádí, že se frekvenční modulace v rámci změny vlastností hry (přitlak a hra u kobyly a hmatníku) mění jen málo. Zřejmě nesouvisí se snížením kvality zvuku při hraní u kobyly nebo při silné hře.

Hroty jsou rázy v časovém průběhu, které nejvíce souvisejí se změnou kvality zvuku (McIntire et al. 1981). V analýzách kmitání struny, při kterých byl jasně slyšitelný „hluk“ se délka periody příliš neměnila a aperiodicita měla podobu vysokých jehel v průběhu kmitu struny (McIntire et al. 1981). Tyto jehly způsobovaly nárůst *hluku* či *šumu* a jejich výskyt byl spojený s vnímáním nekvality daného zvuku (zvuk byl *hudebně nepoužitelný* (McIntire et al. 1981)). Pokud tyto hroty vytvářejí širokopásmový šum, mají zřejmě také podobu subharmonické složky na rezonátoru. Toto je v souladu s měřeními Štěpánka a Otčenáška (1999): Podle spektrálních charakteristik lze soudit na souvislost této složky s deskriptorem *šustivost* či *písek*.

Subharmonicita - při extrémnějších režimech kmitu struny McIntire popisuje slyšitelnou subharmonickou složku tónu. Výška tónu této subharmonické závisí na poloze smyčce vůči struně z hlediska délky struny a McIntire et al (1981) uvádí, že v nechaotických režimech kmitu struny jí často vnímáme až po uplynutí určitého času, například po minutě (toto by bylo možné dát do souvislosti s neuronálním *sítem*, o kterém se zmiňuje Tsai (2004)). Lze se domnívat, že vyhodnocovací procesy potřebují určitý čas k identifikaci této složky (jako součásti tónového objektu) před tím, než je vnímána (Tsai 2004). McIntire et al. (1981) subharmonicitu popisuje jako doprovodnou suboktávu nebo 12-tinu, která po určité době (podle své prominentnosti) přeznívá během normálního Helmholtzova průběhu kmitu struny. Měla by také mít podobu sotva vnímatelného přeznívání. Tón nepůsobí jako čistý, ale má "*nepravidelný, neurčitý charakter, podobný přeznívání rezonátoru buzeného bílým šumem*" (McIntire et al. 1981, s. 19). Tento popis odpovídá definici jedné z modalit *drsnosti* tak, jak jí pojímá tato práce.

Příčina subharmonických složek na struně houslí

Subharmonické složky v kmitu struny jsou způsobeny *propouštěním nepravidelností* ve fázi skluzu (McIntire et al. 1981). Smyčec přestane být v kontaktu se strunou (přestane strunu přehrazovat) a kmity volně projdou strunou po celé její délce. Ve fázi *ulpění* naopak smyčec strunu přehradí a slouží jako stěna pro odrazy kmitů na struně. Ty pak mají periodu závislou na délce přehrazené struny. Při pohybu smyčce po struně ze strany na stranu se tak postupně mění podoba subharmonicit, což může způsobovat některé další percepční rozdíly, zejména to může znesnadňovat jejich identifikaci z pohledu *síta*, které navrhuje Tsai (2004).

Tato stínová subharmonická složka se liší od vedlejších frekvencí (sub-fundantal či *sub-pitch*, zmíněný v úvodu této práce) *zhrouceného tónu*, který má velmi hrubý a neharmónický charakter (v této práci představoval chrčivý, zvonivý tón) který je dalším projevem drsnosti na struně houslí. Tento tón lze vyvolat po překročení Shellingova maxima (Maximální přípustný tlak na smyčec v dané poloze, který je možné vyvinout aniž by byla narušena periodicitu kmitu způsobeného periodickým skluzem a ulpěním v souvislosti s periodicitou Hemholtzova rohu).

Tato práce vychází z předpokladu, že výsledný charakter zvuku struny houslí, je vázán na aperiodicitu na struně, kterou popisuje McIntire et al. (1984) a tyto aperiodické kmity se projevují různými typy drsností. Tato práce dále navazuje na práci McIntire. McIntire neprovádí systematický experiment ke zhodnocení důsledků jeho aperiodicit, zejména jejich podoby. Tyto aperiodicity pojmenovává jako *hluk*, *šum* (noise). Podobou těchto aperiodicit se již okrajově zabýval Štěpánek a Otčenášek (1999), který podle výsledků spektrální analýzy spíše naznačil možnou podobu *šustivosti* jako výsledek aperiodicit typu *hroty*.

Záznam kmitání struny

Záznam kmitu struny lze vyjádřit jako časový průběh polohy pomyslného hmotného bodu na struně (McIntire, Woodhouse 1979) a můžeme jím vyjádřit průběh kmitu této struny. Tento časový průběh lze vynést pro libovolné místo na struně. Vlivem periodického průběhu Hemholtzova rohu má tento průběh v blízkosti smyčce podobu téměř rovných zubů, které vyjadřují podstatu pohybu trhavého skluzu. McIntire (McIntire et al. 1981) svá měření prováděl *piezoelektrickým převaděčem* (piezoelectric transducer). Tato práce vypracovává metodu měření těchto průběhů bezkontaktně (bez ovlivnění) pomocí vysokorychlostní kamery a software pro sledování pohybu obrazových bodů..

Vzhledem k vysoké pořizovací ceně je vysokorychlostní kamera *Vision Research V611* v České republice ojedinělý nástroj. Její použití k měření a analýze kmitů oscilátorů a rezonátorů hudebních nástrojů je nové. Pokud je mi známo, je tato práce první, ve které bude kamera využívá k měření kmitání struny. V oblasti kmitání zdroje zvuku existují zejména studie záznamů kmitání hlasivek (Wittenberg et al. 1995). Používané vysokorychlostní kamery ale zpravidla neumožňují tak vysoké snímkovací frekvence frekvenci vyčítání snímků, zatímco *V611* dovoluje snímkovat strunu i frekvenci 60 kHz. Není mi známo, že by někdo použil v tomto kontextu vysokorychlostní kameru podobných parametrů. S vyšší rychlostí však také roste obtížnost měření. Se stoupající rychlostí se také zkracují expoziční časy a tím stoupají nároky na osvětlení, které například i zahřívá měřený předmět a způsobuje odlesky. Osvětlení musí být stejnosměrné a výbojka musí mít stálé světlo (*V611* je v této práci použita s 1kW reflektorem s vysokofrekvenčním napájením s frekvencí 75 kHz). K měření dějů na struně, zejména menších příčných kmitů a aperiodických kmitů jsou takto rychlé frekvence snímkování nutné (McIntire 1981), Předkládaný záznamu kmitu struny houslí vysokorychlostní kamerou je zřejmě prvním pokusem o podobný záznam.

Párové srovnávání

Tato metoda náleží k teoreticky i technicky nejpropracovanějším a nejpresnějším psychometrickým metodám (Melka 2005) V párovém srovnávání pokusná osoba srovnává každý z celkem n hodnocených podnětů se všemi zbývajících $n - 1$ podněty a jeden z obou právě srovnávaných podnětů označí jako dominantní v určitém předem definovaném smyslu (součástí testu bylo rovněž sbírání hodnoty preference, které však v této práci není využito) nebo posoudí jejich rozdíl na posuzovací škále (zde posouzení nepodobnosti). Rozdíl podnětů nikdy nebyl tak malý, aby jej pokusná osoba nedokázala postřehnout nebo se nedokázala rozhodnout. Nevystala tak potřeba povolit neutrální odpověď. Pořadí podnětů v páru může ovlivnit posouzení. Tento vliv byl snížen experimentálním plánem s volným přehráváním podnětů posluchači (Baker et al. 2004) a Rossovým algoritmem předkládání podnětů. Hodnocení v párech od jedné osoby se ukládaly do čtvercové matice (nepodobnostní a preferenční), řádu n . Sečtením m individuálních matic vznikla skupinová (od m různých osob). Výsledky párového srovnávání mohou být zkresleny únavou pokusných osob, nezacvičením pokusných osob nebo Fechnerovou chybou místa a času, blíže viz (Břicháček 1978). Tyto chyby nelze zcela odstranit, ale lze je omezit, např.: přestávkami, zacvičením osob a rozvržením vzájemných časových a prostorových poloh podnětů v párech. Takovým vhodným rozvržením je např. náhodné uspořádání polohy podnětů v párech a zároveň i náhodné uspořádání časového sledu párů podnětů. V této práci byl zvolen vhodnější plán optimálního uspořádání podnětů navržený R. T. Rossem (1939) ve kterém je určitý podnět v časovém harmonogramu prezentován vždy s největším možným odstupem od svého předchozího výskytu (odstup minimálně $0,5(n - 3)$ párů) a pravidelně se střídá na první a druhé pozici v páru. Výchozí pořadí podnětů použité pro Rossovo uspořádání jednotlivým osobám nebo pro opakování je pak již měněno náhodně. Metoda párového srovnávání je velmi citlivá při výzkumech rozpoznávání širě možných rozdílů. V párovém srovnávání je každý zvuk srovnán s obrazem zvuku v krátkodobé sluchové paměti. Dlouhodobá sluchová paměť, ve které je zvuk ukládán na základě kódování ve vzorcích, zkresluje posuzování celkového charakteru zvuku (zvýrazňuje jen některé charakteristiky tónu, jelikož dlouhodobé zakódování představuje další úroveň reprezentace tohoto zvuku).

3. Empirická část

Formulace výzkumného problému

Dle prací Tsai (Tsai 2004; Tsai 2003b; Tsai 2006) a Jensen (2004) a jiných předpokladů uvedených v teoretické sekci této práce lze předpokládat, že projevem nepravidelností kmitu struny, které McIntire (1981) popisuje, ale v poslechových testech je označuje neurčitým názvem *šum* či *hluk*, bude zejména vytvoření vjemu drsností tónu houslí. Tato drsnost bude v souladu se závěry Jensen (2004), Tsai (2004) či Štěpánek (2004) nabývat různých podob a to v závislosti na faktorech: míra *stínové subharmonické*, *šumové složky hrotů*, *frekvenční a amplitudové modulace*, *proměnnost prominence subharmonické složky*, *ostrost či temnost tónu*). V souladu s pracemi McIntire (1979) lze předpokládat, že tyto faktory budou mít dostatečnou variabilitu při změnách *vedení smyčce* (Schoonderwaldt a Demoucron 2009) a vjemy způsobené těmito faktory se budou lišit v určitých vnímaných charakteristikách. Drsnost na houslích bude mít více percepčních podob. Dle práce McAdams (1999) lze také předpokládat, že se podoba a vnímání drsnosti bude zároveň lišit i u různých posluchačských skupin. Lze se také domnívat, že je možné změny v časovém průběhu kmitání struny charakterizovat hodnotou prvního maxima autokorelační funkce (metoda navržená Fujii, Atagi a Ando (2001)).

Obecná a specifická výzkumná otázka

V této části jsou uvedeny metody, které v této práci budou využity. Z hlediska úspěšného řešení výzkumného problému bylo nutné vytvořit také hypotézy, na základě kterých bude rozhodnuto o dalším postupu. Práce má zejména charakter prvotního výzkumu dané problematiky.

Rozhodnutí o dalším postupu:

Práce vychází z obecné výzkumné otázky: Existuje více podob drsnosti v souladu s psychologickými poznatky o subjektivním vnímání drsného zvuku? Téma bylo zúženo na vnímání drsnosti zvuku při poslechu tónu houslí a experiment se omezuje na ty druhy drsnosti tónu, které nastávají při proměnných faktorech buzení struny houslí včetně nepravidelnosti kmitání. Je možné v poslechovém testu identifikovat základní podoby dimenzionality vnímané drsnosti zvuku houslí v souvislosti s charakterem změny zvuku způsobeným změnou přítlaku a polohy smyčce na struně?

Představení hypotéz a jejich návaznosti na teorii:

- 1) Před zpracováním dat jednotlivých respondentů je třeba ověřit, zda je možné na výběrový soubor respondentů poslechových testů nahlížet jako na jednu či více skupin (viz hypotéza subjektů).
- 2) Dále je třeba na základě objektivních kritérií porovnávat jednotlivá řešení percepčních prostorů mapujících možnou vícerozměrnost vnímání drsnosti, včetně jejich smysluplné interpretace (viz hypotéza vícerozměrnosti).
- 3) Zpracovaná subjektivní data poslechových testů a z nich získané výsledky je třeba dát do souvislosti s objektivními vlastnostmi zvukových podnětů (viz hypotéza příčinnosti)

Hypotéza 1.: Hypotéza odlišnosti subjektů (dále jen hypotéza odlišnosti):

všichni respondenti mají stejný sluch, shodný model pro posouzení testovaných vlastností zvuku a že shodně využívají škály (je předpokládána jednotnost percepčního stylu v souvislosti s případnou unidimenzionalitou či vícerozměrností drsnosti).

H_0 subjekty patří do stejné poslechové třídy (respondenti se shodují)

H_1 respondenti se neshodují

Hypotéza 2.: Hypotéza vícerozměrnosti drsnosti (dále jen hypotéza vícerozměrnosti):

drsnosti je více druhů, takže percepční prostory vnímání různě drsných zvuků budou vícerozměrné.

H_0 drsností je více druhů

H_1 drsnost je jedna (je jednodimenzionální)

Hypotéza 3.: Hypotéza fyzikální příčinnosti drsnosti (dále jen hypotéza příčinnosti): hodnota prvního maxima autokorelační funkce (Fujii, Atagi, Ando 2001), bude korelovat s mírou vnímané drsnosti (aperiodicity v pohybu struny jsou příčinou vnímané drsnosti)

H_0 obě proměnné korelují tak, že lze hodnotu z autokorelační funkce použít k predikci drsnosti

H_1 obě proměnné spolu nekorelují, hodnotu z autokorelační funkce nejde použít k predikci drsnosti

Průběh experimentu

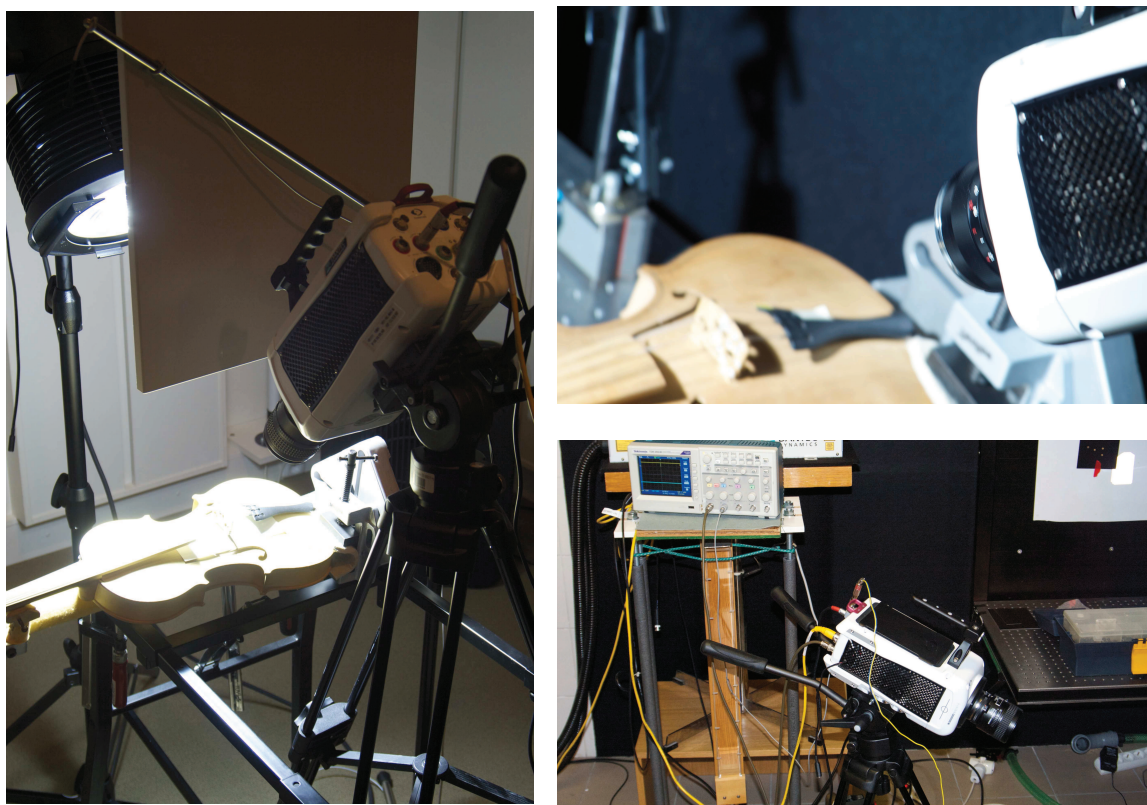
Techniky sběru dat

Poslechovým experimentům předcházely zvukové záznamy podnětů doplněné video dokumentací pohybů struny.

Sada nahrávek zvuku byla provedena umělou hlavou Neumann KU100 v akusticky zatlumené místnosti laboratoře experimentální akustiky HAMU mající vyrovnanou dobou dozvuku 0,4 s dle normy ČSN 73 0526, nahrávky zvuku byly synchronně spouštěny se záznamy vysokorychlostní kamerou (*Vision Research V611*) při krátkodobém vypnutí ventilátorů kamery i zdroje světla, hrány byly tóny prázdné struny G továrních houslí (*Strunal*) se základní sadou strun (*Thomastik Dominant*), byly nahrány při hře bez akcentu (*detache*), bez vibrata (*senza vibrato*), smyčcem od špičky (*arcata in su*), ve třech polohách vůči kobylce (*sul tallone, modo orinario, sul ponticello*) a třemi typy přítlaku (*p, mf, ff*), vždy se 3 opakováními). Pro poslechové testy bylo v předtestech se třemi houslovými experty vybráno 10 zvuků z původně 27 záznamů. Po výběru pokrývaly zvuky celý původní rozsah rozdílně drsných tónů bez opakování stejných vlastností. Z těchto 10 zvuků byl pak ještě vypuštěn zvuk 7 (jeho znění kolísalo, takže by byl mezi ostatními zřetelně identifikovatelný) a Rossův algoritmus tak mohl být výhodněji aplikován na lichý počet stimulů. Vzdálenost zdroj - umělá hlava byla 2 metry, aby byl záznam proveden ve vzdáleném (ustáleném) zvukové poli houslí. Konečná konfigurace i plán experimentu se v průběhu realizace experimentu neměnil. Teplota nástroje byla držena odkloněním lampy v době mimo záznam na 22°C.

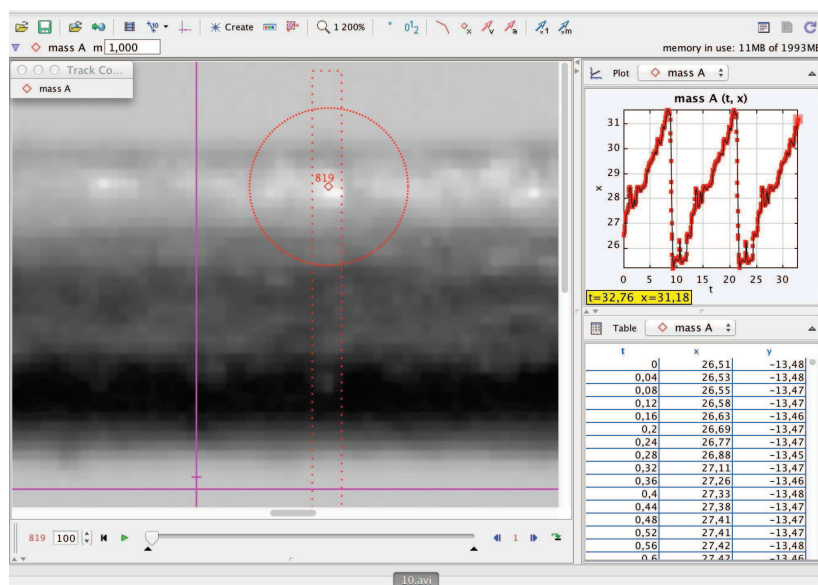
Pro archivaci zvuku byl použit stereofonní záznam normalizovaný na stejnou hlasitost (formát pcm wav, stereo, 32 bit, 96000Hz, kalibrováno na 0 dB_{SPL}). Tento záznam byl ve třetím kanálu synchronizován s kamerou pomocí elektronického časovače, vydávajícího kameře znamení k zahájení záznamu. Následně v software Cooledit (Syntrilium) byl počátek upraven tak, aby zvuková stopa začínala se sekvencí snímků vysokorychlostní kamery. Všechny audio záznamy byly zkráceny na stejnou délku 0,5s. Z důvodu, aby nebyla drsnost ovlivněna směrovými vlastnostmi houslí a prostoru, byl stereofonní záznam převeden na monofonii. V počátečním a koncovém 50ms úseku byl vytvořen pozvolný nástup tónu lineárním zesílením a ztlumením funkcí *fade-in* a *fade-out*. Záznam byl reprodukován sluchátky (Melka 2005). Přenosová funkce sluchátek SENHEISER (HD 580 Precision) odpovídala přenosové funkci umělé hlavy, aby byla zachována věrná reprezentace nahraného signálu.

Záznam kamerou (viz Obr. 1) byl proveden v úhlu kolmém na osu podélného pohybu smyčce. Kvůli omezené citlivosti rozpoznávacího software na principu hledání nejlepší korelace součtu kontrastních bodů s hodnotami součtu kontrastních bodů na následujícím snímku ve vymezené oblasti, byla struna označena bílými body po své délce.



Obr. 1 Fotodokumentace snímání pohybu struny vysokorychlostní kamerou

V rámci této práce byl vyhledán, ozkoušen a použit open source software Tracker k analýze a modelování pohybů video záznamu (Tracker) k rozpoznání polohy kontrastního místa na struně a kobylce vůči pevnému systému souřadnic v celé sekvenci snímků. V tomto software lze měřit i více pohybů pro jeden záznam, bylo ověřeno měření rychlosti smyčce snímáním papírového měřítka přilepeného na smyčec. V jiných oborech používané přístupy k rozpoznávání pohybu (například software digital image correlation) nebylo možné v souvislosti s kmitáním struny použít, protože tento software není vhodný na rozpoznání tenké, pohybující se struny na stabilním pozadí, ani na rychlé změny pohybu čase. Software Tracker (Tracker), viz Obr. 2, hledá na následujícím snímku metodou součtu čtverců oblast, která nejlépe odpovídá hodnotám jasu obrazových pixelů uživatelem zakroužkované předlohy na prvním nebo předchozím snímku. Do této oblasti kroužek přemístí a zaznamená jeho nové souřadnice do časového průběhu sledování polohy zakroužkované oblasti. Oblast umístí s přesností zlomku pixelu. Postup sledování byl odzkoušen na 9-ti videosekvencích a bylo vytvořeno celkem 36 časových průběhů, vždy pro dva úseky každého záznamu (rozmezí 0 - 6000 snímků) na kobylce a struně. Tato data jsou připravena pro další zpracování.



Obr. 2 Zpracování záznamu struny v software Tracker

Poslechové testy

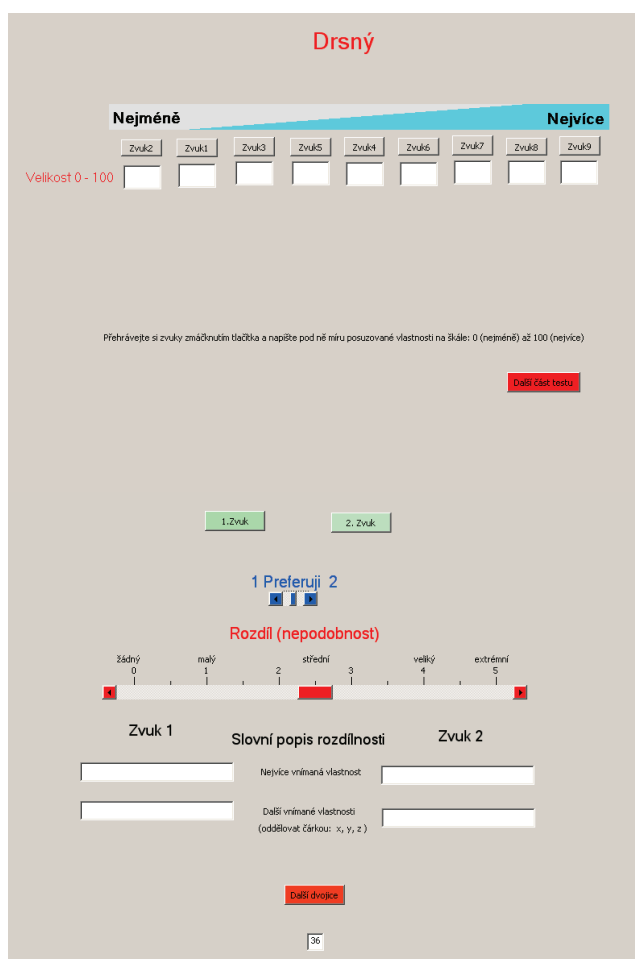
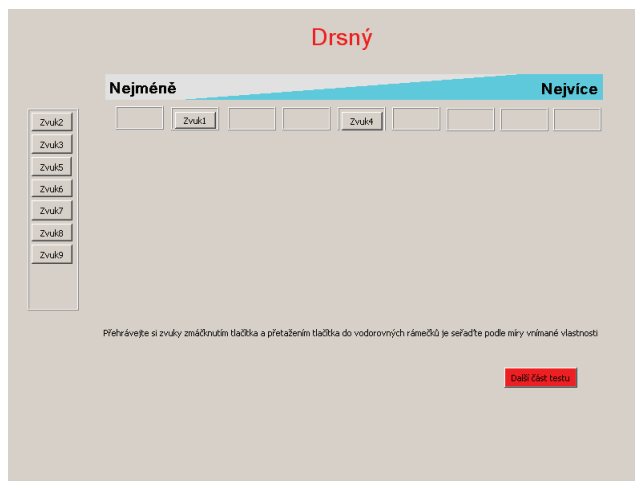
Práce zkoumá míru drsnosti zvuků jako vyjádření posluchačů při srovnání dvou zvuků, lišících se zejména v drsnosti, metodou posouzení nepodobnosti na nepodobnostní posuzovací škále v rámci párového srovnávání a metodou seřazování podnětů do pořadí.

Nepodobnostní matice byly získány metodou *párového srovnávání*. Tato metoda umožňuje zjistit rozdíly dvou podnětů s velkou přesností a využitím krátkodobé paměti a vyloučením některých zkreslení, zejména některých zkreslení způsobených kontextem. Tato metoda je nejpresnější metodou srovnání (Melka 2005) ale umožňuje srovnat jen malé počty zvukových záznamů.

Ve testu *seřazování podnětů do pořadí* respondent zadával míru vlastnosti (drsnost) seřazením tlačítek přehrávajících zvuk na vodorovné grafické škále zleva doprava a následným upřesněním číslem v rozsahu škály: 0 (žádná) – 100 (maximální).

Design poslechového testu

Testy byly připraveny v programu LiTED (Listening Test Editor (LiTED, viz obrazovky Obr. 3). Vytvořené poslechové testy zde pak byly také administrovány posluchačům. Poslechový test tvoří na sebe navazující sekce (přihlašovací obrazovka, zácvková obrazovka s plnohodnotným testem a vysvětlivkami a samotný preferenční a nepodobnostní test s inkorporací Rossova algoritmu). Po ukončení této sekce následoval rozřazovací test podle míry vnímané drsnosti na grafické škále a test s obrazovkou sloužící k přiřazení míry vnímané drsnosti. Tento postup se ukázal jako nejlepší z hlediska zácviku pokusné osoby a schopnosti se soustředit. Obrazovky testu vyplňovaly celou obrazovku počítače a posluchač spouštěl další krok testu vždy tlačítkem další.



Obr. 3 Snímky obrazovek v poslechovém testu. Seřazovací test: 1. obrazovka (nahore) Seřazovací test: 2. obrazovka (uprostřed), Párový test (dole)

Provedení poslechových testů

V tomto projektu se párový test sestával ze 4 částí:

1) Utváření profilu posluchače (charakteristiky subjektu). V profilu posluchače byly sbírány údaje: datum narození, zkušenost s poslechovými testy, hudební zkušenost (vzdělání, aktivní

provozování hudby, aktivní poslech). Posлуhač byl seznámen s problematikou výzkumu.

2) Závčkové kolo testu: posluchač byl seznámen s praktickým ovládním grafického prostředí testu, bylo po něm vyžadováno plné ovládnutí tabulky verbálních deskriptorů barvy zvuku hudebních nástrojů a byly mu přehrána kombinace náhodných podnětů, na kterých se posluchač snažil zacvičit a zdokonalit svou konzistenci v identifikaci rozdílů. Posuzované vlastnosti byly jasně a jednoznačně definovány (Melka 2005, s. 165)

3) Samotný test párového srovnávání sestávajících s porovnání 36 párů zvuků, určení míry jejich preference metodou nucené volby, určení nepodobnosti podnětů na grafické nepodobnostní škále doplněné numerickými hodnotami s pomocným slovním upřesněním. Jejich rozsah vycházel z metodik použitých pro párové srovnávání Štěpánkem a Otčenášekem. 0 (žádná odlišnost) až 5 (extrémní odlišnost). Tato stupnice se osvědčila při předchozím posuzování zvuků a doporučuje jí také Melka (2005). Slova u škály pomáhají posluchačům při orientaci a ukotvují hodnocení posluchačů (omezení chyby centrální tendence). Odpovídaly slovům, která doporučuje pro posouzení intenzity Rohrman (2003) a Kurtz, White a Hayes (2000). Hodnoty na škále vyjadřují míru percepční, nikoliv psychofyzikální veličiny. Data z poslechových testů byla zpracována *nemetrickými* metodami. U každé dvojice zvuků respondent popsal slovně vnímané rozdíly mezi zvuky. Popisy zapisoval k prvnímu nebo druhému zvuku, podle toho, kde je vnímal. Zápisy prováděl do polí pro verbální deskriptory. Spontání slovní popisy mohl upřesňovat nahlížením do seznamu 60 slov vhodných k popisu hudebního zvuku převzatého z (Štěpánek, Moravec 2005). Seznam viz Obr. 4.

4) Rozhovor nad výsledky slovních deskriptorů barvy zvuku, který vedl administrátor testu a upřesňoval zejména synonymní významy respondentem použitých slovních popisů.

Abeceční seznam slov (60 nejčastějších slov používaných k popisu barvy zvuku hudebních nástrojů)

B	bručivý	bzíkavý	bzučivý			barevný
Č						čistý
D	drsný	dunivý	dutý			
H	hrubý	hučivý	hutný			hebký
Ch	chladný					chvějivý
J				jadrný	jasný	jemný
K	křaplavý	kolísavý	kovový	kulatý	konkrétní	kultivovaný
L						lesklý
M	mdlý	mečivý			měkký	medový
N	nakřáplý	nasální				nosný
O	ostrý					
P	pisklavý	přidušený	plochý	průrazný	plný	průzračný
R	řidký					
S	skřípavý	syčivý		světly	sladký	sametový
Š	šustivý	šumivý				široký
T	temný	tmavý	tenký	tupý	tvrdý	teplý
Ú	úzký					
V	výrazný				vyrovnaný	vřelý
Z	zastřený			zvonivý	zářivý	zněly
Ž						živý

Obr. 4 Snímek tabulky s popisnými atributy převzatá z (Štěpánek, Moravec 2005)

Poslechové testy byly uskutečněny s 20 posluchači (2 hodnotitelé neprovedli seřazovací testy). Skupina expertů byla součástí stále poslechové skupiny HAMU, skupinu laiků tvořili dobrovolníci z řad studentů Karlovy univerzity. Test trval 60 – 70 minut ve výjimečných případech i déle. Test byl poměrně dlouhý a náročný, posluchači byli vedeni k přestávce v jeho průběhu.

Poslechové testy proběhly v oddělené, akusticky příjemné místnosti, izolované od rušivých vlivů (v psychoakustické laboratoři, poslechové místnosti zvukového studia HAMU a v místnosti knihovny společenských věd T.G. Masaryka v prostoru Jinonického areálu Fakulty humanitních studií). Asistent se v průběhu testu zdržel nevhodné interakce s pokusnou osobou (Melka, 2005). Posluchači byli dotázáni na nepohodí a v průběhu poslechových testů nebyly nahlášeny komplikace např. s těsnými sluchátky.

Výsledky testu byly exportovány a tvořily tabulka pořadí zvuků drsnosti a nepříjemnosti, preferenční matici, matice nepodobnosti, matice slovních popisů nejvýraznější rozdílné vlastnosti a matice dalších slovních popisů rozdílností.

Možná zkreslení v měření: byla dodržena stálost prostředí i experimentátora (efekt zrání a přirozeného vývoje pokusných osob (Melka 2005)), řádně vysvětleny pojmy, a protože nebylo možné délku testu zkrátit, byly subjektům povoleny a doporučeny krátké přestávky (omezení efektu měření). Posuzovatelé byli zacvičeni v zahřívacím kole poslechového testu, jehož výsledky nebyly napojeny na databázi (Halo efekt), pozornost byla věnována využití škály (chyba centrální tendence (Melka 2005), chyba kontrastu byla adresována snahou o heterogenitu skupiny a dostatečným počtem posuzovatelů. Podněty byly uspořádány a přehrány pomocí Rossova plánu pro uspořádání podnětů (Ross 1939), čímž byla omezena chyba blízké asociace a Fechnerova chyba polohy a času. Pro chybu posuzovacího stylu a logickou chybu (Břícháček 1978) byl soubor testován testem mezisubjektové reliability a v rámci předvýzkumu proběhl retest.

Analytické postupy

Multidimenzionální škálování (MDS)

Ke analýze dat je použita metoda multidimenzionálního škálování. Multidimenzionální škálování je metoda, kterou lze zobrazit vzdálenosti mezi určitými objekty (např. zvukovými stimuly) jako polohy bodů v prostoru vyjádřené vzájemnou nepodobností. Prostor má tolik dimenzí, kolik je nutné k přesnému převodu nepodobností mezi objekty na vzdálenosti bodů (Groenen, Velden 2004). MDS je vytvořena z údajů o míře nepodobnosti mezi objekty (nepodobnosti mezi zvukovými podněty jsou převedeny na euklidovské vzdálenosti). Touto metodou lze sestavit geometrickou mapu vzájemných vazeb jednotlivých zvuků formou poloh bodů v určitém prostoru s n -dimenzemi (tj. se systémem n souřadných os). V případě vazeb získaných na základě vnímání lze takovýto prostor nazvat percepčním prostorem.

Vhodnou dimenzionalitu prostoru pro daný soubor objektů lze zvolit po posouzení stresového faktoru. Stresový faktor (stres, např. D-hat) ukazuje, míru, kterou při dané dimenzionalitě nemohly být správně dodrženy zadané vzdálenosti mezi objekty (vyšší faktor znamená horší dodržení). Příčinou vyššího stresu může být jak vyšší dimenzionalita řešeného prostoru, než byla zvolena, tak chyby v určení zadávaných vzdáleností. Transformace vzdáleností probíhá metodou optimálního převodu (*optimal scaling*). Pokud jsou do MDS prostoru převedena data se

shodnými nepodobnostmi v trojrozměrném řešení, rozmístění objektů utvoří povrch sféry. Tuto situaci lze považovat za *nulový model* (Groenen, Velden 2004). Situaci nulového modelu je možné odhalit na Sheppardově diagramu, který by měl podobu vodorovné přímky. Výsledný MDS prostor může být interpretován *systematickou metodou interpretace* (Melka 2005). Jednou ze systematických metod interpretace je metoda externí interpretace, založená na externích datech, získaných nezávisle na hodnotách nepodobnosti (metoda např. vnoření externí proměnné pomocí regresní přímky metodou vícenásobné regrese (*multiple regression*)).

Regresní analýza

Metoda vícenásobné regrese je statistická metoda, která v n -dimenzionálním prostoru hledá přímku (její koeficienty vzhledem k dimenzím), která by nejlépe vystihla hodnoty nějaké závislé proměnné na základě hodnot n nezávislých proměnných. Mírou vhodnosti dané vypočtené regresní rovnice pro vystižení variability závislé proměnné je *koeficient determinace* R^2 . Statisticky nízká hodnota indikuje nevhodnost vypočtené regresní přímky k proložení danou množinou bodů v n -dimenzionálním prostoru. V případě, že je regresní analýza použita k externí interpretaci MDS prostoru, tak nízká hodnota R^2 může nastat např. pokud by soudy posluchačů měly velký rozptyl. Podmínkou použití regresní analýzy je nezávislost nezávislých proměnných. Při použití s MDS prostorem je tato nezávislost dána systémem proložení vypočtené MDS konfigurace poloh objektů systémem ortogonálních hlavních os.

Faktorová analýza

Faktorová analýza spojuje jednotlivé datové proměnné na základě míry jejich vzájemné závislosti do nových proměnných (faktorů) tak, aby se zredukoval počet původních proměnných a původní variabilita všech dat byla co nejvíce zachována. Číslování faktorů je seřazeno podle toho, jak velký díl celkové variability dat jednotlivé faktory vyčerpávají. V této práci je faktorová analýza použita na odhalení nepodobnosti ve skupině posluchačů poslechového testu. Pro faktorovou analýzu byla použita metoda analýzy hlavních komponent (PCA).

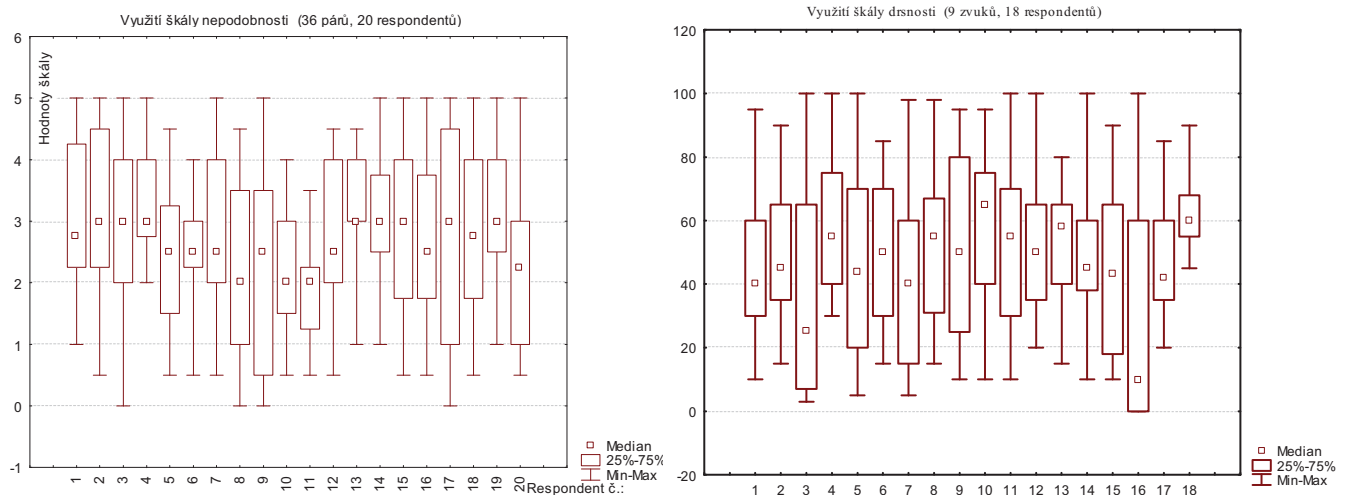
Shluková analýza

Shluková analýza je statistická metoda, která na základě zvolených pravidel organizuje n proměnných do shluků na základě podobnosti (nepodobnosti) daných hodnot (leze shlukovat i případy - *case*, zde nebude využito). Výsledkem je buď určitý menší počet shluků (*K-means*) nebo stromová struktura (*Tree*), ve které jsou shluky sestavovány postupně od jednotlivých proměnných, n -tic proměnných až po dvě skupiny sdružující všechny předchozí shluky mající mezi sebou nejmenší možnou podobnost. Shlukování nastává dle míry "příbuznosti" (propojení - *linkage*). Způsobů, jak stanovit míru příbuznosti je více. Jejich volba ovlivňuje, které proměnné budou do kterého shluku zařazeny, případně, na které úrovni větvení stromové struktury budou proměnné nebo již jejich shluky spojovány. Zde byly použity největší možné vzdálenosti a nemenší počet shluků jako pomocná analýza pro rozdělení respondentů testů do skupin s podobným hodnotícím modelem.

4. Zpracování výsledků

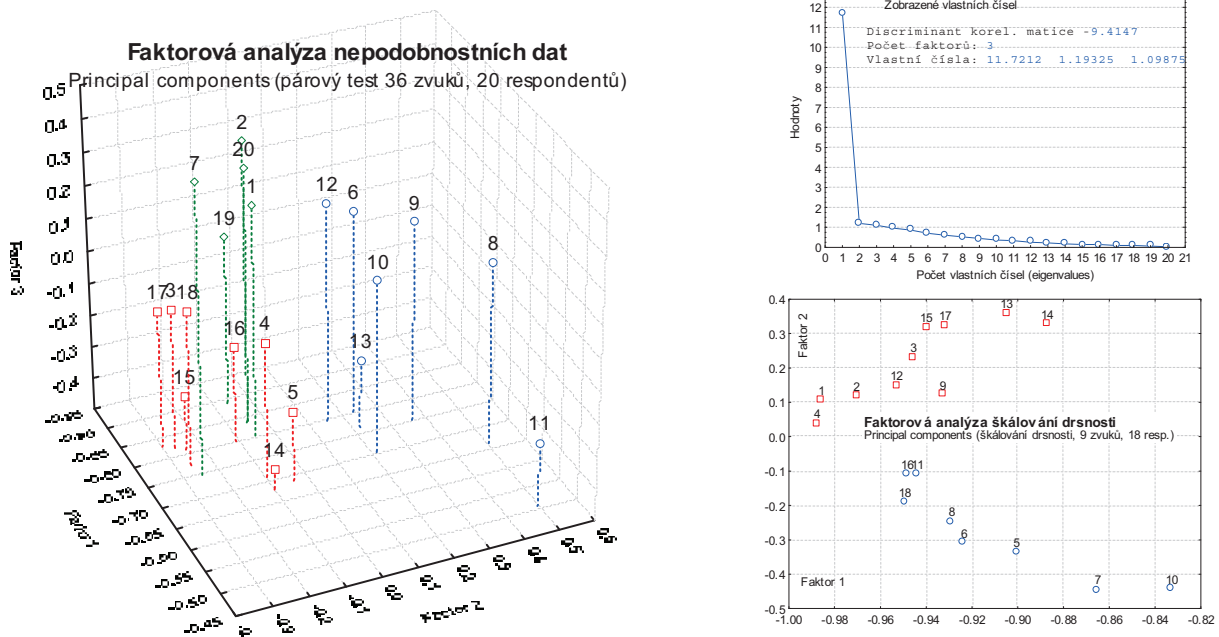
Deskriptivní statistika individuálních dat

Jako H_0 subjektů byla stanovena hypotéza, že všichni respondenti mají stejný sluch, shodný model pro posouzení testovaných vlastností a že shodně využívají škály. Pro posouzení této hypotézy byly použity krabicové grafy využití škál jednotlivými respondenty (využití nebylo shodné, viz Obr. 5).



Obr. 5 Využití škál respondenty a) párový test (vlevo) b) seřazovací test (vpravo)

Dále byla data jednotlivých posluchačů porovnána Spearmanovými korelacemi (viz Tab. 1) a faktorovou analýzou (viz Obr. 6). Hodnotami korelací se vyděloval posluchač 11 ($p < 0.01$) a byl si blíže s posluchači 6, 8, 10, 13, 14, 15 (na řádce 11 červeně). Ve faktorovém prostoru bychom jej mohli spíše zařadit do modře označené skupiny. Seřazovacího testu se nezúčastnili posluchači 11 a 20. Na hladině $p = 0.1$ se ve všech případech vyděloval pouze posluchač 11. Hypotéza H_0 byla na hladině $p = 0.01$ zamítnuta (na hladině $p = 0.1$ po vyloučení posluchače 11 je ji však možné přijmout).



Obr. 6 Respondenti ve faktorovém prostoru (sycení faktorů - factor loadings)

Spearman Rank Order Correlations (škálování drsnosti: 9 zvuků, 18 respondentů)
 Marked correlations are significant at $p < .01000$

Resp. č.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1.00000	0.983131	0.953983	0.979088	0.783043	0.887037	0.711303	0.836827	0.996825	0.811723	0.845196	0.953983	0.953983	0.895405	0.953983	0.944582	0.953983	0.794986
2	0.983131	1.00000	0.958017	0.949613	0.743617	0.823558	0.655485	0.789944	0.966421	0.739522	0.798348	0.966421	0.966667	0.949613	0.890788	0.949613	0.949613	0.756329
3	0.953983	0.958017	1.00000	0.950000	0.813676	0.833333	0.666667	0.866667	0.933333	0.733333	0.883333	0.966667	0.950000	0.800000	0.950000	0.927870	0.950000	0.850000
4	0.979088	0.949613	0.950000	1.00000	0.813676	0.933333	0.783333	0.866667	0.983333	0.883333	0.866667	0.983333	0.950000	0.900000	0.900000	0.953407	0.900000	0.816667
5	0.783043	0.743617	0.813676	0.813676	1.00000	0.915386	0.898434	0.983192	0.96725	0.830628	0.949289	0.745870	0.728918	0.525499	0.728918	0.848493	0.728918	0.983192
6	0.887037	0.823558	0.833333	0.933333	0.915386	1.00000	0.933333	0.933333	0.933333	0.933333	0.866667	0.900000	0.816667	0.786667	0.666667	0.919357	0.786667	0.883333
7	0.711303	0.655485	0.666667	0.783333	0.898434	0.933333	0.933333	1.00000	0.866667	0.750000	0.866667	0.750000	0.683333	0.550000	0.466667	0.500000	0.749106	0.550000
8	0.836827	0.789944	0.866667	0.866667	0.983192	0.933333	0.986667	1.00000	0.900000	0.850000	0.833333	0.966667	0.783333	0.800000	0.800000	0.919357	0.800000	0.983333
9	0.996825	0.966421	0.933333	0.983333	0.796725	0.916667	0.750000	0.850000	1.00000	0.850000	0.850000	0.850000	0.933333	0.883333	0.933333	0.953407	0.933333	0.800000
10	0.811723	0.739522	0.733333	0.883333	0.830628	0.966667	0.933333	0.833333	0.850000	1.00000	0.816667	0.800000	0.850000	0.650000	0.600000	0.650000	0.833333	0.783333
11	0.845196	0.798348	0.883333	0.866667	0.949289	0.900000	0.783333	0.966667	0.860000	0.800000	0.783333	0.966667	0.800000	0.816667	0.800000	0.919357	0.800000	0.983333
12	0.953983	0.949613	0.950000	0.900000	0.728918	0.766667	0.550000	0.800000	0.800000	0.833333	0.933333	0.900000	1.00000	0.916667	1.00000	0.927870	1.00000	0.783333
13	0.895405	0.890788	0.800000	0.816667	0.525499	0.666667	0.466667	0.600000	0.883333	0.600000	0.883333	0.600000	0.883333	0.600000	0.883333	0.916667	0.817206	0.916667
14	0.944582	0.892778	0.927870	0.953407	0.848493	0.766667	0.550000	0.800000	0.800000	0.800000	0.833333	0.900000	1.00000	0.916667	1.00000	0.927870	1.00000	0.783333
15	0.953983	0.949613	0.950000	0.900000	0.728918	0.766667	0.550000	0.800000	0.800000	0.800000	0.833333	0.900000	1.00000	0.916667	1.00000	0.927870	1.00000	0.783333
16	0.944582	0.892778	0.927870	0.953407	0.848493	0.766667	0.550000	0.800000	0.800000	0.800000	0.833333	0.900000	1.00000	0.916667	1.00000	0.927870	1.00000	0.783333
17	0.953983	0.949613	0.950000	0.900000	0.728918	0.766667	0.550000	0.800000	0.800000	0.800000	0.833333	0.900000	1.00000	0.916667	1.00000	0.927870	1.00000	0.783333
18	0.794986	0.756329	0.850000	0.816667	0.983192	0.883333	0.816667	0.963333	0.800000	0.783333	0.963333	0.750000	0.783333	0.550000	0.783333	0.876794	0.783333	1.000000

Spearman Rank Order Correlations (Pár test: 36 párů, 20 respondentů)
 Marked correlations are significant at $p < .01000$

Resp. č.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.00000	0.794907	0.632809	0.420704	0.439952	0.678515	0.645280	0.557467	0.638785	0.322198	0.246836	0.601851	0.691356	0.502315	0.636504	0.576615	0.644095	0.534744	0.720017	0.636357
2	0.794907	1.00000	0.633869	0.464460	0.492215	0.613000	0.724279	0.599674	0.636495	0.522837	0.225141	0.737022	0.598759	0.469622	0.558455	0.648999	0.665657	0.537943	0.684961	0.777024
3	0.632809	0.633869	1.00000	0.445817	0.487802	0.578394	0.682032	0.446444	0.443048	0.549932	0.353638	0.605927	0.593659	0.637530	0.728308	0.667478	0.781316	0.709844	0.632530	0.678933
4	0.420704	0.464460	0.445817	1.00000	0.349074	0.457986	0.365864	0.325056	0.299378	0.281928	0.322515	0.441120	0.452489	0.450812	0.689196	0.438515	0.431370	0.513340	0.663668	0.524310
5	0.439952	0.492215	0.487802	0.349074	1.00000	0.498748	0.343324	0.332898	0.573174	0.522468	0.240696	0.531805	0.587507	0.484769	0.552902	0.631914	0.542018	0.504653	0.589049	0.523221
6	0.678515	0.613000	0.578394	0.457986	0.498748	1.00000	0.633677	0.636451	0.769994	0.425960	0.425120	0.662200	0.618947	0.566308	0.635985	0.542548	0.688902	0.650501	0.647238	0.684712
7	0.645280	0.724279	0.682032	0.365864	0.343324	0.633677	1.00000	0.377811	0.576333	0.557378	0.291208	0.598607	0.399735	0.412401	0.538315	0.565139	0.657126	0.599974	0.542446	0.676104
8	0.557467	0.599674	0.446644	0.325056	0.332898	0.636451	0.377811	1.00000	0.567598	0.497772	0.476243	0.576015	0.625360	0.435562	0.446386	0.378762	0.500497	0.471654	0.568033	0.558465
9	0.638785	0.636495	0.443048	0.299378	0.573174	0.769994	0.576333	0.557598	1.00000	0.536795	0.372456	0.613676	0.662005	0.502397	0.453724	0.532127	0.511041	0.474019	0.564702	0.662450
10	0.322198	0.522837	0.549932	0.281928	0.522468	0.425960	0.425960	0.557378	0.497772	0.536795	1.00000	0.479310	0.617275	0.462456	0.370036	0.476605	0.539023	0.525366	0.430309	0.628433
11	0.246836	0.225141	0.353638	0.322515	0.240696	0.425120	0.291208	0.372456	0.372456	0.479310	1.00000	0.363451	0.449904	0.444254	0.423893	0.288896	0.364457	0.350996	0.374409	0.628401
12	0.601851	0.737022	0.605927	0.441120	0.531805	0.662200	0.598607	0.576015	0.613676	0.617275	0.479310	1.00000	0.498387	0.527366	0.468341	0.539023	0.525366	0.430309	0.471856	0.608081
13	0.691356	0.598759	0.593659	0.452489	0.587507	0.618947	0.399735	0.625360	0.662005	0.462456	0.449904	0.498387	1.00000	0.648341	0.704354	0.640194	0.613700	0.522169	0.702839	0.560651
14	0.502315	0.469622	0.637530	0.450812	0.484769	0.566308	0.412401	0.435562	0.502397	0.370036	0.444254	0.527366	0.648341	1.00000	0.668810	0.686810	0.522169	0.466364	0.541207	0.427537
15	0.576615	0.648999	0.667478	0.438515	0.631914	0.542548	0.565139	0.378762	0.532127	0.539023	0.286896	0.647808	0.640194	0.547269	0.748469	1.00000	0.714846	0.551688	0.665444	0.569247
16	0.644095	0.665657	0.781316	0.431370	0.542018	0.688902	0.657126	0.500497	0.511041	0.525366	0.364457	0.511041	0.525366	0.364457	0.511041	1.00000	0.738026	0.698948	0.667795	0.790415
17	0.534744	0.537943	0.709844	0.513340	0.504653	0.650501	0.599974	0.416542	0.474019	0.430309	0.350996	0.466666	0.522169	0.466364	0.670124	0.551688	1.00000	0.738026	0.698948	0.667795
18	0.720017	0.684961	0.632530	0.663668	0.589049	0.542446	0.586033	0.564702	0.471856	0.374409	0.430309	0.350996	0.466666	0.522169	0.466364	0.670124	0.551688	1.00000	0.738026	0.698948
19	0.636357	0.777024	0.678933	0.524310	0.523221	0.684712	0.676104	0.568465	0.662450	0.628433	0.327601	0.608081	0.560651	0.427537	0.619439	0.569247	0.667795	0.730415	1.000000	0.738625
20	0.636357	0.777024	0.678933	0.524310	0.523221	0.684712	0.676104	0.568465	0.662450	0.628433	0.327601	0.608081	0.560651	0.427537	0.619439	0.569247	0.667795	0.730415	1.000000	0.738625

Tab. 1 Hodnoty korelací odpovědí respondentů
 a) seřazovací test (vlevo) b) párový test (vpravo)
 (stejná číselná označení respondentů zde nepředstavují tytéž subjekty)

Data z nepodobnostních matic byla testována také pomocí Cronbachova alfa. Vyloučení kteréhokoli respondenta by znamenalo snížení celkové hodnoty, takže by nebylo přínosem. Toto kritérium poukazuje na to, že je možné soudy všech posluchačů sloučit do jedné proměnné

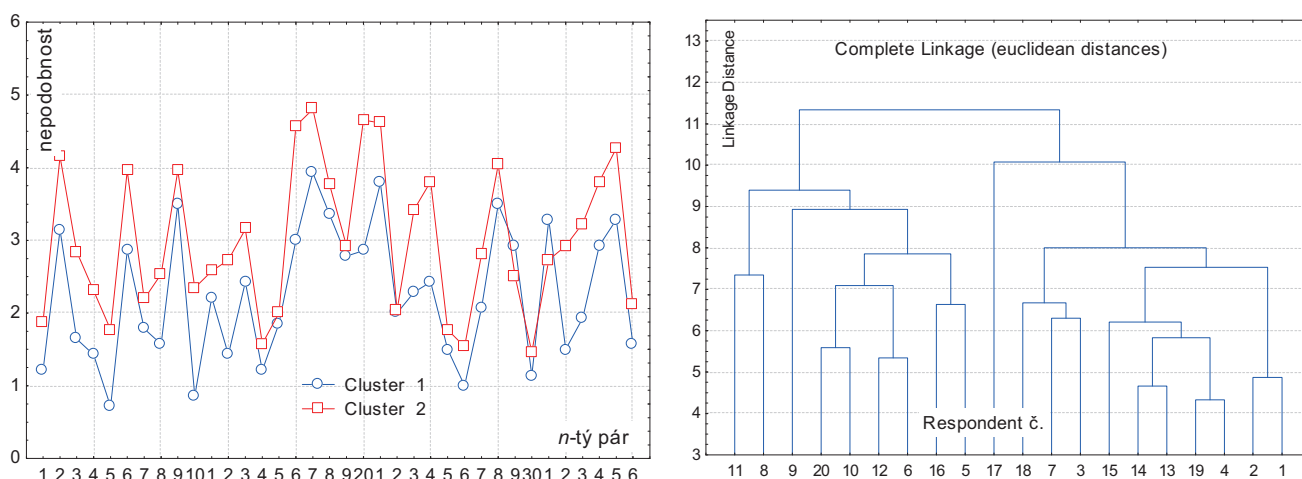
Na základě shlukové analýzy metodou K-průměru způsobem seřazení vzdáleností s konstantním intervalem byli respondenti seskupeni do 2 skupin (cluster), jak je uvedeno v Tab. 2.:

Tab č. 2: Seskupení respondentů

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Respondent č.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
CLUSTER	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1

Graf hodnot pro jednotlivé dvojice zvuků (1 až 36) z párového testu získaných zprůměrováním hodnot respondentů patřících do stejné skupiny (cluster 1, cluster 2) je na Obr. 7 vlevo.

Identické seskupení poskytla i shluková analýza metodou stromového shlukování (Tree Clustering) způsobem kompletního propojení s euklidovskými vzdálenostmi mezi skupinami, viz Obr. 3 vpravo.



Obr. 7 Zprůměrované hodnoty nepodobností pro obě skupiny respondentů (vlevo), stromová struktura propojení respondentů do shluků metodou Tree Clustering (vpravo)

Při interpretaci neshody posouzení byly uvedené rozdíly vysvětleny pomocí údajů, které byly získány v dotazníku, který respondenti vyplňovali při přihlášení se do testu. Respondenti ze skupiny 2 měli oba údaje charakterizujících hudební a posluchačskou zkušenost na hodnotě *ano*, což se zřejmě projevilo rozdílným modelem hodnocení i využití škál u této skupiny. Proto byla celá skupina posluchačů (*všichni*) ještě rozdělena na 2 soubory (*laici* v Obr. 6 a 7 modře a *experti* zbytek). Další zpracování dat pak bylo prováděno s hodnotami získanými zprůměrováním v rámci těchto tří skupin.

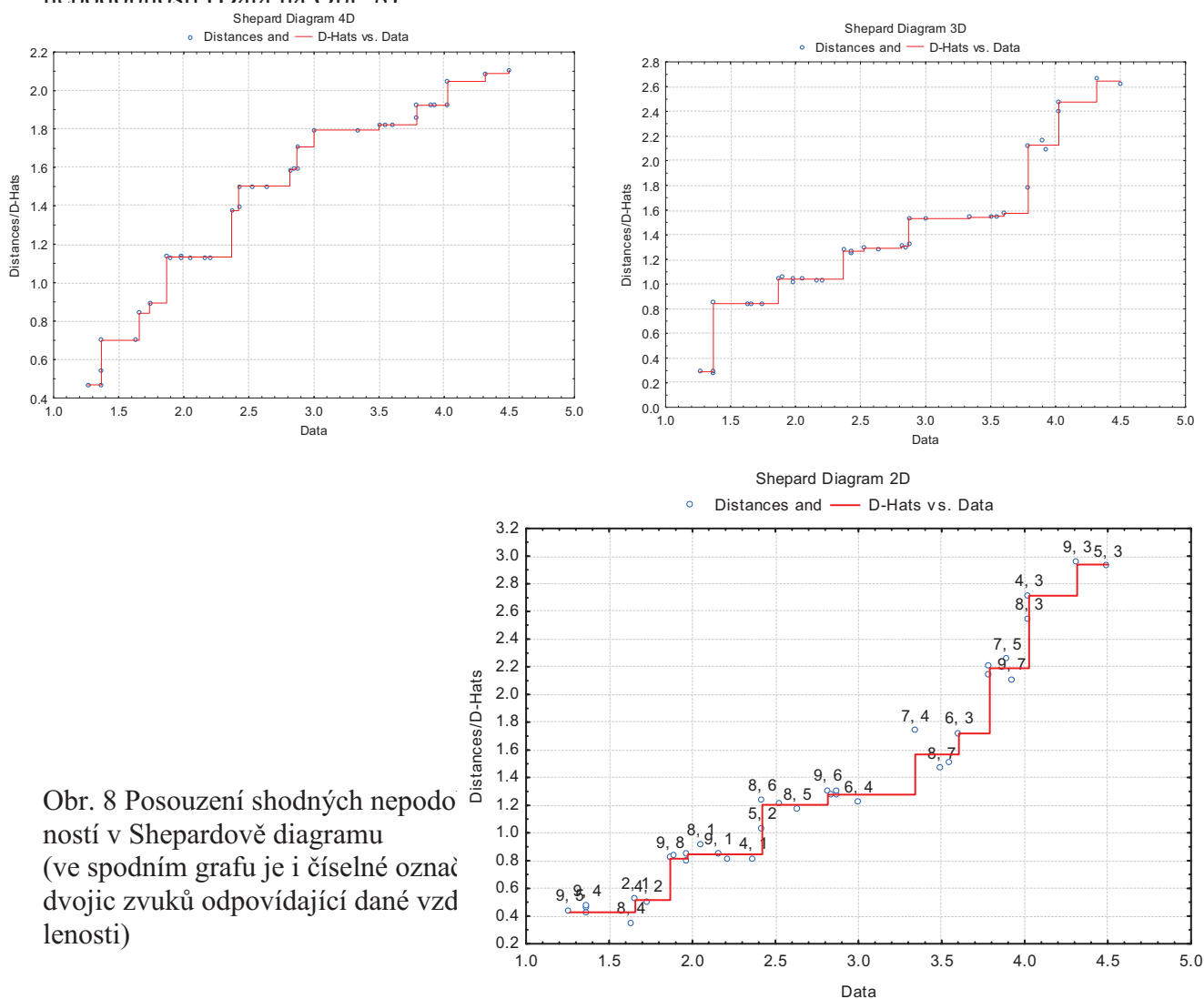
Posouzení reliability

Výsledky seřazovacího testu byly posouzeny na shodu hodnotitelů introtrídícím koeficientem korelace ICC (použit byl ICC typ 3.1). Pro soubor respondentů seřazování podnětů byla shoda

hodnocení statisticky významná a koeficient shody average measures ICC byl 0.98. Podobné výsledky shody pro soubor měl split-half test Cronbachova alfa. Vysoký koeficient ukazuje na vysokou míru shody posluchačů v oblasti jednotlivých pořadí. ICC byl pro skupinu expertů větší než stanovená hladina významnosti a korelační koeficient přesáhl číslo 0.95 pro skupinu laiků (případná *neshoda v míře by nebyla pro vytvoření průměrných hodnot podstatná*).

Percepční MDS prostory

Jako H_0 vícerozměrnosti byla stanovena hypotéza, že drsnosti je více druhů, takže percepční prostory vnímání různě drsných zvuků budou vícerozměrné. Pro posouzení této hypotézy byly nepodobnostní matice všech skupin (*všichni, experti, laici*) analyzovány MDS nemetrickou metodou CLASCAL (blíže např. Groenen, Velden (2004)). K posouzení kvality MDS řešení byly na Shepardově diagramu Groenen a Velden (2004, str. 7) porovnávány vzdálenosti mezi objekty v řešení MDS (Distance D-hat v grafech na Obr. 8) s původními hodnotami nepodobností (Data na Obr. 8)

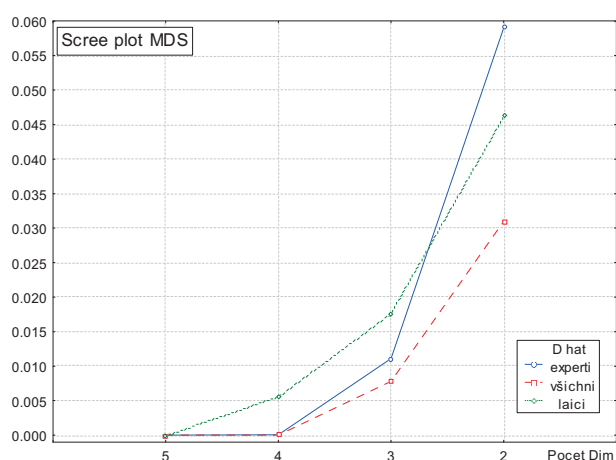


Obr. 8 Posouzení shodných nepodobností v Shepardově diagramu (ve spodním grafu je i číselné označení dvojic zvuků odpovídající dané vzdálenosti)

Všechna uvedená MDS řešení vyhovují, jelikož shodné nepodobnosti nastávají pouze omezeně. Ve 2D diagramu (dole na Obr.8) je však již mírně narušena vzestupná tendence vypočtených vzdáleností (např. pár 7-4 má v MDS prostoru větší vzdálenost než páry 6-7 a 6-3, ale v původních datech byly ve vzestupném pořadí 6-7, 6-3, 7-4). Na základě Shepardova diagramu je 4D řešení nejlepší a 2D řešení nejhorší.

K dalšímu upřesnění počtu dimenzí potřebného k co nelepšimu vystižení nepodobnostních dat z párového poslechového testu byly hodnoty D-hat stresu vyneseny v grafu (Scree plot viz Obr. 9).

Zlomový nárůst stresu pro skupinu *experti* nastává při snížení dimenzionality ze 4 na 3, při 2D řešení již má hodnotu větší než pro 2D řešení skupiny *laici* (tzn. jejich 3D a zejména 2D řešení nedovoluje úspěšné zachování nepodobnosti z testu). Stres pro skupinu *laici* roste s ubývající dimenzionalitou bez zásadního zlomu. Stres v případě postupného snižování dimenzionality MDS prostoru pro data vzniklá zprůměrováním nepodobnostních matic všech respondentů (skupina *všichni*) je pro 5D a 4D řešení zcela srovnatelný se skupinou *experti* a pak roste méně strmě; 5D, 4D, 3D i 2D stres skupiny *všichni* je vždy nižší než skupiny *laici*. Z uvedeného vyplývá, že při stanovení míry nepodobnosti neměly skupiny *laici* a *experti* stejný model posuzování. Zprůměrování všech dat ve skupině *všichni* 4D řešení nezhoršilo, ale 2D řešení se stalo vlivem posouzení skupiny *laici* méně nevhodné než u skupiny *experti*.



Obr. 9 Hodnoty D-hat stresu 2 až 5-ti dimenzionálních MDS prostorů z dat skupin *experti*, *všichni* a *laici*

Závěry:

Hypotéza **H₀ subjektů** byla zamítnuta. Posluchači neměli stejné modely hodnocení nebo nevyužívali shodně škály. Avšak, jsou-li pro účely další analýzy sloučeni do jediné skupiny (*všichni*), nevzniká statisticky významná chyba.

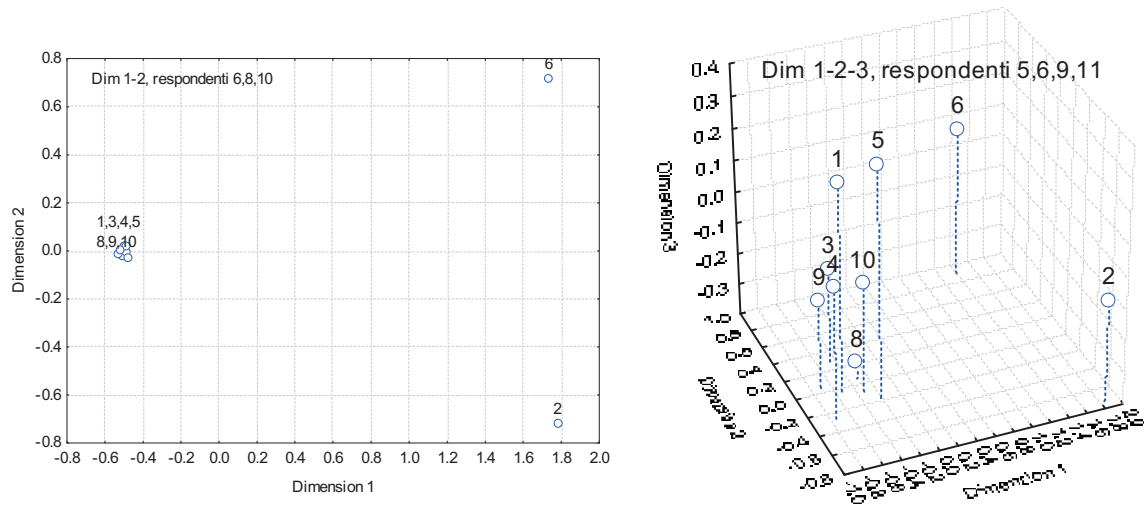
Hypotéza **H₀ vícerozměrnosti** byla přijata. Pro úspěšné vystižení nepodobnostních dat je nezbytná následující **volba dimenzionality MDS řešení:**

Skupina *experti* má optimální 4D řešení.

Skupina *laici* má optimální 2D řešení.

Skupina *všichni* má optimální 4D řešení (3D i 2D řešení jsou lepší než u jednotlivých skupin samostatně)

Laici zřejmě nerozlišili ve vjemech tolik rozdílností, takže jim některé dvojice zvuků připadaly více podobné a v posouzení jemných rozdílů se lišili mezi sebou. Toto dokumentuje 2D i 3D řešení z dat výběru respondentů ze skupiny *laici* (viz Obr. 10). Většina zvuků je zde soustředěna do jednoho místa a vydělují se pouze zvuky extrémní.



Obr. 10 MDS 2D řešení pro zprůměrovaná data respondentů 6, 8, 10 (vlevo) a 3D řešení pro zprůměrovaná data respondentů 5, 6, 9, 11 (vpravo), všichni respondenti jsou ze skupiny *laici*

Slovní popis vnímaných vlastností zvuků

Data jednotlivých respondentů ze seřazovacího testu drsnosti byla průměrována též ve skupinách *všichni*, *experti* a *laici*. Tyto hodnoty drsnosti přiřazené jednotlivým zvukům zachycují první tři sloupce v Tab. 3. V této práci byly zatím použity pouze hodnoty skupiny *všichni*. Porovnávání výsledků dalších skupin a jejich vnořování do skupinových MDS percepčních prostorů je připraveno pro navazující výzkum v diplomové práci.

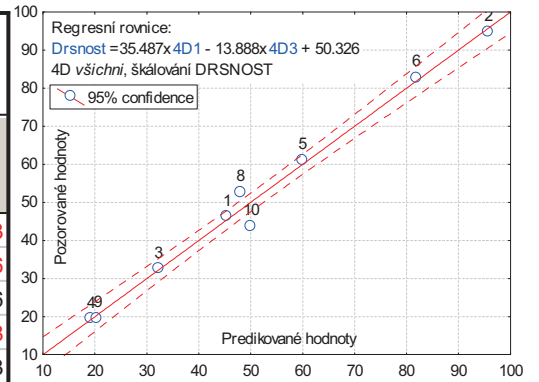
Tab. 3 Slovní popis vnímaných vlastností zvuků

Slovní popis:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Drsnost <i>všichni</i>	Drsnost <i>experti</i>	Drsnost <i>laici</i>	křapavost	hrubost	řezavost	bzučivost	šumivost	tmavost	světlost	zastřenost	kvintování
1	46.2	44.3	48.3	12	44	19	30	20	15		22	
10	43.7	46.3	41.1	7	12	11	29		16	5	20	82
2	94.8	94.4	95.1	102	86	17			5			
3	32.5	21.3	43.8			39	57			29		
4	19.4	23.9	15.0		9		14	10	37	5	38	
5	61.1	64.4	57.9	27	60	13	26	40	15	5	21	
6	82.9	79.1	86.6	57	58	96	7	7		14		
8	52.7	39.1	66.3		29	62	55	6		18	10	5
9	19.6	15.0	24.3		29	62	55	6		18	10	5
-												
Další:				nakřáplý	hrubý	řezavý	bzučivý	šumivý	tmavý	světlý	zastřený	dvojzvuk
-				křapavý	drsný	ostrý	bzikavý	zašuměn	temný	jasný	matný	kvintující
-				rachtavý		průrazný		šustivý			mdlý	disonantní
-				chraplavý		agresivní		syčivý			špinavý	neharmon.
-				chrčivý								
-				drnčivý								
-				hrčivost								

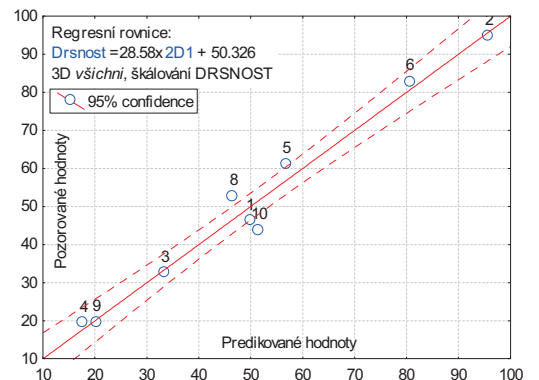
Individuální matice slovních popisů získaných při párovém testu byly sloučeny do jediné matice sřetením slov, které přiřadili respondenti danému zvuku v páru. Přestože byla použita kombinovaná metoda spontánních odpovědí s možnostmi nahlížení respondenta do slovníku slov popisujících barvu zvuku (doporučená volba), celkem se v odpovědích vyskytlo 586 různých slov. Přibližně 1/2 tvořily slova s chybným zápisem (např. hrubý – hrby – hruby) nebo s jiným tvarem (např. hrubý – hrubost – hrubější), určitá skupina slov se vyskytovala společně a měla synonymní charakter (např. nakřáplý, křaplavý, chraplavý ...). Synonymní vazby byly též upřesňovány s respondenty ihned po skončení testů, když se při společném prohlížení výsledků administrátor dotazoval, jakou souvislost mají nezvyklá slova, která použil respondent, se slovy, která používá většina dalších. Takto byly identifikovány i další synonymní vazby (např. řezavý – agresivní – průrazný). Přibližně další třetinu tvořila slova, která byla použita méně než 5x a pro popis slovní popis zvuků nebyla využita. Počty výskytu pro slova, která byla vybrána na základě mého vlastního uvážení jako reprezentanti slovních popisných kategorií doplněné výčtem do dané kategorie patřících synonymních slov (např. křapavost, hrubost, šumivost...) u jednotlivých zvuků byly zaneseny do tabulky, viz Tab. 3. V této práci ještě nebyly využity, ale jsou připraveny pro další pokračování tohoto výzkumu v navazující práci.

Pro externí interpretaci MDS prostorů byla použita metoda vícenásobná regrese, kterou byly do prostorů vnořovány hodnoty z poslechového testu škálování drsnosti (1. sloupec v Tab. 3). Nejmenší R² vyšel pro 4D řešení. Výsledky regrese, regresní rovnice a grafy souvislostí pozorovaných hodnot a hodnot predikovaných regresní rovnicí pro 4D, 3D a 2D MDS řešení pro skupinu *všichni*, viz Obr. 11.

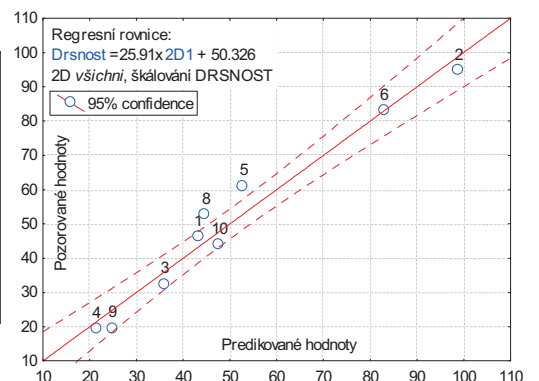
Regression 4D všichni, závisle proměnná: Drsnost						
R= .99378250 R2= .98760366 Adjusted R2= .97520733						
F(4,4)=79.669 p<.00046 Std.Error of estimate: 4.1023						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(4)	p-level
N=9						
Intercept			50.3264	1.367428	36.80370	0.000003
4D 1	0.961504	0.055669	35.4873	2.054652	17.27167	0.000066
4D 2	0.022319	0.055669	1.1294	2.816870	0.40093	0.708966
4D 3	-0.239701	0.055669	-13.8887	3.225581	-4.30579	0.012588
4D 4	-0.071830	0.055669	-4.6871	3.632606	-1.29030	0.266483



Regression 3D všichni, závisle proměnná: Drsnost						
R= .98707025 R2= .97430769 Adjusted R2= .95889230						
F(3,5)=63.204 p<.00021 Std.Error of estimate: 5.2823						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(5)	p-level
N=9						
Intercept			50.3264	1.760777	28.58193	0.000001
3D 1	0.964313	0.071683	28.5881	2.125124	13.45245	0.000041
3D 2	-0.147743	0.071683	-7.6794	3.725952	-2.06106	0.094306
3D 3	-0.150266	0.071683	-12.2913	5.863468	-2.09626	0.090181



Regression 2D všichni, závisle proměnná: Drsnost						
R= .97985094 R2= .96010786 Adjusted R2= .94681048						
F(2,6)=72.203 p<.00006 Std.Error of estimate: 6.0087						
	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(6)	p-level
N=9						
Intercept			50.32639	2.002883	25.12697	0.000000
2D 1	0.967643	0.081539	25.91985	2.184165	11.86717	0.000022
2D 2	-0.154191	0.081539	-9.49517	5.021234	-1.89100	0.107503

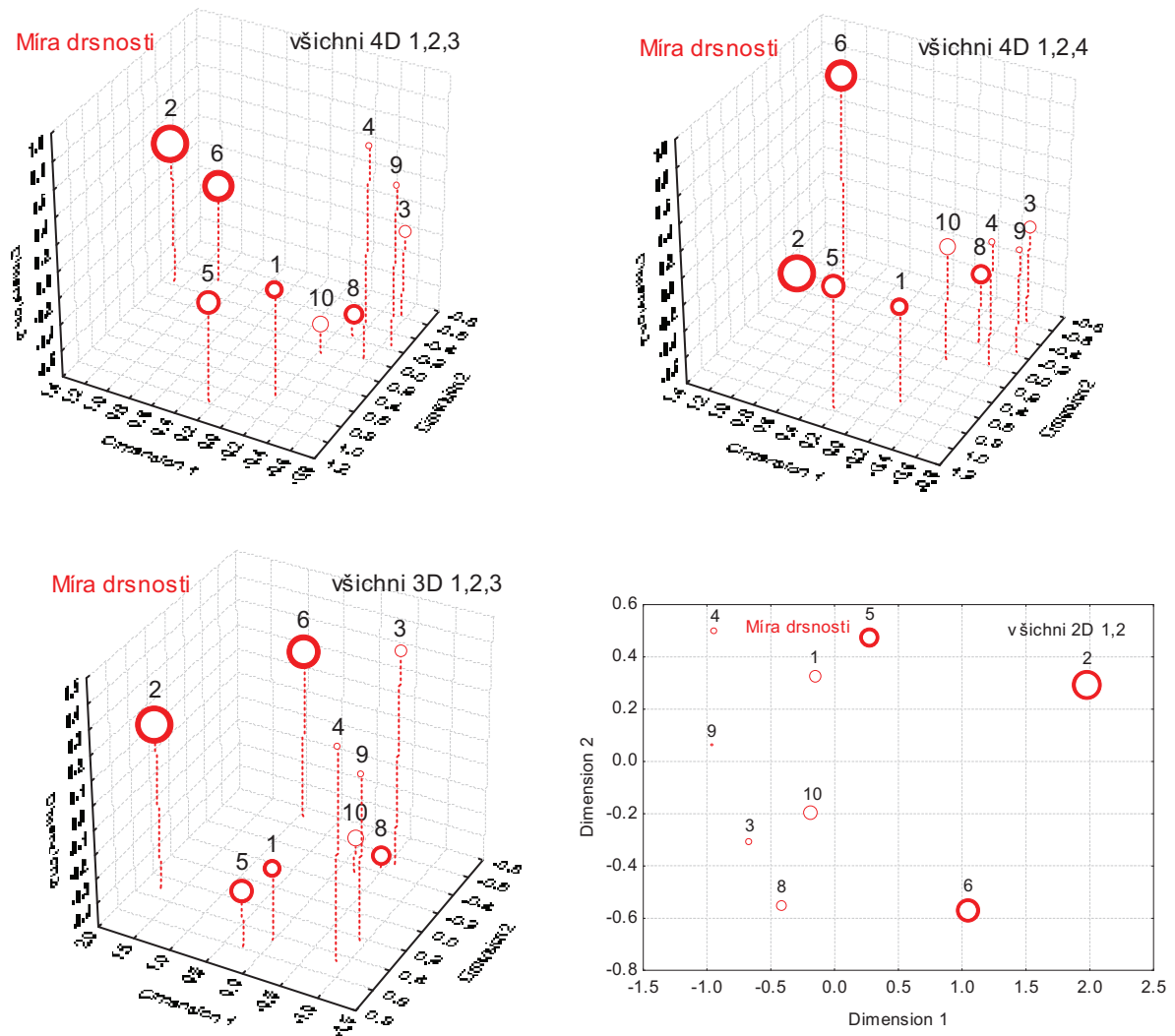


Obr. 11 Výsledky vnoření hodnot drsnosti ze seřazovacího poslechového testu do 4D (nahore), 3D (uprostřed), 2D (dole) MDS řešení pro skupinu *všichni*. Hodnoty regresních koeficientů jsou shrnuty v tabulkách (vlevo). Regresní rovnice a průběhy závislosti pozorovaných hodnot na hodnotách predikovaných regresní rovnicí jsou v grafech (vpravo). Všechny predikované hodnoty leží v pásnu 2σ .

Jako druhá metoda vnoření bylo použito grafické zobrazení míry drsnosti pomocí velikosti bodů reprezentujících polohu zvuku v jednotlivých n -rozměrných MDS řešeních (viz Obr. 12, zobrazeny jsou míry drsnosti získané průměrováním hodnot skupiny *všichni* uvedené v 1. sloupci Tab. 3).

Vnoření vlastnosti drsnost ze seřazovacího testu do percepčních prostorů je zde vysoce úspěšné a jednoznačné ($R^2 > 0.96$). Z obou použitých typů vnoření vyplývá, že drsnost ve všech percepčních prostorech přibývá ve směru 1. dimenze. Ve 4D MDS řešení přibývá vzhledem k osám šikmo (směr je dán kombinací 1. dimenze a záporně orientované 3. dimenze, viz regresní rovnice). Místa s stejnou mírou drsnosti jsou zde útvary kolmé ke směru vnoření (jde o podprostor kolmý ke směru regresní přímky: ve 2D prostoru se jedná o kolmou přímku, ve 3D

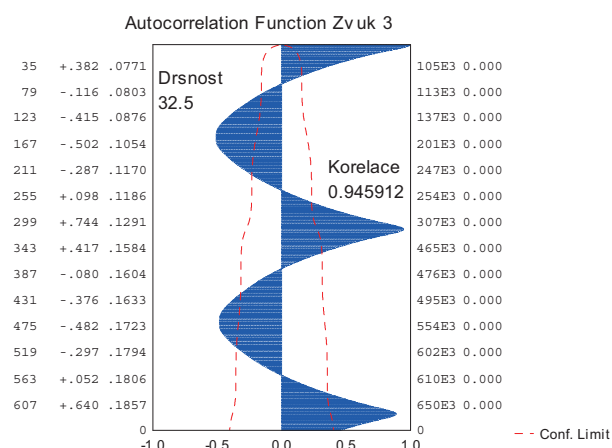
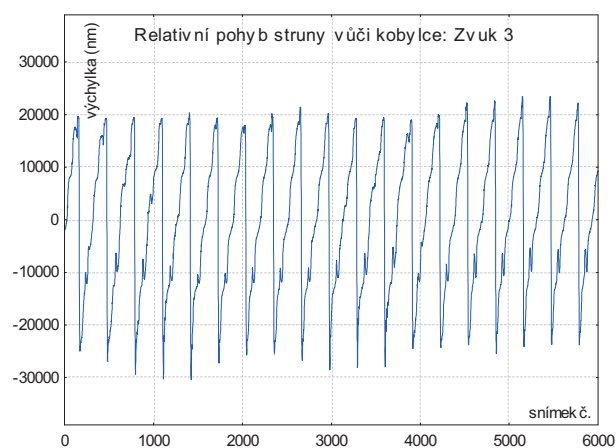
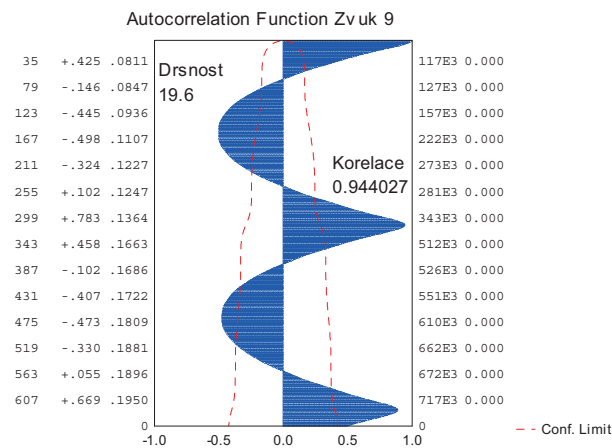
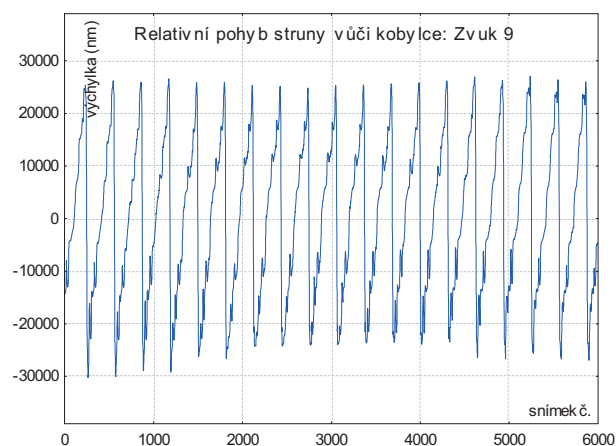
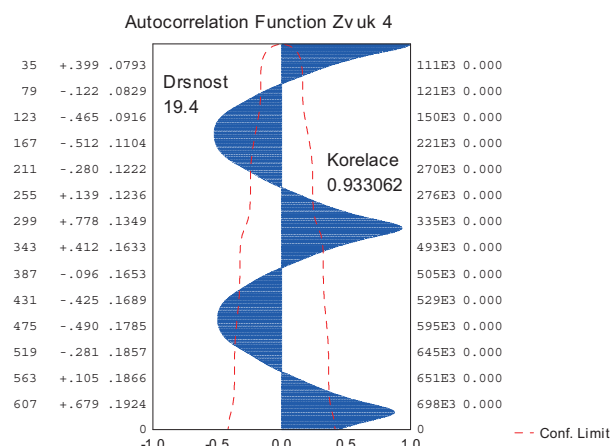
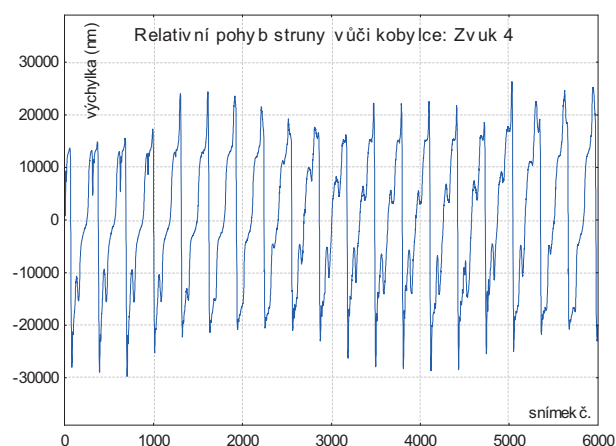
prostoru o kolmou rovinu a ve 4D prostoru o kolmý prostor). Obdobným způsobem budou v navazující práci vnořovány další vnímané vlastnosti, získané ze slovního popisu v párovém poslechovém testu (viz křapavost, bzučivost a další v Tab. 3)

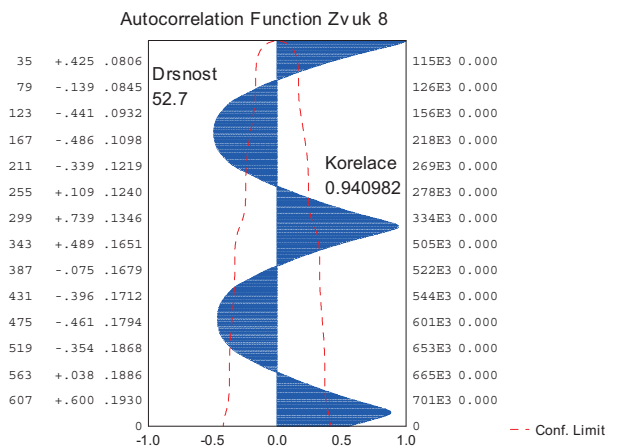
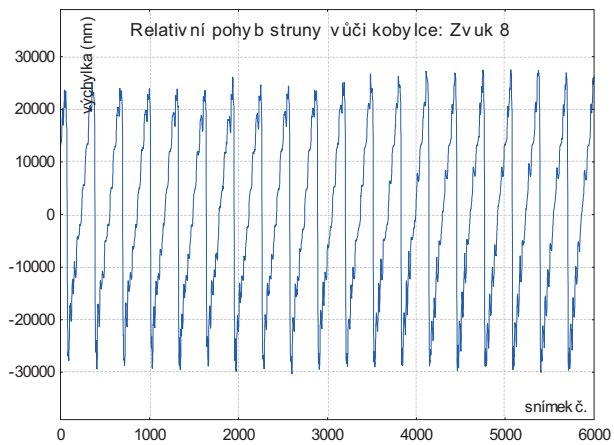
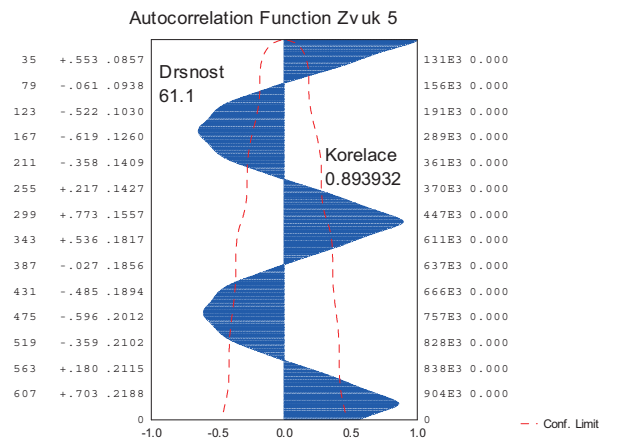
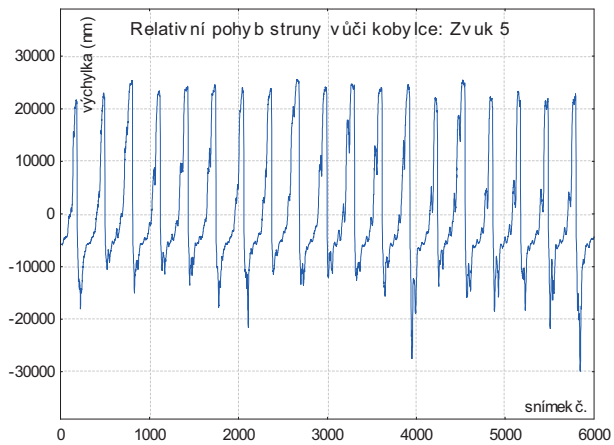
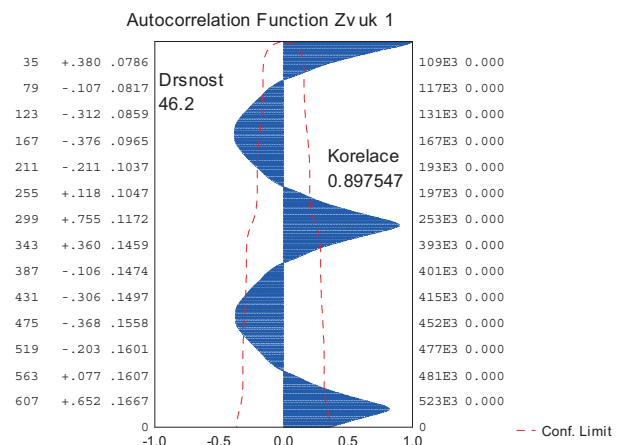
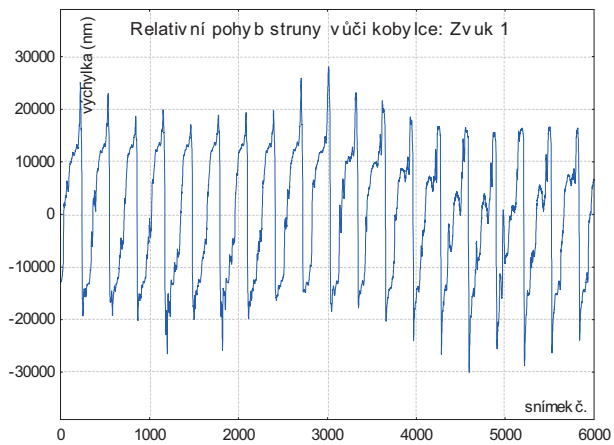
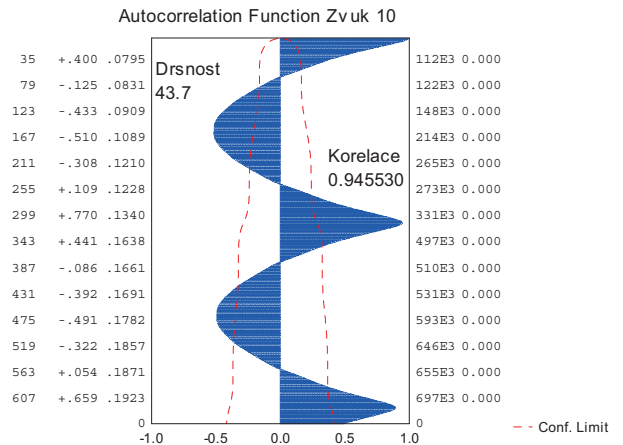
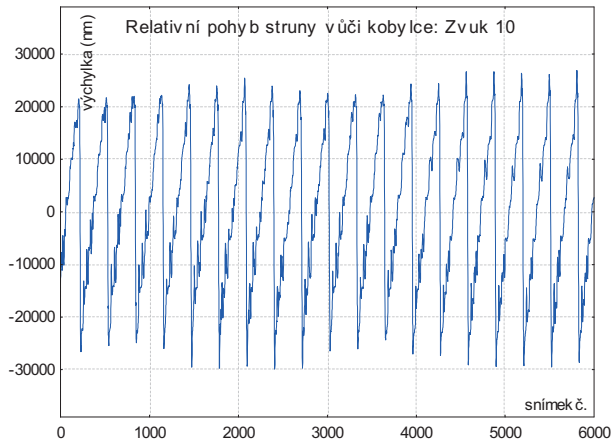


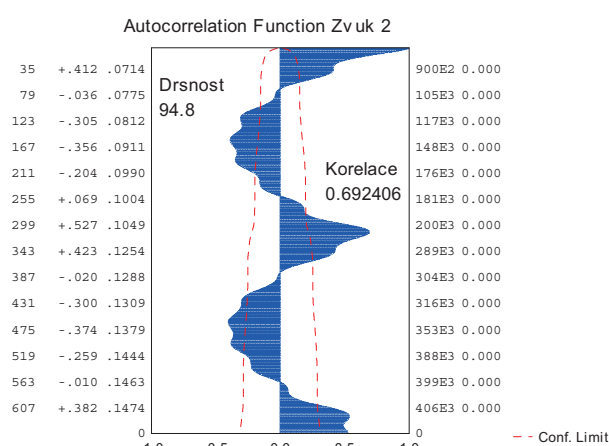
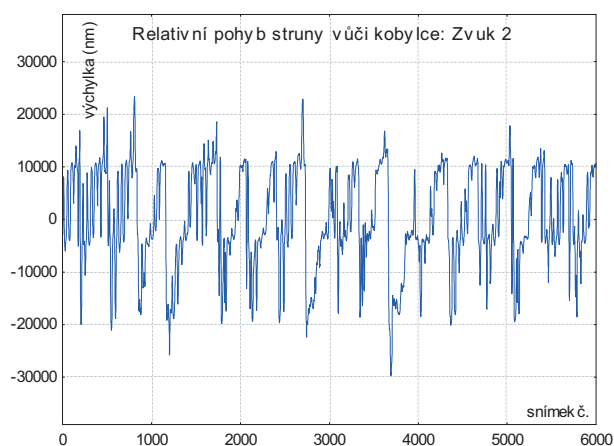
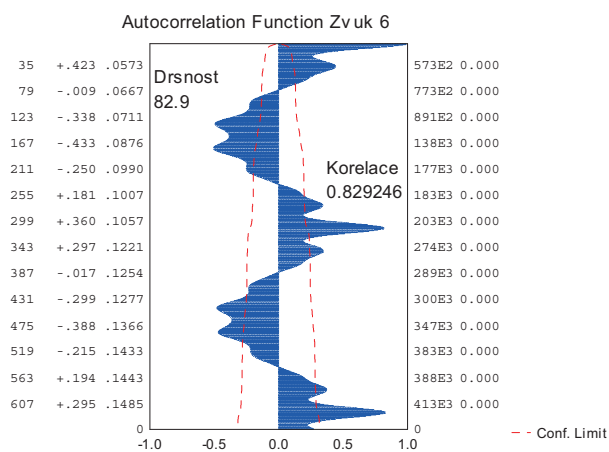
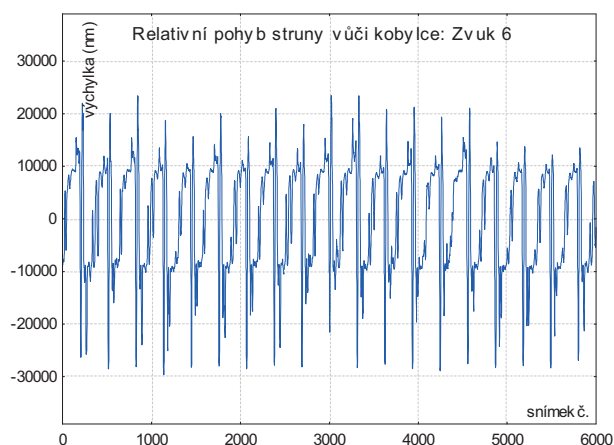
Obr. 12 Grafické vnoření hodnot drsnosti ze seřazovacího poslechového testu do 4D (nahore), 3D (vlevo dole), 2D (vpravo dole) MDS řešení pro skupinu *všichni*. Velikost kroužku je úměrná míře drsnosti.

Analýza příčin drsnosti z pohybu struny

Jako **H₀ příčinnosti** byla stanovena hypotéza, že aperiodicity v pohybu struny jsou příčinou vnímané drsnosti, takže hodnota prvního maxima autokorelační funkce (Ando 1991) bude korelovat s mírou vnímané drsnosti. Pro posouzení této hypotézy byly časové průběhy pohybu struny získané ze záznamů vysokorychlostní kamerou v software Tracker analyzovány pomocí autokorelační funkce. Pro vystižení silového působení struny na kobytku byl vždy od pohybu struny v bezprostřední blízkosti kobytky (1 mm před kobytkou) odečten samotný pohyb kobytky (získání relativního pohybu struny, viz Obr. 13 vlevo). Výsledné průběhy autokorelace jsou v grafech na Obr. 13 (vpravo). Grafy jsou doplněny hodnotami nalezeného prvního maxima (údaj *Korelace*) a míry drsnosti daného zvuku ze seřazovacího testu (údaj *Drsnost*).

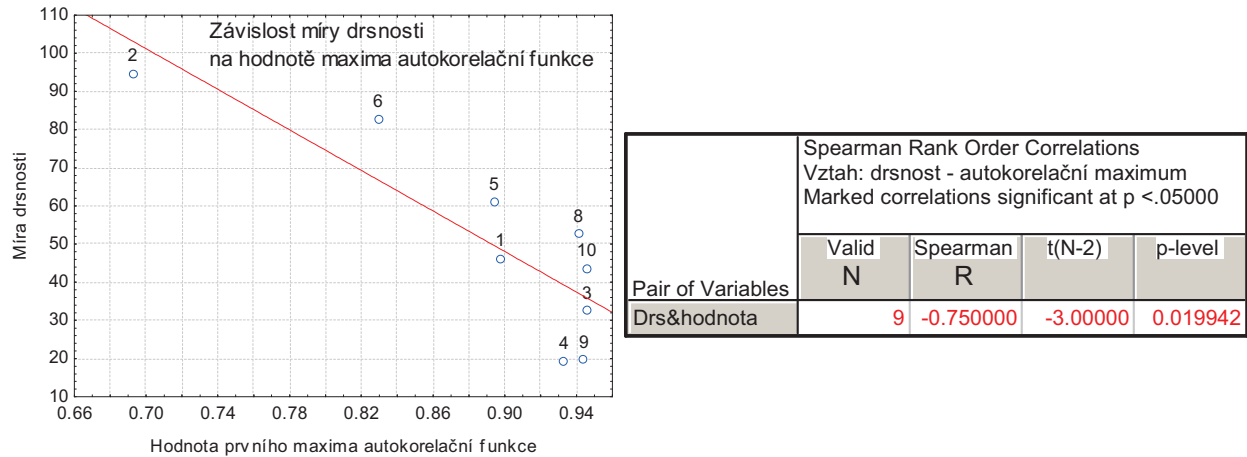






Obr. 13 Relativní časové průběhy pohybu struny (vlevo) a průběhy autokorelační funkce doplněné hodnotami nalezeného prvního maxima (údaj *Korelace*) a míry drsnosti ze seřazovacího testu (údaj *Drsnost*) (vpravo). Grafy jsou seřazeny vzestupně podle míry drsnosti.

Hodnoty korelace prvního maxima autokorelační funkce byly porovnávány s mírou drsnosti. Obr.14 poskytuje přehled o tom, že ačkoli je korelace mezi oběma proměnnými statisticky významná, hodnoty z autokorelační funkce nedokáží rozlišit míru drsnosti u méně drsných zvuků. Zvuky 8, 1, 10, 3, 9, 4 se mírou drsnosti výrazně liší, ale jejich hodnoty z autokorelace se téměř neliší nebo jsou v jiném pořadí než jak byly posouzeny (viz body v pravém dolním rohu grafu na Obr. 14 vlevo).



Obr. 14 Graf závislost míry drsnosti na hodnotách korelace prvního maxima autokorelační funkce (vlevo) a hodnoty jejich Spearmanovy korelace (vpravo)

Závěr:

Hypotéza H_0 **příčinnosti** byla zamítnuta. Přestože korelace mezi oběma veličinami je statisticky významná na hladině $p = 0,019$, rozlišení rozdílů vnímané drsnosti pouze na základě kritéria prvního maxima autokorelační funkce není možné. Tímto kritériem lze rozlišit pouze velmi drsné zvuky. Bude nutné hledat další způsoby analýzy aperiodicity a nepravidelností, která by toto rozlišení umožňovala. Bude to náplň navazujícího výzkumu.

5. Zhodnocení práce

Práce vychází z předpokladu ověřených předchozími studiemi, že percepční prostory jsou stálé. (McAdams 1999). Jednou z nevýhod této pilotní práce byl výběr pokusných osob, jejichž počet ještě nedovoluje zobecnění výsledků řešení problému.

Při subjektivním výběru osob byla aplikována kritéria vyloučení osob s vadou sluchu, dle *obecných zásad pro výběr pokusných osob* (Břicháček 1978; Melka 2005, s. 75). Ve výběru byli i posluchači náležející do expertní poslechové skupiny. Přesto tento postup tvoří *kompromisní řešení* navrhované Melkou (Melka 2005, s. 75). Velikost vzorku odpovídá velikosti vzorku použitých v podobných již publikovaných studiích. Fritz at al. (2007) použila 18 respondentů, Guettler at al. (1997) 20.

Externí validita tohoto experimentu může být poměrně malá. Vysoká shoda hodnotitelů v rámci skupin však tomuto spíše nenaznačuje. Tato práce tak měla spíše naznačit další směr výzkumu. K větší průkaznosti dat by bylo vhodné nepodobnostní matice testovat na shlukování, např. metodou ANOSIM.

V této práci bylo provedeno párové srovnávání, ve kterém posluchači hodnotili všechny páry jen jednou. Bylo by však vhodné, aby po uplynutí určité doby posuzovali opakovaně (retest) a byla tak ověřena retestová reliabilita posluchačů.

Tato práce dospěla ke konkrétním podobám drsnosti *hrubost, řezavost, křapavost, bzučivost, šumivost*. Hrubost i řezavost by mohly odpovídat pojetím drsnosti, které popsal ve své práci Tsai (2010;2003b) a jsou proto vhodnými kandidáty k dalšímu výzkumu. V souboru nahrávek bylo poslechem identifikováno také několik specifických kvalitativních dimenzí, které by mohly být též podrobeny výzkumu. Podoby drsnosti mají široký dopad, například také na výrobce reproduktorů, či jiných kmitajících předmětů, u kterých se mohou vyskytnout aperiodicity. Výzkum by se v budoucnosti mohl také zaměřit tímto směrem. Náchylnost k odlišnému vnímání drsnosti u posluchačů expertní skupiny také může být dána do souvislosti s tendencí hudebníků a nehudebníků upřednostňovat odlišné podoby zvuků (ostrý, drsný a temný), který popisují Geringer a Worthy (1999) a může také poukazovat na odlišný model zpracování drsnosti ve vyšších patrech *poslechového seskupování*. Úkolem navazujících prací je zpracovat další řadu dat, která byla během této práce shromážděna.

Literatura

- ALLURI, V. TOIVIAINEN, I. P. JÄÄSKELÄINEN, E. GLERAN, M. SAMS a E. BRATTICO, (2012). *Large-scale brain networks emerge from dynamic processing of musical timbre, key and rhythm*. Neuroimage. Vol. 59 Iss. 4, p. 3677-3689.
- ANDO, Yoichi a Peter CARIANI, (2009). *Auditory and visual sensations*. New York: Springer, , xxv, 344 p. ISBN 978-144-1901-729.
- ASKENFELT, Anders, (1995). *Observations on the violin bow and the interaction with the string*. STL-QPSR., Vol. 36, Iss. 2, p. 107-118.
- ASKENFELT, Anders, (1995). *Observations on the violin bow and the interaction with the string*. STL-QPSR, Vol. 36 Iss 2, p. 107-118.
- ATKINSON, R. L., (2003). *Psychologie*. Portál s.r.o Praha (překlad Herman, E. z: Hilgard's Introduction to psychologie, Hartcourt, Inc). ISBN 80-7178-640-3.
- AURES, W. A, (1985). *procedure for calculating auditory roughness*. Acoustica. Vol 58, Iss. 5, p. 268-281.
- BAKER, Stephen *et al.*, (2004). *Improving the effectiveness of paired comparison tests for automotive sound quality* In: Eleventh International Congress on Sound and Vibration. p. 5-8.
- BERGAN, Christine C. a Ingo R. TITZE, (2001). *Perception of pitch and roughness in vocal signals with subharmonics*. Journal of Voice. Vol. 15, s. 165-175.
- BERGAN, Christine C., Ingo R. TITZE. a Brad STORY, (2004). *The perception of two vocal qualities in a synthesized vocal utterance: ring and pressed voice*. Journal of Voice., Vol. 18, Iss. 3, p. 305-317.
- BISMARCK, G. von. *Sharpness as an attribute of the timbre of steady sounds*. Acustica. 1974, Vol. 30, p. 159-172.
- BŘICHÁČEK, V, (1978). *Úvod do psychologického škálování. Psychodiagnostické a didaktické testy*, n. p., Bratislava.
- BUEN, A., (2007). *On Timbre Parameters and Sound Levels of Recorded Old Violins*. Journal of the Violin Society of America, VSA Papers., Vol. 21, p. 57-68.
- BURKHARD M. D., R. M. SACHS, (1975). *Anthropometric manikin for acoustic research*. Journal of Acoustical Society of America. Vol. 58, Iss. 1, p. 214-222.
- CACLIN A, S. MCADAMS, B. K. SMITH a S. WINSBERG, (2005). *Acoustic correlates of timbre space dimensions: A confirmatory study using synthetic tones*. Journal of Acoustical Society of America. Vol. 118, Iss. 1, p. 471-482.
- CAMPBELL Murray and GREATED Clive, (1987). *The musician's guide to acoustics*. Reprinted 2001. Oxford: Oxford University Press. ISBN 978-019-8165-057.
- CARDOZO, B., a R. RITSMA, (1968). *On the perception of imperfect periodicity*. Audio and Electroacoustics. Vol. 16 Iss. 2, p. 159-164.
- CORRELATED SOLUTIONS. *Vic 2D* [software].

- CSN 73 0526, (1997). *Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Studia a místnosti pro snímání, zpracování a kontrolu zvuku*. Český normalizační institut,.
- DANIEL P., WEBER, D., (1997). *Psychoacoustical roughness: implementation of an optimized model*. *Acustica*. vol. 83, p. 113-123
- DANIEL, Peter a REINHARD Weber, (1997). *Psychoacoustical roughness: Implementation of an optimized model*. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 83 Iss. 1, p. 113-123.
- De Baene, W a A. Vandierendonck, M. Leman, A. Widmann a M. Tervaniemi. (2004) *Roughness perception in sounds: behavioral and ERP evidence*. *Biological psychology*. Vol. 67, Iss. 3, p. 319-330
- DRŠATA, Jakub a Viktor Chrobok, (2011). *Foniatrie*, hlas. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Tobiáš, , 321 s. *Medicína hlavy a krku*. ISBN 978-807-3111-168.
- DÜNWARD, H. (1991) *Deduction of objective quality parameters on old and new violins*. *Journal of Catgut Acoustical Society*. Vol. 1, Iss. 7, p. 1-5.
- EEROLA, T., FERRER, R, & ALLURI, V., (2012) *Timbre and Affect Dimensions: Evidence from Affect and Similarity Ratings and Acoustic Correlates of Isolated Instrument Sounds*. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*. Vol. 30, No 1, p. 49-70
- FASTL H., ZWICKER E., (1990). *Psychoacoustics facts and models*. Berlin: Springer. ISBN 978-354-0688-884.
- FASTL Hugo, (2005). *Psychoacoustics and sound quality* in: J. BLAUERT, P. WHEELER a F. MOORE. *Communication acoustics*. Berlin: Springer-Verlag, xvi, 783 p. ISBN 978-354-0274-377.
- FASTL, Hugo. (1990) *The hearing sensation roughness and neuronal responses to AM-tones*. *Hearing research*. Vol. 46, Iss. 3, p. 293-295.
- FASTL, Hugo., (1997). *The psychoacoustics of sound-quality evaluation*. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 83, Iss. 5, p. 754-764.
- FECHNER, G. T, (1860). *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf und Härtel,
- FERJENČÍK, Ján, (2000). *Úvod do metodologie psychologického výzkumu*, Praha, 256 s
- FERRAND, T. C., (2002). *Harmonics-to-noise ratio: an index of vocal aging*. *Journal of Voice*. Vol. 16, Iss. 4, p. 480-487.
- FISHMAN, Y., D. H. RESER, J. C. AREZZO a M. STEINSCHNEIDER, (2000). *Complex tone processing in primary auditory cortex of the awake monkey: Neural ensemble correlates of roughness*. *Journal of Acoustic Society of America*. Vol. 108, s. 235-246.
- FRITZ, C., A. BLACKWELL, I. CROSS, B. MOORE a J. WOODHOUSE, (2012). *Exploring violin sound quality: Investigating English timbre descriptors and correlating resynthesized acoustical modifications with perceptual properties*. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 131, Iss 1, p. 783-794.
- FRITZ, C., A. MUSLEWSKI a D. DUBOIS, (2010). *A situated and cognitive approach of violin quality*. In. *Proceedings of International Symposium on Musical Acoustics*, Sydney and Katoomba, Australia. p.25-31.
- FRITZ, C., I. CROSS, B. MOORE a J. WOODHOUSE, (2007). *Perceptual thresholds for detecting*

modifications applied to the acoustical properties of a violin. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 122, Iss. 6, p. 3640-3650.

FUJII K., J. ATAGI a Y. ANDO, (2001). *Temporal and spatial factors of traffic noise and its annoyance,* Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment. roč. 2, s. 33-41.

GERINGER, J., M. MICHAEL a D. WORTHY, (1999). *Effects of Tone-Quality Changes on Intonation and Tone-Quality Ratings of High School and College Instrumentalists.* Journal of Research in Music Education., Vol. 47, No. 2 p. 135-149.

GLIEM, J. A. a R. R. GLIEM, (2003). *Calculating. Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales.* Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education. p. 82 - 88

GREY, John M. *Multidimensional perceptual scaling of musical timbres.* (1977) The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 61, p. 1270 - 1277

GROENEN P. and M. VAN DE VELDEN, (2004) *Multidimensional Scaling, Econometric Institute Report,* 2004

GRUBE M., Y. CRAMON, R. RUBSAMEN, (2003) *Inharmonicity detection, Effects of age and contralateral distractor sounds* Experimental Brain Research, Vol. 153, p. 637-642

GUETTLER K., E. SCHOONDERWALDT a A. ASKENFELT, (2003). *Bow speed or bowing position-which one influences the spectrum the most?* Proceedings of Stockholm Music Acoustics Conference.

GUETTLER, K. a A. ASKENFELT (1997). *Acceptance limits for the duration of pre-Helmholtz transients in bowed string attacks.* Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 101, p. 2903-2913.

GUILFORD, J. P., (1954) *Psychometric methods.* New York: McGraw Hill. ISBN 978-007-0251-298.

GUILFORD, J. P.: (1954). *Psychometric methods.* 2nd Edition. McGraw-Hill, New York
HAILSTONE, J. C. et al., (2009). *It's not what you play, it's how you play it: Timbre affects perception of emotion in music.* The Quarterly Journal of Experimental Psychology, , Vol. 62 Iss. 11, p. 2141-2155.

HELMHOLTZ, H. von, (1863). *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik.* VI. vydání, Vieweg, Braunschweig. 1913.

HENDL, Jan, (2004). *Přehled statistických metod zpracování dat,* Praha,, 584s ISBN 80-7178820-1

HUTCHINS, C. Maley a Virginia BENADE. (1997). *Research papers in violin acoustics, 1975-1993: with an introductory essay, 350 years of violin research.* Woodbury, NY: Published by the Acoustical Society of America through the American Institute of Physics. 2 v. (xix, 1312 p.). ISBN 156-396-608-52.

CHARLES, J., D. FITZGERALD, E. COYLE, (2008). *Violin Sound Quality Detection.* Irish Signals and Systems Conference, Galway.

IBM. *SPSS* [software]

JENSEN Kristoffer, (2004). *Irregularities Noise and Random Fluctuations in Musical Sounds.* The Journal of Music and Meaning. Vol.2.

KADLEC, F., (1996). *Zpracování akustických signálů.* skripta ČVUT, Praha,

KENDALL, M. G (1948). *Rank correlation methods.* Griffin, London

KOELSCH S. et al., (2006). *Investigating emotion with music: An fMRI study* *Human Brain Mapping*. Vol. 27, Iss 3, p. 239–250

KOELSCH, S. a W. A. SIEBEL. *Towards a neural basis of music perception*. *Trends in cognitive sciences*. 2005, Vol. 9, Iss 12, p. 578-584.

KREIMAN J. a B. R. GERRATT, (2005). *Perception of aperiodicity in pathological voice*. *Journal of Acoustic Society of America*. Vol. 117, p. 2201-2211.

KREIMAN, J., B. R. GERRATT a G. S. BERKE, (1994). *The multidimensional nature of pathologic vocal quality*, *Journal of Acoustic Society of America*. Vol. 96, p. 1291-1302.

KURFÜRST, Pavel, (2004). *Hudební nástroje*. Vyd. 1. Praha: Togga, 1168 s. ISBN 80-902-9121-X.

KURTZ D. B., WHITE T. L., HAYES M (2000). *The labeled dissimilarity scale: a metric of perceptual dissimilarity*. *Perceptual Psychophysics*. Vol. 62, p. 152-61.

KURTZ, Daniel B.; WHITE, Theresa L.; HAYES, (2000). Meghan. *The labeled dissimilarity scale: A metric of perceptual dissimilarity*. *Perception & psychophysics*,. Vol. 62 Issue 1, p. 152-161.

LEMAITRE, G., P. SUSINI, S. WINSBERG, S. MCADAMS a B. LETINTURIER, (2007). *The sound quality of car horns: a psychoacoustical study of timbre*. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 93, Iss. 3, p. 457-468.

MCADAMS Stephen, (1999). *Perspectives on the Contribution of Timbre to Musical Structure*. *Computer Music Journal*. Vol. 23, Iss. 3, p. 85-102.

MCADAMS, Stephen a BIGAND Emmanuel (1993) *Thinking in sound: the cognitive psychology of human audition*. New York: Oxford University Press, , xii, p. 354 ISBN 01-985-2257-6.

MCDERMOTT H. Josh a Andrew J. OXENHAM, (2008). *Music Perception, Pitch, and the Auditory System*, *Current Opinion in Neurobiology*. Vol. 18 p. 452–463.

MCDERMOTT, J. H. a E. P. SIMONCELLI, (2011). *Sound texture perception via statistics of the auditory periphery: evidence from sound synthesis*. *Neuron*. Vol. 71, Iss. 5, p. 926-940.

MCDERMOTT, J., (2012). *Auditory Preferences and Aesthetics: Music, Voices, and Everyday Sounds*. *Neuroscience of Performance and Choice*. 2012

MCINTIRE, M. E. a J. WOODHOUSE, (1979). *On the fundamentals of bowed-string dynamics*. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 43, Iss. 2, p. 93-108.

MCINTIRE, M. E. a J. WOODHOUSE, (1984). *A parametric study of the bowed string: the violinist's menagerie*. *Journal of the Catgut Acoustical Society*, , Vol. 42, p. 18-21.

MCINTIRE, Michael E., R. SCHUMACHER a J. WOODHOUSE. *Aperiodicity in bowed-string motion*. *Acta Acustica united with Acustica*, 1981, Vol. 49, Iss. 1, p. 13-32.

MCINTYRE, M. E., WOODHOUSE, J., (1979). *On the Fundamentals of Bowed-String Dynamics*, *Acustica*, Vol. 43, No. 2, 93-108

MEILI, R. – Rohracher, H., et al.: (1969). *Učebnice experimentální psychologie*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.

- MELKA, A. (2005). *Základy experimentální psychoakustiky*, Praha , ISBN 80-7331-043-0
- MELKA, A. (1976). *Výzkum metodiky subjektivního hodnocení přirozených akustických signálů, testy pro výběr posluchačů. Dílčí výzkumná zpráva úkolu SVÚ č. C-58-334-00-002/4g*. Tesla – VÚST, Praha
- MOORE, B. C. J., a K. OHGUSHI, (1993) *Audibility of partials in inharmonic complex tones*. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 93, p. 452.
- OHM, G. S. (1844) *Noch ein paar Worte über die Definition des Tones* In: *Annalen der Physik und Chemie : Dritte Reihe.:* - 2. - Leipzig : Barth, S. 1-18
- OMORI K., H. KOJIMA, R. KAKANI, D. H. SLAVIT a S. BLAUGRUND, (1997). *Acoustic characteristics of rough voice: subharmonics*. Journal of Voice. Vol. 11, str. 40-47
- OPEN SOURCE PHYSICS. *Tracker* [software]. [přístup 24. června 2013]. Dostupné z: <http://www.opensourcephysics.org>
- ORLIKOFF R. F. a J. C. KAHANE, (1991). *Influence of mean sound pressure level on jitter and shimmer measures*. Journal of Voice. Vol. 5, Iss. 2, s. 113-119.
- ORLIKOFF, R. F., , J. C. KAHANE, (1991) *Influence of mean sound pressure level on jitter and shimmer measures*. Journal of voice, , Vol. 5 Iss 2, p. 113-119.
- PARKER, Sybil P., (1988). *Acoustics source book*. New York: McGraw-Hill, , 333 p. ISBN 00-704-5508-2.
- PERETZ, I., M. COLTHEART, (2003). *Modularity of music processing*. Nature neuroscience. Vol 6, Iss. 7, p. 688-691.
- PRATT, R. L.; DOAK, P. E., (1976). *A subjective rating scale for timbre*. Journal of Sound and Vibration. Vol. 45, Iss 3, s. 317-328.
- PRESSNITZER, D., MCADAMS, S., WINSBERG, S., FINEBERG, J., (2000). *Perception of musical tension for nontonal orchestral timbres and its relation to psychoacoustic roughness*. Perception & psychophysics. Vol. 62 Issue 1, p. 66-80.
- RASCH, R., PLOMP, R., (1999). *The Perception of Musical Tones*, in: DEUTSCH, Diana. *The psychology of music*. Third edition. San Diego: Academic press., xvii, 765 pages. ISBN 978-012-3814-609.
- ROHRMANN, Brend. (2003) *Verbal qualifiers for rating scales: Sociolinguistic considerations and psychometric data*. Project Report. University of Melbourne..
- ROSS, R. T, (1939). *Optimal order in the method of paired comparisons*. Journal of Experimental Psychology. Vol. 25 FIELD, Andy P. *Discovering statistics using SPSS 3rd ed*. Los Angeles: SAGE Publications, 2009, xxxii, 821 s. ISBN 978-1-84787-906-6.
- ROSS, R. T., (1939). *Optimal order in the method of paired comparisons*. Journal of Experimental Psychology. Vol. 25, p. 414-424.
- ROSSING, T., P. Wheeler a F. Moore, (2002). *The science of sound. 3rd ed*. San Francisco: Addison Wesley, xvi, 783 p. ISBN 08-053-8565-7.
- SEDLÁČEK, K., (1956). *Základy audiologie*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství,
- SCHOONDERWALDT, E. a M. DEMOUCRON, (2009). *Extraction of bowing parameters from violin*

performance combining motion capture and sensors. Journal of Acoustical Society of America. Vol. 126, Iss. 5, p. 2695-2708.

STATSOFT. *Statistica 6* [software]

STEPANEK J., Z. OTCENASEK, (2004). *Interpretation of Violin Spectrum Using Psychoacoustic Experiments*, Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics. Nara, Japan.

STEPANEK, J. a Z. OTCENASEK, (1999). *Rustle as an attribute of timbre of stationary violin tones*. Catgut Acoustical Society Journal. Vol. 3, Iss. 8, p. 32-38.

STEPANEK, J. a Z. OTCENASEK, (2002). Spectral sources of selected features of violin timbre, 6 CFA. Lille,

STEPANEK, J., (2002). *Evaluation of timbre of violin tones according to selected verbal attributes*. Acoustics Banska Stiavnica 2002, EAA Symposium.

STEPANEK, J., OTCENASEK, Z. (2001). Psychoacoustic Aspects of Violin Sound Quality and its Spectral Relations. 17th ICA, Rome, CD IV – Music.

STEPANEK, J., Z. OTCENASEK a A. MELKA, (1995). *Physical characteristics of violin tones*. In: Proceedings of the 32 Czech Conference on Acoustics. Praha. p. 147-150

STEPANEK, J., Z. OTCENASEK a A. MELKA, (1999). *Comparison of five perceptual timbre spaces of violin tones of different pitches*, CD-ROM of Joint Meeting 137th ASA, 2nd EAA Forum, Acusticum, 25th DAGA Berlin

STEPANEK, J., Z. OTCENASEK, A. MELKA, (1997). *Violin Sound Timbre: I. The Construction of a Perceptual Space from Results of Listening Tests*. In: Proceedings of the 31st International, Acoustical Conference (EAA Symposium), Acoustics - High Tatras. Zvolen, p. 94-95.

STEPANEK, Jan, (2006). *Musical sound timbre: Verbal description and dimensions*. In: Proceedings of the 9th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-06). p. 121-126.

STEWART, L., K. KRIEGSTEIN, J. D WARREN, T. D GRIFFITHS, (2006). *Music and the brain: disorders of musical listening*. Brain. Vol. 129, Iss. 10, 2533-2553.

STUMPF, C. (1890): *Tonpsychologie I-II*. S. Hirzel Verlag, Leipzig 1883

SYKA, J., VOLDŘICH, L., VRABEC, (1981). *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu. Moderní poznatky o funkci sluchového systému*. Praha:Avicenum.

SYNTRILLIUM SOFTWARE. *Cool Edit Pro 2* [software]. [přístup 24. června 2013] Dostupné z: <http://www.adobe.com/special/products/audition/syntrillium.html>

SYROVÝ, V., (2003) *Hudební akustika*. Praha:AMU. ISBN 80-7331-901-2

ŠTĚPÁNEK Jan, Ondřej MORAVEC, (2005b). *Barva hudebního zvuku a její slovní popis*. Praha:AMU. ISBN 80-7331-031-7

ŠTĚPÁNEK, J., OTCENÁŠEK, Z., (2003) *Listener common and group perceptual dimensions in violin timbre*, Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference (SMAC 03), Stockholm. p. 663-666

ŠTĚPÁNEK, Jan a Ondřej MORAVEC, (2005). *Slovní popis barvy hudebního zvuku: I. Percepční prostory slovních atributů*. In: Proceedings of the 1th International Symposium Material–Acoustics–Place. p. 77-82.

- TAKAO, H., T. HASHIMOTO a S. HATANO, (1993). *Quantification of Subjective Unpleasantness Using Roughness Level*. SAE Technical Paper.
- TERHARDT, E. (1974). *Pitch, consonance, and harmony*. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 55, p. 1061 - 1069
- TERHARDT, E., (1974a) *On the perception of periodic sound fluctuations (roughness)*. Acustica. vol. 30, p. 201–213.
- THURSTONE, L. L., 1947. *Multiple-Factor Analysis*, The University of Chicago Press, Chicago
- TRAMO, M. J., P. A. CARIANI, B. DELGUTTE a L. D. BRAIDA, (2001). *Neurobiological Foundations for the Theory of Harmony in Western Tonal Music*. The Biological Foundations of Music. p. 92-116
- TSAI, C. -G., (2003b). *The Chinese Membrane Flute (dizi): Physics and Perception of its Tones*. Berlin, Disertační práce. Humboldt University Berlin.
- TSAI, C.G., L. C. WANG., S.F WANG, Y.W. SHAU, T.Y. HSIAO a W. AUHAGEN, (2010). *Aggressiveness of the Growl-like Timbre: Acoustic Characteristics, Musical Implications and Biomechanical Mechanisms*. Music Perception. Vol. 27 Iss. 3, p. 209-221.
- TSAI, Chen – Gia, (2006). *Inharmonic sounds of bowed strings in Western music and Beijing opera*. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 120, p. 3119.
- TSAI, Chen-Gia, (2004). *Auditory Grouping in the Perception of Roughness Induced by Subharmonics: Empirical Findings and a Qualitative Model*. Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics. Nara, Japan.
- TVERSKY, Amos et al., (1977). *Features of similarity*. Psychological review. Vol. 84 Iss. 4, p. 327-352.
- VASSILAKIS P. N., (2005). *Auditory roughness as a means of musical expression, Selected Reports in Ethnomusicology*. vol. 12, p. 119-144
- VASSILAKIS P.N., (2007). *SRA: A Web-based Research Tool for Spectral and Roughness Analysis of Sound Signals. Proceedings of SMC'07, 4th Sound and Music Computing Conference*. p. 319 - 325
- VÄSTFJÄLL, D. et al., (2002). *Affective evaluations of and reactions to exterior and interior vehicle auditory quality*. Journal of Sound and Vibration. vol. 255, 3, p. 501-518.
- VOIERS, D. William, (1964). *Perceptual bases of speaker identity*. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 36, p. 1065 – 1074.
- VON BÉKESY, Georg. (1960) *Experiments in hearing*. New York: McGraw-Hill
- VÝZKUMNÉ CENTRUM HUDEBNÍ AKUSTIKY. *LiTEd* [software]. [přístup 24. června 2013]. Dostupné z: <http://zvuk.hamu.cz/vyzkum/komerčni.php>
- WARREN, Jason, (2008). *How does the brain process music?*. Clinical medicine. Vol. 8 Iss. 1, p. 32-36.
- WINER J. A., JEFFERY A, SCHREINER C., 2010. *The auditory cortex*. New York: Springer. ISBN 978-144-1900-739.
- WITTENBERG, T., M MOSER., M. TIGGES a U. EYSHOLDT, (1995). *Recording, processing, and analysis of digital high-speed sequences in glottography*. Machine vision and applications. Vol. 8 Iss. 6, p. 399-404.

WOODHOUSE, J. a P. M. GALLUZZO, (2004). *The Bowed String As We Know It Today*. Acta Acoustica United With Acoustica. Vol. 90, p. 579 – 589.

WUYTS, F. L et al. (2000) *The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach*, Journal of Speech Language and Hearing Research. Vol. 43, Iss. 3, p.796-809.