

# AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti  
www.czakustika.cz

ročník 18, číslo 1

duben 2012

## Obsah

Usnesení Valné hromady České akustické společnosti	3
prof. Ing. Felix KOLMER, DrSc. – devadesátiletý <i>Jaroslav Kyncl</i>	5
Referenční hodnoty vokálních formantů pro mladé dospělé mluvčí standardní češtiny Reference Values of Vowel Formants for Young Adult Speakers of Standard Czech <i>Radek Skarnitzl a Jan Volín</i>	7
Kirnbergerova temperatura v „Die Kunst des reinen Satzes in der Musik“ (1771) The Kirnberger Temperament published in „Die Kunst des reinen Satzes in der Musik“ (1771) <i>Martin Celhoffer</i>	12

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST



## Usnesení Valné hromady České akustické společnosti, konané dne 26. ledna 2012 v prostorách Fakulty elektrotechnické ČVUT

Valná hromada ČsAS bere na vědomí:

1. zprávu o činnosti Rady ČsAS;
2. zprávu o uspořádání kongresu Euronoise 2012 v Praze;
3. zprávy o činnosti jednotlivých odborných skupin a o jejich dalším zaměření;
4. zprávu o přípravě 84. akustického semináře;
5. zprávu o výsledcích revize hospodaření společnosti;
6. výsledky voleb do Rady společnosti a výsledky voleb předsedů odborných skupin;
7. zprávu o usnášeníschopnosti Valné hromady, 50/93;
8. informace o plnění úkolů a poslání Akustických listů a vyzývá členy k zasílání příspěvků.

Pro funkční období roku 2012 byli v jednotlivých odborných skupinách zvoleni:

- A. Obecná, lineární a nelineární akustika  
předseda – M. BEDNAŘÍK      zástupce – M. ČERVENKA
- B. Ultrazvuk a akustické emise  
předseda – J. PLOCEK      zástupce – R. BÁLEK
- C. Hluk a vibrace  
předseda – J. KOZÁK      zástupce – J. KOČÁREK
- D. Prostorová, stavební a urbanistická akustika  
předseda – M. MELLER      zástupce – A. RYNDOVÁ
- E. Zpracování a záznam akustických signálů  
předseda – T. SALAVA
- F. Psychoakustika, fyziologická akustika a akustika hudby a řeči  
předseda – volba bude provedena dodatečně
- G. Elektroakustika  
předseda – Z. KEŠNER      zástupce – B. SÝKORA

Valná hromada ČsAS schvaluje:

1. zprávu o činnosti Rady za kalendářní rok 2011 a uděluje Radě absolutorium;
2. zprávu o hospodaření společnosti za kalendářní rok 2011;
3. výši členských příspěvků na rok 2012 (500 Kč pro členy, 150 Kč pro studenty a důchodce);
4. činnost Rady a odborných skupin v roce 2011.

Valná hromada ukládá nově zvolené Radě společnosti na kalendářní rok 2012:

1. pokračovat v odborné a organizační činnosti i v zahraničních kontaktech a v rozvíjení spolupráce;
2. věnovat pozornost pořádání odborných akcí a pravidelných seminářů odborných skupin;
3. nadále rozvíjet vydávání Akustických listů;

Valná hromada ukládá nově zvoleným předsedům odborných skupin na kalendářní rok 2012:

1. publikovat informace o připravovaných aktivitách skupin v Akustických listech a na webové stránce s předstihem tak, aby se zájemci mohli včas na akce přihlašovat.

Valná hromada doporučuje Radě ČsAS:

1. pravidelně se zabývat činností a plánem akcí odborných skupin;
2. pravidelně se zabývat plánem a zaměřením konaných akustických konferencí;
3. poskytovat možnost finančních výhod členům společnosti, např. nižšími sazbami vložného na akcích pořádaných společností;
4. zvážit možnost uložení peněz společnosti na výhodnější termínovaný účet.

Výsledky voleb do Rady České akustické společnosti:

Počet vydaných platných hlasovacích lístků: 50

Odevzdáno platných hlasovacích lístků: 50

předseda: O. JIŘÍČEK 50

místopředseda: V. KUNZL 50

sekretář: M. BROTHÁNEK 50

hospodář: O. KUDĚJOVÁ 50

revizní komise: J. KOZÁK 45

T. HELLMUTH 48

D. POTUŽNÍKOVÁ 50

Návrh usnesení sestavila návrhová komise ve složení M. Meller a J. Stěnička.

**prof. Ing. Felix KOLMER, DrSc. – devadesátiletý**

Letos v květnu to bude již 90 let, co se v Praze na Vinohradech narodil v rodině elektroinženýra, později obchodníka s elektrotechnikou, prof. Ing. Felix Kolmer, DrSc. Odmalička se zajímal o obor svého otce a toužil se stát také elektroinženýrem. Do jeho mládí však tvrdě zasáhla krize ve třicátých letech minulého století a následně i 2. světová válka. Po smrti otce, když bylo Felixovi deset let, převzala obchod matka, během krize však obchod zkrachoval.

Felix vychodil reálku a v červnu 1940 odmaturoval. Tehdejší protektorátní režim mu zabránil v dalším vzdělávání a dovolil mu pouze pracovat manuálně. Nastoupil do učení k truhláři, ale vyučit se už nestihl.

V listopadu 1941 byl transportován jako jeden z prvních 342 vězňů do koncentračního tábora v Terezíně, odkud byl dvakrát týdně převážen do nedalekého koncentračního tábora Malá pevnost, kde pracoval jako truhlář nebo tesař a kde byl také svědkem nelidského týrání politických vězňů, zejména židů.

V říjnu 1944 byl převezen do koncentračního a vyhlazovacího tábora Osvětim II – Birkenau a jako odsouzený k smrti měl být transportován po nějaké době dále do pobočního tábora, sirných dolů, odkud nebylo návratu. Podařilo se mu však přeběhnout do transportu, který šel do jiného koncentračního tábora (Friedland – dnes Mierosów v Polsku), kde se dalo přežít. Při bombardování v květnu 1945 vyřadila postupující sovětská vojska elektrárnu zásobující elektřinou plot tábora o napětí 22 000 V, což umožnilo utéct velké skupině vězňů, v níž byl i Felix. Dostal se pak do Prahy a zde se šťastně shledal se svou ženou, jež se vrátila z internace v Terezíně, kde spolu předtím uzavřeli svazek manželský.

Po válce začal navštěvovat odborné kurzy a poté studovat na Fakultě elektrotechnické Českého vysokého učení technického (FEL ČVUT) v Praze. Tu dokončil v roce 1949 státní zkouškou a získal tak titul Ing. V téže roce nastoupil do Výzkumného ústavu zvukové, obrazové a reprodukční techniky (VÚZORT) v Praze, kde byl v letech 1949 až 1991 zaměstnán nejprve jako vědecký pracovník, později jako vedoucí akustického oddělení, pak jako vědecký náměstek ředitele, posléze jako ředitel a nakonec, po odchodu do důchodu, jako poradce ředitele ústavu.

Obhajobou disertační práce na FEL ČVUT v r. 1959 dosáhl titulu CSc. a obhajobou další disertace tamtéž v roce 1965 titulu DrSc. v oboru fyziky – akustiky.

V roce 1959 pomáhal zakládat prof. Slavíkovi Akustickou komisi ČSAV a po řadu let byl jejím předsedou. Od roku 1962 vyučoval na FEL ČVUT. Byl předsedou Technické normalizační komise pro akustiku od jejího založení až do důchodu a potom byl jejím čestným členem.

Od roku 1982, kdy byl jmenován profesorem, vyučuje externě předměty Fyzikální a fyziologická akustika a Prostorová a stavební akustika na Filmové a televizní fakultě Akademie múzických umění (FAMU). Je členem Státní komise pro závěrečné magisterské zkoušky na FAMU a členem komise doktorského studia na HAMU a FAMU. Hodně svého času věnoval prof. Kolmer činnosti ve společenských organizacích v oboru akustiky. Dlouhá léta pravidelně reprezentoval Československo na zasedáních Technické komise 43 „Akustika“ Mezinárodní organizace pro normalizaci, kde rovněž zastupoval IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics). Byl jedním ze zakladatelů Federation of Acoustical Societies of Europe (FASE) a 12 let byl jejím generálním tajemníkem. V International Commission of Acoustics (ICA), orgánu IUPAP, byl ředitelem Informačního a koordinačního centra.

Je autorem 211 publikací, z nichž 24 bylo uveřejněno v zahraničí, a proslavil více jak 190 přednášek na univerzitách, ve vědeckých institucích a jiných školách v Evropě, v Severní a Jižní Americe a v Austrálii. Měl zhruba 60 přednášek na německých školách a v různých společnostech na téma česko-německých vztahů za 2. světové války a o životě vězňů v koncentračních táborech.

Je členem Rady České akustické společnosti a čestným členem několika dalších českých společností a zahraničních akustických společností v Polsku, USA a Argentině. Je nositelem řady státních vyznamenání v Československu a v České republice za rozvoj fyziky a akustiky a odporu proti nacismu. Významných ocenění se mu také dostalo v Argentině, Belgii a Německu. V současnosti se prof. Kolmer věnuje hlavně aktivitám souvisejícím s česko-německými vztahy a odškodněním obětí totálního nasazení. Je členem předsednictva Terezínské iniciativy, členem výboru Českých osvětlimských vězňů, předsednictva Sdružení politických vězňů a pozůstalých, viceprezidentem Mezinárodního osvětlimského výboru a dalších institucí podobného zaměření. Ve službách Ministerstva zahraničí ČR se zúčastňoval v USA a v Německu jednání o odškodnění obětí otročké práce v koncentračních táborech a totálního nasazení a angažuje se v otázkách česko-německých vztahů.

Do dalších let mu přejeme nadále pevné zdraví a neutuchající životní energii.

Jaroslav Kyncl



# Referenční hodnoty vokálních formantů pro mladé dospělé mluvčí standardní češtiny

Radek Skarnitzl a Jan Volín

Fonetický ústav – FF UK, nám. J. Palacha 2, 116 38 Praha 1  
e-mail: [radek.skarnitzl; jan.volín]@ff.cuni.cz

Vowel formants, the resonances of the vocal tract during the production of vowels, are the most frequent parameters used for the description of vocalic systems of languages. Czech vowels and their formants were systematically last investigated several decades ago, with different researchers investigating vowels in different kinds of speech material. The main aim of this paper is therefore to provide reference values of vowel formants in contemporary Czech. Formant measurements are based on the analyses of eight instances of each short vowel and three instances of each long vowel in 75 speakers of Czech. Apart from providing the reference values, the paper suggests an interesting development in the Czech vocalic system: while the difference in quality between the short /ɪ/ and the long /i:/ has been previously documented, our results indicate a similar split in the close back vowels, /u/ and /u:/.

## 1. Úvod

Když Hermann von Helmholtz v roce 1863 použil speciálně sestavený rezonátor k analýze a imitaci samohláskových zvuků, nejspíš ani sám netušil, že o sto padesát let později budou rezonanční frekvence vokálního traktu, tzv. formanty, stále nejpoužívanějšími parametry pro popis vokálních systémů v jazycích světa.

Popis samohlásek pomocí formantů je efektivní a zároveň elegantní z několika důvodů. Zaprvé je schopen rozlišit samohlásky daného jazyka z hlediska fonologické kvality pomocí prvních dvou rezonancí, F1 a F2, a tedy umožňuje daný vokální systém zobrazit ve dvou rozměrech.<sup>1</sup> Výhodné je i to, že oba rozměry jsou zároveň vyjádřeny v jediné veličině, frekvenci. Oproti tomu pro popis systémů souhláskových potřebujeme deskriptivních parametrů více a tyto se navíc mohou pro jednotlivé konsonantické skupiny lišit. Důležité rovněž je, že výsledné zobrazení systému samohlásek intuitivním způsobem koresponduje s artikulačním nastavením jazyka: z vokálních čtyřúhelníků a uvedených popisků na obr. 1 například vyplývá, že [i:] je vysoký přední vokál, [a] je vokál nízký střední a [o] středový zadní.

Pozice jednotlivých samohlásek se liší nejen v různých jazycích, ale dokonce i v dialektech jednoho jazyka. Formantovými hodnotami českých samohlásek se zabýval především Bohuslav Hála, který měřil vokální formanty ve slovech, větách i v souvislé řeči u čtyř mluvčích [1]. Boro-  
vičková a Maláč [3] zkoumali výslovnost vokálů v tzv. logatomech (pseudoslovech, která nemají lexikální význam, avšak jejich struktura odpovídá stavbě slov v daném jazyce). Český vokální systém je v těchto studiích prezentován jako relativně jednoduchý a symetrický, v němž se

fonologicky krátké a dlouhé vokály v dané dvojici z hlediska kvality (tzn. hodnot formantů) neliší. Výjimku představují vysoké přední vokály, /ɪ/ a /i:/, jež se liší právě i v kvalitě; to odráží i odlišný způsob jejich transkripce.

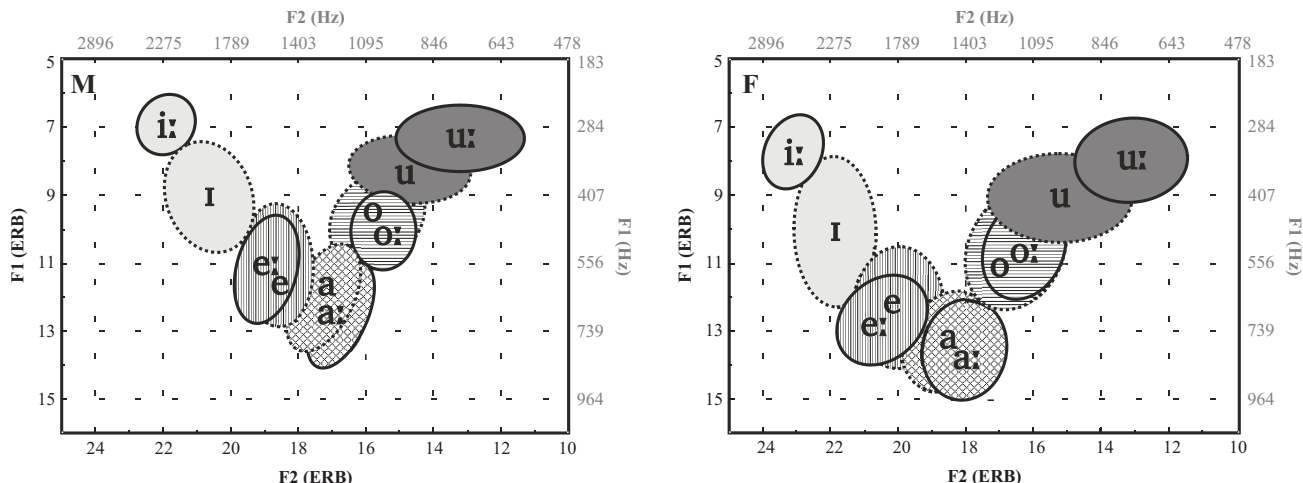
V poslední době české vokály zkoumali Volín a Studenovský [4], jejich cílem však nebylo poskytnout referenční formantové hodnoty: zjišťovali, jaká metoda nejefektivněji normalizuje hodnoty formantů tak, aby bylo možné porovnávat například mluvčí ženského a mužského pohlaví, ale aby zároveň nedošlo ke ztrátě lingvisticky relevantních detailů. Autoři zkoumali pouze krátké vokály, protože ty jsou v běžném textu průměrně tři- až čtyřikrát častější než samohlásky dlouhé [5]. Skarnitzl [6] se zabýval vztahem mezi trváním a formantovými hodnotami u dvojice /ɪ-/i:/.

Protože jsou vokální formanty důležitým údajem fonetického popisu, je samozřejmě vhodné, aby pro daný jazyk byly dostupné jejich referenční hodnoty. Pro češtinu doposud aktuální a zároveň reprezentativní data chyběla. Cílem našeho příspěvku je tuto mezeru zaplnit.

## 2. Metoda

Analýza formantů byla založena na nahrávkách 75 studentů lingvistických oborů na Filozofické fakultě (48 žen, 27 mužů); z části vycházíme z materiálu Volína a Studenovského [4]. Jednalo se o osoby ve věku 20–30 let, bez řečových a sluchových vad. Studenti byli instruováni, aby po krátké přípravě neutrálně a přirozeně přečetli přibližně minutový souvislý text. Nahrávky byly pořízeny ve zvukově upraveném studiu Fonetického ústavu FF UK v Praze. Byl použit kondenzátorový mikrofon AKG C4500 B-BC, akustický signál byl nahráván přímo do zvukové karty SB Audigy 4 při vzorkovací frekvenci 32 kHz a 16bitovém rozlišení.

<sup>1</sup>Stranou nyní necháváme vokály realizované s různými typy fonace, např. dyšné vokály v gudžarátštině či vokály s třepenou fonací v mexickém jazyce Jalapa Mazatec; v těchto jazycích mají zmíněné modifikace distinktivní platnost [2: 315nn.].



Obrázek 1: Formantová pole českých monoftongů, zvláště pro muže (M) a ženy (F). Elipsy naznačují jednu směrodatnou odchylku od průměru. Fonologicky dlouhé vokály jsou ohraničeny plnou čarou, krátké tečkovanou

Z textů bylo vybráno osm položek každého krátkého vokálu a tři položky každého dlouhého vokálu. Celkově jsme tedy analyzovali 4 125 vokálů (3 000 krátkých a 1 125 dlouhých). Vokály byly vybírány z různých segmentálních, prozodických i gramatických kontextů tak, aby byly vlivy těchto kontextů na hodnoty formantů vyvážené.

Frekvence prvních dvou formantů (F1 a F2) byly měřeny v programu Praat [7], nástroji určeném pro fonetické analýzy, pomocí Burgova algoritmu založeného na LPC. Formanty byly extrahovány při standardním nastavení pro každé z pohlaví: pro mužské mluvčí byly extrahovány tři formanty ve frekvenčním pásmu 0–3 000 Hz, pro ženské mluvčí v pásmu 0–3 300 Hz. Za frekvenci formantu byl považován aritmetický průměr sedmi ekvidistantních měření z prostřední třetiny vokálu. To ovšem neznamená měření rozdílným analyzačním oknem: u delších vokálů byly jednotlivé body měření poněkud dále od sebe. Protože neexistuje zcela spolehlivý extraktor formantů, naměřené hodnoty jsme následně zkontrolovali a případně opravili přímým odečtem ze spektrogramu.

Opravené hodnoty formantů jsme nakonec také převedli z hertzů do psychoakustické jednotky ERB (Equivalent Rectangular Bandwidth), která lépe vyjadřuje, jak výškové rozdíly vnímá lidské ucho [8]. Mezi objektivním fyzikálním měřením a jeho percepčním dopadem totiž existují zajímavé, nelineární vztahy.

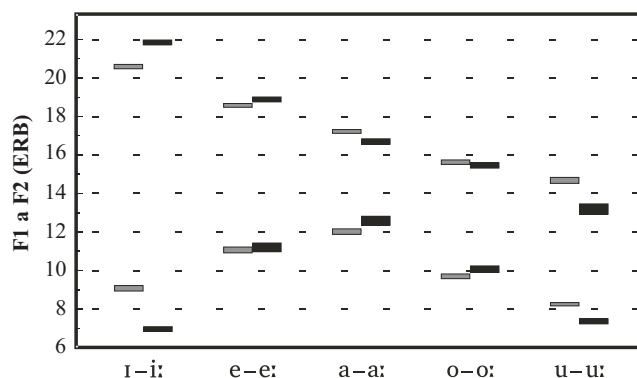
### 3. Výsledky a diskuse

Umístění všech českých monoftongů na erbové stupnici – kterou zde považujeme za primární – představuje obrázek 1, zvláště pro mužské a ženské mluvčí. Stupnice v hertzech jsou pro orientaci uvedeny v šedé barvě. Elipsy odpovídají jedné směrodatné odchylce od průměru, což znamená, že zahrnují přibližně 68 procent všech položek daného vokálu. U ženských i mužských mluvčích je patrné,

že zatímco u e-ových, a-ových a o-ových vokálů se formantová pole do značné míry překrývají, u u-ových je překryv jen částečný a u i-ových vokálů v podstatě žádný.

Jak naznačuje obrázek 1, formanty ženských mluvčích se od mužských zásadně neliší; v souladu s všeobecně platnými tendencemi jsou přibližně o 15 až 20 procent vyšší než formanty mužských mluvčích (elipsy jsou tedy na obrázku posunuty dolů a doleva). Protože se většinou jako referenční uvádějí hodnoty pro mužské mluvčí, představují následující zobrazení již pouze hodnoty pro mužské mluvčí.

Jak jsme již uvedli v úvodu, podle tradičních popisů se s výjimkou i-ových vokálů kvalita fonologicky krátkého vokálu od dlouhého v dané dvojici neliší. Zajímalo nás proto, zda tuto poučku potvrzuje i náš řečový vzorek mladších uživatelů češtiny. Obrázek 2 ukazuje F1 a F2 všech vokálů (krátké vokály jsou zobrazeny šedě, dlouhé černě) v podobě schematického spektrogramu.



Obrázek 2: Schematické spektrogramy českých monoftongů (pouze pro mužské hodnoty). Šedé pruhy odpovídají formantům fonologicky krátkých vokálů, černé pruhy formantům vokálů dlouhých. Tloušťka pruhů vyjadřuje 95% interval spolehlivosti



	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F1 (ERB)	F2 (ERB)	rozdíl F1 %	rozdíl F2 %
<b>I</b>	414,9 (76,6)	1943,2 (202,0)	9,06 (1,08)	20,64 (0,87)	30,55	5,80
<b>i:</b>	281,7 (33,2)	2255,2 (151,6)	6,94 (0,58)	21,91 (0,56)		
<b>e</b>	566,3 (98,5)	1518,8 (127,7)	11,05 (1,18)	18,62 (0,70)	1,16	1,69
<b>e:</b>	575,7 (86,0)	1578,0 (122,9)	11,18 (1,03)	18,94 (0,63)		
<b>a</b>	648,5 (94,8)	1286,0 (113,5)	12,01 (1,03)	17,26 (0,72)	4,23	3,05
<b>a:</b>	698,6 (96,5)	1206,3 (97,2)	12,54 (1,01)	16,75 (0,65)		
<b>o</b>	457,7 (69,3)	1054,8 (129,8)	9,68 (0,93)	15,66 (0,92)	3,68	1,16
<b>o:</b>	483,7 (54,9)	1027,9 (82,0)	10,05 (0,75)	15,48 (0,62)		
<b>u</b>	359,2 (43,1)	936,6 (145,1)	8,25 (0,66)	14,71 (1,19)	12,55	11,36
<b>u:</b>	304,1 (37,7)	768,9 (132,4)	7,33 (0,64)	13,21 (1,24)		

Tabulka 1: Hodnoty formantů českých monoftongů (mužské hodnoty) a procentuální rozdíl mezi hodnotami pro krátký a dlouhý vokál jednotlivých párů. V závorkách pod hodnotami formantů jsou uvedeny směrodatné odchylky

Ilustrace samozřejmě naznačuje stejné tendence jako obr. 1; výhodou je však zobrazení obou formantů na jediné ose. Ačkoli u všech dvojic můžeme alespoň v případě jednoho formantu pozorovat odlišné hodnoty, je otázkou, zda je lidské ucho schopné takové rozdíly vůbec vnímat. Za nejmenší vnímatelný rozdíl se u formantů přirozených (tj. nikoli syntetických) vokálů považuje přibližně pět procent [9]. Tabulka 1 shrnuje průměrné hodnoty a v posledních dvou sloupcích uvádí procentuální rozdíl mezi hodnotou formantu pro krátký a dlouhý vokál daného páru, vypočítaný z psychoakustických hodnot (ERB).

Hodnoty procentuálního rozdílu naznačují, že kvalitu krátkého a dlouhého vokálu v e-ové, a-ové a o-ové dvojici skutečně můžeme považovat za stejnou. Dvojice i-ových vokálů se liší především ve vokalické výšce, tzn. v prvním formantu; rozdíl mezi /i/ a /i:/ v F2 se pohybuje mírně nad hranicí rozlišitelnosti. Zajímavá situace se ukazuje u vokálů u-ových, u nichž se doposud odlišná kvalita nepředpokládala, ale rozdíl mezi /u/ a /u:/ výrazně přesahuje nejmenší vnímatelný rozdíl jak v prvním, tak i druhém formantu.

Je otázkou, zda kvalitativní odlišení u-ových vokálů, jež naznačují naše data, můžeme považovat za probíhající

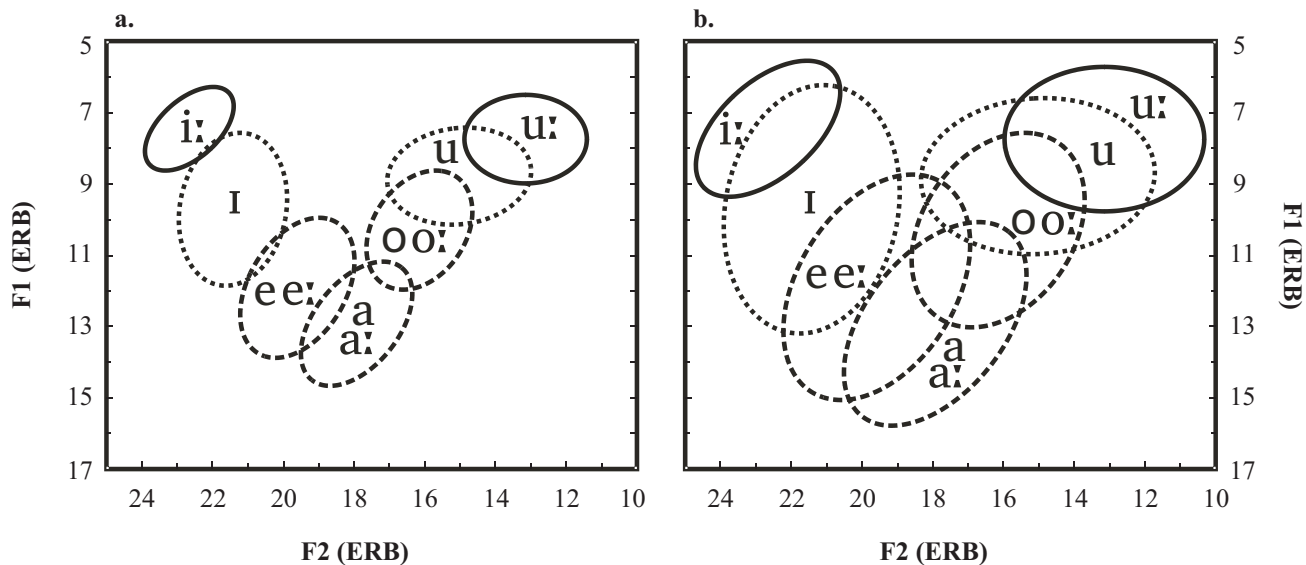
změnu v českém vokalickém systému. Pokud by tomu tak bylo, jeden z možných scénářů budoucího vývoje by mohl vést k plnému kvalitativnímu odlišení i-ových a u-ových, tedy vysokých vokálů. V této souvislosti je zajímavé podívat se na rozdíly mezi trváním krátkého a dlouhého vokálu v jednotlivých dvojicích: porovnání zobrazuje tabulka 2 (uvádíme trvání vokálů ze čteného zpravodajství Českého rozhlasu podle studie Skarnitzla [6]). Vidíme, že zatímco u e-ových, a-ových a o-ových vokálů je fonologicky dlouhý vokál vždy o 70 až 80 procent delší než vokál krátký, u vysokých vokálů je situace odlišná. Fonologicky dlouhé /i:/ je přibližně jen o 30 procent delší než krátké /i/. Je pravděpodobné, že značný spektrální rozdíl mezi /i/ a /i:/ umožňuje ekonomicky snížit rozdíl v oblasti trvání. Dlouhé /u:/ je průměrně o 60 procent delší než krátké /u/; u-ové vokály tak z hlediska trvání – podobně jako v oblasti vokalické kvality – leží mezi jednoznačně rozlišenými vokály i-ovými a mezi vokály nevysokými.

Můžeme se tedy domnívat, že temporální údaje souvisí s rozdíly spektrálními. Pokud by tento trend pokračoval a docházelo by k dalšímu vzájemnému odlišování u-ových vokálů, tedy k centralizaci krátkého /u/ a naopak ke zkracování fonologicky dlouhého /u:/, vedlo by to – možná paradoxně – k větší symetričnosti českého vokalického systému: vysoké vokály by byly odlišeny ve spektrální i temporální rovině, zatímco u vokálů nevysokých by rozlišující vlastností zůstalo pouze trvání. Pokud by se v budoucnu nastíněný scénář uskutečnil, bylo by zřejmě nutné u-ové vokály rozlišit i v oblasti transkripce: prepisovali bychom dlouhé /u:/ a krátké /u/, podobně jako například v angličtině či němčině.

vokál	trvání (ms)	poměr V: / V
I	53,5	1,29
i:	68,9	
e	53,5	1,72
e:	91,8	
a	63,1	1,79
a:	113,0	
o	51,7	1,73
o:	89,3	
u	57,3	1,60
u:	91,4	

Tabulka 2: Průměrné trvání a poměr trvání dlouhých a krátkých vokálů ve výslovnosti moderátorů Českého rozhlasu (podle: Skarnitzl, 2012)

Za zajímavý výsledek považujeme vztah mezi krátkým /a/ a dlouhým /a:/. Možná jste v posledních letech u mladých Čechů zaznamenali posun především dlouhého /a:/ dopředu, výslovnost, již bychom přepsali jako [a:]. Takové /a:/ se podobná anglickému vokálu /æ/, například ve slově *cat*, a můžeme se s ním rovněž setkat jako s regionální



Obrázek 3: Formantová pole českých vokálů se zahrnutím cca 68 % položek (a) a cca 95 % položek (b)

realizací na Plzeňsku. Je zajímavé, že toto neformální pozorování naše data nepotvrzují, ačkoli srovnání s Hálovými [1] hodnotami posun dopředu u krátkého /a/ i dlouhého /a:/ naznačuje.

Poslední aspekt, který zde zmíníme, je překryv jednotlivých samohlásek ve vokalickém prostoru. Podle dřívějších předpokladů se – samozřejmě i díky relativně nízkému počtu vokálů v češtině – formantová pole vokalických kvalit nepřekrývají. Obrázek 3 porovnává formantová pole při zahrnutí jedné směrodatné odchylky od průměru (cca 68 % všech položek) a dvou směrodatných odchylek (cca 95 % položek). Je patrné, že při druhém zobrazení, v němž jsou vypuštěny pouze extrémní hodnoty, se v našem vzorku formantová pole již překrývají do značné míry.

#### 4. Závěr

Hlavním cílem této studie bylo aktualizovat hodnoty formantů českých samohlásek. Vokalické formanty byly analyzovány v nahrávkách souvislých čtených textů mladých dospělých mluvčích. Ačkoli jsme se nesnažili vzorek stu-

dentů vyvážit z hlediska dialektologického rozvrstvení češtiny, nahrávky zahrnují subjekty ze všech hlavních dialektologických oblastí České republiky.

Studie potvrdila některé tendence, jež naznačily předchozí sondy. Jedná se zejména o rozdílnou kvalitu českých i-ových vokálů [6] a o asymetrii v oblasti středových vokálů, u nichž je zřejmá zavřenější realizace zadních o-ových a otevřenější realizace předních e-ových vokálů [4]. Naše studie však především ukázala, že jednotlivé dvojice nevysokých samohlásek (e-ové, a-ové a o-ové) můžeme z hlediska vokalické kvality považovat za homogenní, zatímco krátké a dlouhé vysoké samohlásky (i-ové a u-ové) se ve formantech liší. To zohledňuje i tabulka 3, která uvádí cílové, referenční hodnoty českých formantů v zaokrouhlené podobě. Tyto hodnoty mohou být informativní i pro fonetické účely, kde je znalost modálních deskriptorů žádoucí.

#### Poděkování

Tento výzkum vznikl za podpory grantu GAČR 406/12/0298.

#### Reference

- [1] Hála, B.: *Akustická podstata samohlásek*, Česká akademie věd a umění, Praha, 1941.
- [2] Ladefoged, P., Maddieson, I.: *The Sounds of the World's Languages*, Blackwell, Oxford, 1996.
- [3] Borovičková, B., Maláč, V.: *The spectral analysis of Czech sound combinations*, Academia, Praha, 1967.
- [4] Volín, J., Studenovský, D.: Normalization of Czech vowels from continuous read texts, *Proc. of the 16<sup>th</sup> ICPHS*, p. 185–190, Saarbrücken, 2007.

	F1	F2
I	410	1940
i	280	2260
e e:	570	1550
a a:	670	1250
o o:	470	1040
u	360	940
u:	300	770

Tabulka 3: Zaokrouhlené hodnoty kmitočtů (Hz) českých monofoňgů pro mluvčí mužského pohlaví

- [5] Těšitelová, M. a kol.: *O češtině v číslech*, Academia, Praha, 1987.
- [6] Skarnitzl, R.: Dvojí i v české výslovnosti, *Naše řeč*, 2012 (v tisku).
- [7] Boersma, P., Weenink, D.: *Praat: doing phonetics by computer* (Version 5.2). Staženo 1. listopadu 2010, <http://www.praat.org>
- [8] Moore, B. C. J., Glasberg, B. R.: Suggested formulae for calculating auditory-filter bandwidths and excitation patterns, *Journal of the Acoustical Society of America*, 74, p. 750–753, 1983.
- [9] Pols, L. C. W.: Flexible, robust, and efficient human speech processing versus present-day speech technology, *Proc. of the 14<sup>th</sup> ICPHS*, p. 9–16, San Francisco, 1999.

# Kirnbergerova temperatura v „Die Kunst des reinen Satzes in der Musik“ (1771)

Martin Celhoffer

Akademie staré hudby při ÚHV Filozofické fakulty MU, Arne Nováka 1, 602 00 Brno  
e-mail: celhoffer@phil.muni.cz

This paper deals with detailed description of musical temperament nowadays known as KIRNBERGER II, proposed by German composer, musician and music theorist Johann Philipp Kirnberger in his well-known treatise *Die Kunst des reinen Satzes in der Musik* (1771). In comparison to similar tuning systems of the second half of 18<sup>th</sup> century, this temperament was a quite irregular one. This fact points out particular demand towards diversity of baroque musical keys with regard to its affect theory. The aim of this paper is to present an acoustic-comparative material of tonal and key characterization of this temperament.

## 1. Úvod: historické kontexty Kirnbergerovy nerovnoměrné temperatury

V předkládaném článku se budeme zabývat analýzou hudební temperatury KIRNBERGER II, již popisuje a odvozuje Johann Philipp Kirnberger (1721–1783) ve svém pojednání *Die Kunst des reinen Satzes in der Musik* (1771) [1]. Kirnberger byl německý hudebník, skladatel a teoretik. Ovládal hru na cembalo, varhany a housle, jeho dochované kompozice svědčí o kontrapunktické a generálbasové kompoziční technice. Během učňovských let byl evidentně žákem Johanna Sebastiana Bacha (1685 až 1750), jak o tom svědčí historicky dochované zmínky Kirnbergerova vrstevníka Friedricha Wilhelma Marpurga (1718–1795). Podle těchto zmínek se Kirnberger učil od Bacha mimo jiné i umění temperování [2], ačkoli se při pokusech rekonstruovat „bachovskou“ temperaturu ukázalo, že Kirnbergerova temperatura podle všeho není reprezentantem „bachovského“ ladění [3].

Analýzu Kirnbergerovy temperatury pojmem ve dvou rovinách: (i) jako detailní popis ladění z hlediska jeho proporční intervalové struktury na základě interpretace původního pramene (viz tabulka 1) a (ii) jako pokus o zasazení jednotlivých intervalových vztahů do kontextu hudební tonality (viz tabulky 2 a 3). Právě druhá část analýzy si klade za cíl nabídnout materiál pro doposud nedostatečnou reflexi vztahu (zejména z hlediska senzorní příjemnosti) určitých tonálních jevů (tónina, akordy, harmonické funkce apod.) a v barokní estetice proklamovaných „afektů“ tónin.

Kirnberger odvodil vícero typů temperatur – ladění. V současné koncertní praxi historicky poučené interpretace barokní hudby vešla tato ladění ve známost pod typologickými označeními KIRNBERGER I, KIRNBERGER II a KIRNBERGER III (dále jen KI, KII, KIII). Mimo tyto temperatury Kirnberger odvodil i chromatickou variantu přirozeného ladění [1], které mu sloužilo jako východisko „temperování“ jednotlivých stupňů tónového systému tak, aby splňovaly požadavky tehdejší hudební praxe. Všechny tyto temperatury jsou (zcela v intencích problematiky la-

dění v druhé polovině 18. století) více či méně nerovnoměrná ladění. Z hlediska senzorní příjemnosti omezené na konsonantnost hudebních intervalů je přirozené ladění nejvíce vyhovující nejen po stránce dobově-subjektivní recepcí problému (Kirnberger i jeho předchůdci a současníci považovali přirozené intervaly z hlediska konsonantnosti za nejlépezněší), nýbrž také po stránce akustické: intervaly přirozeného ladění jsou shodné s určitými svými vyššími harmonickými frekvencemi a nedochází tak k rázům blízkých frekvencí. Úskalí přirozené temperatury je její neaplikabilita v hudební praxi, zejména v souvislosti s nástroji s pevnou intonací. Některé tóniny budou tak obsahovat příliš úzké nebo naopak příliš široké intervaly. Ty je pak nutné „temperovat“ do přijatelných mezí, jejichž míra pak určuje nerovnoměrnost výsledného ladění.

Pokud bychom měli sestavit škálu Kirnbergerových temperatur od „nejvíce“ nerovnoměrných směrem k „méně“ nerovnoměrným, vypadala by takto:

1. Kirnbergerova chromatická přirozená temperatura (výchozí ladění)
2. KI
3. KII
4. KIII

Vzhledem k tomu, že temperatury KI a KII jsou na svou dobu poměrně radikální, v současné interpretační praxi se upřednostňuje temperatura KIII. Možným důvodem radikalizace ladění KI a KII, které právě z tohoto důvodu podrobuje kritice i Marpurg [2] (který se technikám temperování ladění učil u samotného Kirnbergera), je snaha o dosažení téměř „čistého“ (přirozeného) ladění vybraných tónin (např. C dur a G dur) na úkor tónin vzdálených (např. H dur, As dur) – ty jsou pak subjektivně vnímány jako tóniny intonačně „ostré“ či výrazně „zabarvené“, jelikož vzhledem k přirozenému ladění mají příliš velké nebo naopak příliš malé intervaly, stále však v dobově tolerovatelných mezích.

Temperování hudebních intervalů, zejména velkých tercií, nebylo tedy jen záležitostí hledání jistého zvukového

	c	cis	d	dis	e	f	fis	g	gis	a [I]	a [II]	b	h
c	1/1 0,00												
cis	256/243 90,22	1/1 0,00											
d	9/8 203,91	2187/2048 113,69	1/1 0,00										
dis	32/27 294,13	9/8 203,91	256/243 90,22	1/1 0,00									
e	5/4 386,31	1215/1024 296,09	10/9 182,40	135/128 92,18	1/1 0,00								
f	4/3 498,04	81/64 407,82	32/27 294,13	9/8 203,91	16/15 111,73	1/1 0,00							
fis	45/32 590,22	10935/8192 500,00	5/4 386,31	1215/1024 296,09	9/8 203,91	135/128 92,18	1/1 0,00						
g	3/2 701,96	729/512 611,73	4/3 498,04	81/64 407,82	6/5 315,64	9/8 203,91	16/15 111,73	1/1 0,00					
gis	128/81 792,18	3/2 701,96	1024/729 588,27	4/3 498,04	512/405 405,87	32/27 294,13	4096/3645 201,96	256/243 90,22	1/1 0,00				
a [I]	5/3 884,36	405/256 794,13	40/27 680,45	45/32 590,22	4/3 498,04	5/4 386,31	32/27 294,13	10/9 182,40	135/128 92,18	1/1 0,00			
a [II]	161/96 895,15	13041/8192 804,92	161/108 691,24	1449/1024 601,01	161/120 508,83	161/128 397,10	161/135 304,92	161/144 193,19	4347/4096 102,97	161/160 10,79	1/1 0,00		
b	16/9 996,09	27/16 905,87	128/81 792,18	3/2 701,96	64/45 609,78	4/3 498,04	512/405 405,87	32/27 294,13	9/8 203,91	16/15 111,73	512/483 100,94	1/1 0,00	
h	15/8 1088,27	3645/2048 998,04	5/3 884,36	405/256 794,13	3/2 701,96	45/32 590,22	4/3 498,04	5/4 386,31	1215/1024 296,09	9/8 203,91	180/161 193,12	135/128 92,18	1/1 0,00
c <sup>1</sup>	2/1 1200,00	243/128 1109,78	16/9 996,09	27/16 905,87	8/5 813,69	3/2 701,96	64/45 609,78	4/3 498,04	81/64 407,82	6/5 315,64	192/161 304,85	9/8 203,91	16/15 111,73
cis <sup>1</sup>		2/1 1200,00	4096/2187 1086,31	16/9 996,09	2048/1215 903,91	128/81 792,18	16384/10935 700,00	1024/729 588,27	4/3 498,04	512/405 405,87	16384/13041 395,08	32/27 294,13	4096/3645 201,96
d <sup>1</sup>			2/1 1200,00	243/128 1109,78	9/5 1017,60	27/16 905,87	8/5 813,69	3/2 701,96	729/512 611,73	27/20 519,55	216/161 508,76	81/64 407,82	6/5 315,64
dis <sup>1</sup>				2/1 1200,00	256/135 1107,82	16/9 996,09	2048/1215 903,91	128/81 792,18	3/2 701,96	64/45 609,78	2048/1449 598,99	4/3 498,04	512/405 405,87
e <sup>1</sup>					2/1 1200,00	15/8 1088,27	16/9 996,09	5/3 884,36	405/256 794,13	3/2 701,96	240/161 691,17	45/32 590,22	4/3 498,04
f <sup>1</sup>						2/1 1200,00	256/135 1107,82	16/9 996,09	27/16 905,87	8/5 813,69	256/161 802,90	3/2 701,96	64/45 609,78
fis <sup>1</sup>							2/1 1200,00	15/8 1088,27	3645/2048 998,04	27/16 905,87	270/161 895,08	405/256 794,13	3/2 701,96
g <sup>1</sup>								2/1 1200,00	243/128 1109,78	9/5 1017,60	288/161 1006,81	27/16 905,87	8/5 813,69
gis <sup>1</sup>									2/1 1200,00	256/135 1107,82	8192/4347 1097,03	16/9 996,09	2048/1215 903,91
a <sup>1</sup> [I]										2/1 1200,00	320/161 1189,21	15/8 1088,27	16/9 996,09
a <sup>1</sup> [II]											2/1 1200,00	483/256 1099,06	161/90 1006,88
b <sup>1</sup>												2/1 1200,00	256/135 1107,82
h <sup>1</sup>													2/1 1200,00

Tabulka 1: Intervalové vztahy mezi jednotlivými stupni teploty KI a KII (teplota KI, lišící se pouze intervalovými vztahy k stupni „a“, je zvýrazněna šedě)

	moll kvintakord		dur kvintakord		kvinta	sexta		septima	
	m.3	v.3	v.3	m.3	č.5	m.6	v.6	m.7	v.7
<b>C</b>	<b>c-es</b>	<b>es-g</b>	<b>c-e</b>	<b>e-g</b>	<b>c-g</b>	<b>c-as</b>	<b>c-a[II]</b>	<b>c-b</b>	<b>c-h</b>
	32/27	81/64	5/4	6/5	3/2	128/81	161/96		
	294,13	407,82	386,31	315,64	701,96	792,18	895,15	16/9	15/8
	-5,87	+7,82	-13,69	+15,64	+1,96	-7,82	-4,85	996,09	1088,27
	-21,51	+21,51	0,00	0,00	0,00	-21,51	+10,79	-3,91	-11,73
	81/80	81/80	1/1	1/1	1/1	81/80	161/160		
						<b>c-a[II]</b>			
						5/3			
						884,36			
						-15,64			
						0,00			
						1/1			
<b>CIS DES</b>	<b>cis-e</b>	<b>e-gis</b>	<b>des-f</b>	<b>f-as</b>	<b>des-as cis-gis</b>	<b>cis-a[III]</b>	<b>des-b</b>	<b>cis-h</b>	<b>des-c<sup>1</sup></b>
	1215/1024	512/405	81/64	32/27	3/2	13041/8192	27/16		
	296,09	405,87	407,82	294,13	701,96	804,92	905,87	3645/2048	243/128
	-3,91	+5,87	+7,82	-5,87	+1,96	+4,92	+5,87	998,04	1109,78
	-19,55	+19,55	+21,51	-21,51	0,00	-8,77	+21,51	-1,96	+9,78
	2048/2025	2048/2025	81/80	81/80	1/1	65536/65205	81/80		
					<b>cis-a[II]</b>				
					405/256				
					794,13				
					-5,87				
					-19,55				
					2048/2025				
<b>D</b>	<b>d-f</b>	<b>f-a[III]</b>	<b>d-fis</b>	<b>fis-a[III]</b>	<b>d-a[III]</b>	<b>d-b</b>	<b>d-h</b>	<b>d-c<sup>1</sup></b>	<b>d-cis<sup>1</sup></b>
	32/27	161/128	5/4	161/135	161/108	128/81	5/3		
	294,13	397,10	386,31	304,92	691,24	792,18	884,36	16/9	4096/2187
	-5,87	-2,90	-13,69	+4,92	-8,76	-7,82	-15,64	996,09	1086,31
	-21,51	+10,79	0,00	-10,72	-10,72	-21,51	0,00	-3,91	-13,69
	81/80	161/160	1/1	162/161	162/161	81/80	1/1		
	<b>f-a[II]</b>		<b>fis-a[II]</b>	<b>d-a[II]</b>					
	5/4		32/27	40/27					
	386,31		294,13	680,45					
	-13,69		-5,87	-19,55					
	0,00		-21,51	-21,51					
	1/1		81/80	81/80					
<b>ES</b>	<b>es-ges</b>	<b>ges-b</b>	<b>es-g</b>	<b>g-b</b>	<b>es-b</b>	<b>es-ces<sup>1</sup></b>	<b>es-c<sup>1</sup></b>	<b>es-des<sup>1</sup></b>	<b>es-d<sup>1</sup></b>
	1215/1024	512/405	81/64	32/27	3/2	405/256	27/16		
	296,09	405,87	407,82	294,13	701,96	794,13	905,87	16/9	243/128
	-3,91	+5,87	+7,82	-5,87	+1,96	-5,87	+5,87	996,09	1109,78
	-19,55	+19,55	+21,51	-21,51	0,00	-19,55	+21,51	-3,91	+9,78
	2048/2025	2048/2025	81/80	81/80	1/1	2048/2025	81/80		
<b>E</b>	<b>e-g</b>	<b>g-h</b>	<b>e-gis</b>	<b>gis-h</b>	<b>e-h</b>	<b>e-c<sup>1</sup></b>	<b>e-cis<sup>1</sup></b>	<b>e-d<sup>1</sup></b>	<b>e-dis<sup>1</sup></b>
	6/5	5/4	512/405	1215/1024	3/2	8/5	2048/1215		
	315,64	386,31	405,87	296,09	701,96	813,69	903,91	9/5	256/135
	+15,64	-13,69	+5,87	-3,91	+1,96	+13,69	+3,91	1017,60	1107,82
	0,00	0,00	+19,55	-19,55	0,00	0,00	+19,55	+17,60	+7,82
	1/1	1/1	2048/2025	2048/2025	1/1	1/1	2048/2025		
<b>F</b>	<b>f-as</b>	<b>as-c<sup>1</sup></b>	<b>f-a[III]</b>	<b>a[III]-c<sup>1</sup></b>	<b>f-c<sup>1</sup></b>	<b>f-des<sup>1</sup></b>	<b>f-d<sup>1</sup></b>	<b>f-es<sup>1</sup></b>	<b>f-e<sup>1</sup></b>
	32/27	81/64	161/128	192/161	3/2	128/81	27/16		
	294,13	407,82	397,10	304,85	701,96	792,18	905,87	16/9	15/8
	-5,87	+7,82	-2,90	+4,85	+1,96	-7,82	+5,87	996,09	1088,27
	-21,51	+21,51	+10,79	-10,79	0,00	-21,51	+21,51	-3,91	-11,73
	81/80	81/80	161/160	161/160	1/1	81/80	81/80		
		<b>f-a[II]</b>	<b>a[II]-c<sup>1</sup></b>						
		5/4	6/5						
		386,31	315,64						
		-13,69	+15,64						
		0,00	0,00						
		1/1	1/1						

Tabulka 2: Tonální charakteristika (1. část)

	moll kvintakord		dur kvintakord		kvinta	sexta		septima	
	m.3	v.3	v.3	m.3	č.5	m.6	v.6	m.7	v.7
<b>FIS</b>	<b>fis-a[III]</b>	<b>a[III]-cis<sup>1</sup></b>	<b>fis-ais</b>	<b>ais-cis<sup>1</sup></b>	<b>fis-cis<sup>1</sup></b>	<b>fis-d<sup>1</sup></b>	<b>fis-dis<sup>1</sup></b>	<b>fis-e<sup>1</sup></b>	<b>fis-cis<sup>1</sup></b>
	161/135	16384/13041	512/405	32/27	16384/10935	8/5	2048/1215		
	304,92	395,08	405,87	294,13	700,00	813,69	903,91	16/9	256/135
	+4,92	-4,92	+5,87	-5,87	0,00	+13,69	+3,91	996,09	1107,82
	-10,72	+8,77	+19,55	-21,51	-1,95	0,00	+19,55	-3,91	+7,82
	162/161	65536/65205	2048/2025	81/80	32805/32768	1/1	2048/2025		
	<b>fis-a[I]</b>	<b>a[I]-cis<sup>1</sup></b>							
	32/27	512/405							
	294,13	405,87							
	-5,87	+5,87							
-21,51	+19,55								
81/80	2048/2025								
<b>G</b>	<b>g-b</b>	<b>b-d<sup>1</sup></b>	<b>g-h</b>	<b>h-d<sup>1</sup></b>	<b>g-d<sup>1</sup></b>	<b>g-es<sup>1</sup></b>	<b>g-e<sup>1</sup></b>	<b>g-f<sup>1</sup></b>	<b>g-fis<sup>1</sup></b>
	32/27	81/64	5/4	6/5	3/2	128/81	5/3		
	294,13	407,82	386,31	315,64	701,96	792,18	884,36	16/9	15/8
	-5,87	+7,82	-13,69	+15,64	+1,96	-7,82	-15,64	996,09	1088,27
	-21,51	+21,51	0,00	0,00	0,00	-21,51	0,00	-3,91	-11,73
	81/80	81/80	1/1	1/1	1/1	81/80	1/1		
<b>GIS AS</b>	<b>gis-h</b>	<b>h-dis<sup>1</sup></b>	<b>as-c<sup>1</sup></b>	<b>c<sup>1</sup>-es<sup>1</sup></b>	<b>as-es<sup>1</sup></b> <b>gis-dis<sup>1</sup></b>	<b>gis-e<sup>1</sup></b>	<b>as-f<sup>1</sup></b>	<b>gis-fis<sup>1</sup></b>	<b>as-g<sup>1</sup></b>
	1215/1024	512/405	81/64	32/27	3/2	405/256	27/16		
	296,09	405,87	407,82	294,13	701,96	794,13	905,87	3645/2048	243/128
	-3,91	+5,87	+7,82	-5,87	+1,96	-5,87	+5,87	998,04	1109,78
	-19,55	+19,55	+21,51	-21,51	0,00	-19,55	+21,51	-1,96	+9,78
	2048/2025	2048/2025	81/80	81/80	1/1	2048/2025	81/80		
<b>A</b>	<b>a[III]-c<sup>1</sup></b>	<b>c<sup>1</sup>-e<sup>1</sup></b>	<b>a[III]-cis<sup>1</sup></b>	<b>cis<sup>1</sup>-e<sup>1</sup></b>	<b>a[III]-e<sup>1</sup></b>	<b>a[III]-f<sup>1</sup></b>	<b>a[III]-fis<sup>1</sup></b>	<b>a[III]-g<sup>1</sup></b>	<b>a[III]-gis<sup>1</sup></b>
	192/161	5/4	16384/13041	1215/1024	240/161	256/161	270/161		
	304,85	386,31	395,08	296,09	691,17	802,90	895,08	288/161	8192/4347
	+4,85	-13,69	-4,92	-3,91	-8,83	+2,90	-4,92	1006,81	1097,03
	-10,79	0,00	+8,77	-19,55	-10,79	-10,79	+10,72	+6,81	-2,97
	161/160	1/1	65536/65205	2048/2025	161/160	161/160	162/161		
	<b>a[I]-c<sup>1</sup></b>		<b>a[I]-cis<sup>1</sup></b>		<b>a[I]-e<sup>1</sup></b>	<b>a[I]-f<sup>1</sup></b>	<b>a[I]-fis<sup>1</sup></b>	<b>a[I]-g<sup>1</sup></b>	<b>a[I]-gis<sup>1</sup></b>
	6/5		512/405		3/2	8/5	27/16		
	315,64		405,87		701,96	813,69	905,87	9/5	256/135
	+15,64		+5,87		+1,96	+13,69	+5,87	1017,60	1107,82
0,00		+19,55		0,00	0,00	+21,51	+17,60	+7,82	
1/1		2048/2025		1/1	1/1	81/80			
<b>B</b>	<b>b-des<sup>1</sup></b>	<b>des<sup>1</sup>-f<sup>1</sup></b>	<b>b-d<sup>1</sup></b>	<b>d<sup>1</sup>-f<sup>1</sup></b>	<b>b-f<sup>1</sup></b>	<b>b-ges<sup>1</sup></b>	<b>b-g<sup>1</sup></b>	<b>b-as<sup>1</sup></b>	<b>b-a<sup>1</sup>[III]</b>
	32/27	81/64	81/64	32/27	3/2	405/256	27/16		
	294,13	407,82	407,82	294,13	701,96	794,13	905,87	16/9	483/256
	-5,87	+7,82	+7,82	-5,87	+1,96	-5,87	+5,87	996,09	1099,06
	-21,51	+21,51	+21,51	-21,51	0,00	-19,55	+21,51	-3,91	-0,94
	81/80	81/80	81/80	81/80	1/1	2048/2025	81/80		
								<b>b-a<sup>1</sup>[I]</b>	
								15/8	
								1088,27	
								-11,73	
<b>H</b>	<b>h-d<sup>1</sup></b>	<b>d<sup>1</sup>-fis<sup>1</sup></b>	<b>h-dis<sup>1</sup></b>	<b>dis<sup>1</sup>-fis<sup>1</sup></b>	<b>h-fis<sup>1</sup></b>	<b>h-g<sup>1</sup></b>	<b>h-gis<sup>1</sup></b>	<b>h-a<sup>1</sup>[III]</b>	<b>h-ais<sup>1</sup></b>
	6/5	5/4	512/405	1215/1024	3/2	8/5	2048/1215		
	315,64	386,31	405,87	296,09	701,96	813,69	903,91	161/90	256/135
	+15,64	-13,69	+5,87	-3,91	+1,96	+13,69	+3,91	1006,88	1107,82
	0,00	0,00	+19,55	-19,55	0,00	0,00	+19,55	+6,88	+7,82
	1/1	1/1	2048/2025	2048/2025	1/1	1/1	2048/2025		
							<b>h-a<sup>1</sup>[I]</b>		
							16/9		
							996,09		
							-3,91		

Tabulka 3: Tonální charakteristika (2. část)



ideálu, rozvrženého dle praktických možností do všech tónin (jako je například středotónové ladění v 16. a raném 17. století), nýbrž také nástrojem cílené diverzifikace intervalových charakteristik jednotlivých tónin. Tuto diverzifikaci nemůžeme pojmut výhradně v technické rovině problému (tedy v souvislosti s problémem neměnné a neflexibilní intonace klávesových nástrojů), nýbrž v kontextu tzv. afektové teorie, která se v období baroka rozvíjí již na empirických základech. Můžeme mluvit o prvních pokusech ukotvit problematiku afektů ve fyziologii, ale ještě nikoli o formulování zákonů psychoakustiky [4].

Pro nerovnoměrné temperatury období baroka je typické, že nabízejí širokou škálu intonačně vyhraněných tónin. Větší či menší intonační diskrepance pak vtiskují jednotlivým tóninám určité afektivní charakteristiky, jež byly cíleně využívány skladatelskou praxí. Christian Friedrich Daniel Schubart (1739–1791), podobně jako mnoho jiných autorů, nabízí ve svém pojednání *Ideen zu einer Ästhetik der Tonkunst* [5] takovou systematiku afektů jednotlivých tónin. Například tónina C dur je „ganz rein“, celkem čistá, pochopitelně vzhledem k faktu, že C dur je v rámci všech systémů temperatur „nejčistší“, a tedy nejbliže k ideálu přirozeného ladění (zřídka, jako právě u temperatur KI a KII, je dokonce velká tercie nad I. stupněm tóniny identická s přirozenou tercií, a je tedy „netemperovaná“). Její charakteristika je podle Schubarta: „Unschuld, Einfalt, Naivität, Kindersprache“, tedy: nevinnost, prostota, důvěřivost a dětská mluva. Naproti tomu H dur, jakožto tónina již značně vzdálená, a tedy i více temperovaná, je „stark gefärbt“, silně zabarvená, s charakterem: „Zorn, Wut, Eifersucht, Raserei, Verzweiflung...“, tedy: hněv, zuřivost, žárlivost, šílenství a zoufalství. Tato charakteristika jen podtrhuje příliš velkou tercií nad I. stupněm. Sám Kirnberger uvádí v souvislosti se svou temperaturou KII děsivý, zstrašující charakter tóniny Es dur v protikladu k čisté tónině C dur.

Do celkové analýzy zahrneme pro srovnání také temperaturu KI, která se od KII liší jen v naladění tónu „a“, přičemž všechny ostatní stupně zůstávají beze změn.

## 2. Analýza a tonální charakteristika Kirnbergerovy temperatury

V tabulce č. 1 jsou uvedené všechny možné intervalové vztahy Kirnbergerovy temperatury KI a KII. Intervalové vztahy jsou ve tvaru proporce doplněné hodnotou intervalu v centech (100 centů = 1 rovnoměrně temperovaný půltón, tedy  $\sqrt[12]{2}$  odpovídající dnešnímu racionálně-praktickému ladění).

Proporce uvádím ve srovnání s pramenem v převráceném tvaru  $a/b$ , kde platí, že  $a > b$ , z důvodu snazšího výpočtu kmitočtu, např. pokud  $a^1 = 440$  Hz, tak malou tercií  $c^2$  odvodíme jednoduše  $440 \times 192/161 = 524,72$  Hz. Podobně nám proporční odchylka od přirozeného ladění pomůže odvodit periodicitu rázů – záznejů. Svislé sloupce představují diatonické a chromatické stupně každé tóniky

kvintového kruhu (v posloupnosti chromatické stupnice od tónu „c“).

Materiál pro tonální a akordickou charakteristiku je uveden v tabulkách 2 a 3 opět v posloupnosti chromatické stupnice od tónu „c“. Údaje v buňkách tabulek představují:

m.3	– hudební interval
c-es	– krajní tóny
32/27	– proporce intervalu
294,13	– hodnota intervalu v centech
-5,87	– odchylka od rovnoměrné temperatury v centech
-21,51	– odchylka od přirozeného intervalu v centech
81/80	– proporce odchylky od přirozeného intervalu

Zvolené intervalové charakteristiky ke každému tónu představují základní akordický materiál: mollový kvintakord ve složení malá tercie 300c (hodnota rovnoměrné temperatury) a velká tercie 400c; durový kvintakord ve složení velká tercie 400c a malá tercie 300c; kvinta 700c; malá 800c a velká 900c sexta; malá 1000c a velká 1100c septima. Malou a velkou sextu uvádím z důvodu častého užívání kvintsextakordů v barokní hudbě 18. století. U septim neuvádím odchylku od přirozeného ladění z důvodu disonantní povahy tohoto intervalu. Nicméně Kirnberger uvádí [1] jako „přirozenou“ malou septimu hodnotu 16/9, což je interval ve složení dvou čistých kvart 4/3. Z akordického hlediska se jedná o durový nebo mollový kvintakord s přirozenou kvintou 3/2, nad kterou je tzv. pythagorejská malá tercie 32/27, která je ve srovnání s přirozenou o syntonické koma (81/80) užší. Septima 16/9 bude tedy o 3,91c užší než rovnoměrně temperovaná. Užší septima také vyhovuje tendenci rozvodu směrem dolů dle pravidel kontrastu i funkční harmonie, proto pythagorejská malá tercie nad kvintou bude naprosto vyhovovat disonantnímu charakteru malé septimy. Naproti tomu za přirozenou velkou septimu můžeme považovat interval 15/8, jelikož ten je složen z přirozené čisté kvinty 3/2 a z přirozené velké tercií 5/4. Tato hodnota také naznačuje z hlediska čistoty intonace ideální vztah I. a V. stupně: podíváme-li se na tonální charakteristiku I. stupně „C“ (viz tab. 2), vidíme, že VII. stupeň (tón „h“) je 15/8. To naznačuje, že tercií nad V. stupněm (tedy „g-h“) bude přirozená s hodnotou 5/4 (viz tab. 3).

Z tabulek lze odvodit celou řadu interpretačních souvislostí včetně kritické komparace Kirnbergerovy temperatury a četných dobových pramenů, jež popisují „afekty“, tedy charakteristiky jednotlivých tónin. Nicméně nomenklatura dobových afektivních charakteristik vychází z barokní afektové teorie, která se ještě neopírá o psychoakustickou teorii – tu v souvislosti s konsonantností (nikoli v hudebně-teoretickém smyslu) formuluje až Hermann von Helmholtz na základě interferenčních jevů [6]. Proto přiřazení jednotlivých afektů k určitým tóninám vychází více ze zkušenosti a dobové estetiky než z důsledné akustické analýzy – tu můžeme provést *a posteriori* a doložit tak míru objektivitu problému.



V úvodu zmíněné příklady Schubartových afektivních charakteristik tónin C dur a H dur můžeme srovnat s výsledky v tab. 2 a 3. Pro názornou demonstraci možné analýzy, jelikož zde nemáme ambici nabídnout analýzu příliš rozsáhlou a komplexní, se omezíme pouze na tři základní harmonické funkce tónin ve tvaru kvintakordů I., IV. a V. stupně (v analýze tedy vynecháme případný septakord, kvintsextakord, jako i harmonie vedlejších stupňů a harmonie příbuzných tónin):

Kvintakordy	Tónina C dur		Tónina H dur	
	tercie	kvinta	tercie	kvinta
I.	0,00	0,00	+19,55	0,00
IV.	+10,79	0,00	+19,55	0,00
V.	0,00	0,00	+19,55	-1,95

Tabulka 4: Odchytky základních harmonických funkcí tónin C dur a H dur

Jedná se v podstatě o odchytky mezi určitými vyššími harmonickými frekvencemi krajních tónů intervalů. U kvinty to bude odchytky, resp. shoda mezi třetí (také šestou atd.) harmonickou frekvencí spodního tónu intervalu s druhou harmonickou (také čtvrtou atd.) frekvencí vrchního tónu intervalu. U velké tercie pak odchytky, resp. shoda mezi pátou harmonickou frekvencí spodního tónu a čtvrtou tónu vrchního, u malé tercie shoda, resp. odchytky mezi šestou harmonickou frekvencí spodního tónu a pátou tónu vrchního. Shody a odchytky harmonických frekvencí demonstrujeme na tonálních harmoniích – kvintakordech I. stupně tónin C dur a H dur:

kvintakord I. stupně tóniny C dur ( $c^1$ , $e^1$ , $g^1$ )					
1.	2.	3.	4.	5.	6.
262,36	524,72	<b>787,08</b>	1049,44	<b>1311,8</b>	<b>1574,16</b>
327,95	655,9	983,85	<b>1311,8</b>	1639,75	<b>1967,7</b>
393,54	<b>787,08</b>	1180,62	<b>1574,16</b>	<b>1967,7</b>	2361,24
kvintakord I. stupně tóniny H dur ( $h$ , $dis^1$ , $fis^1$ )					
1.	2.	3.	4.	5.	6.
245,96	491,93	<b>737,89</b>	983,85	<i>1229,81</i>	<b>1475,78</b>
310,95	621,89	932,84	<i>1243,78</i>	1554,73	<i>1865,67</i>
368,94	<b>737,89</b>	1106,83	<b>1475,78</b>	<i>1844,72</i>	2213,66

Tabulka 5: Harmonické frekvence (Hz, za předpokladu, že  $a^1 = 400$  Hz) kvintakordů I. stupně tónin C dur a H dur

Spektrum harmonických frekvencí kvintakordu I. stupně tóniny C dur je v pásmu blízkých frekvencí (tj. frekvence s rozdílem 0–30 Hz) ve všech ohledech shodné (tabulka 5), naproti tomu u I. stupně tóniny H dur je shoda pouze v pásmu kvint (tučně), v pásmu tercií (velkých i malých) dochází k odchytkám (kurzíva). Rozdíly v blízkých harmonických frekvencích vnímáme jako rázy – zázněje. Velikost odchylek v závislosti na postupně klesajících amplitudách (které jsou určeny i barvou tónu jednotlivých

nástrojů) určuje senzoričnou příjemnost souzvuků. Patrně z tohoto důvodu určuje Kirnberger (na základě zkušenosti) rozdílné maximální tolerovatelné odchylky temperovaných intervalů zvlášť pro tercie a zvlášť pro kvinty: u tercie je krajní hodnota rovná syntonickému komatu (81/80), u kvinty jeho polovině (162/161 nebo 161/160), jelikož kvinta je v rámci harmonických frekvencí blíže frekvenci základní, a bude tedy percepčně markantnější. Proto také Kirnberger modifikuje své první ladění KI, jelikož obsahuje o syntonické koma zúženou kvintu 40/27 mezi tóny d–a, na ladění KII, ve kterém syntonické koma rozděluje do dvou kvint (d–a, a–e).

Schubartem proklamovanou „nevinnost“ a „prostotu“ tóniny C dur lze uchopit jako shodu blízkých harmonických frekvencí harmonického materiálu tóniny (pouze tercie kvintakordu IV. stupně je mírně temperovaná, tj. o polovinu syntonického komatu). Naproti tomu „silně zabarvená“ tónina H dur vykazuje v pásmu tercií bezmála maximální Kirnbergerem tolerovatelné odchylky. Tercie jsou tedy silně temperované a v pásmu harmonických frekvencí bude docházet k výrazným rázům (jejich periodicitu se rovná rozdílu blízkých frekvencí v kurzívě v tabulce 5). Důsledek pro percepci bude nikoli jen snížená senzoričká příjemnost, nýbrž také větší informační nosnost harmonického materiálu tóniny H dur. Proto se zdá být logické, že dle Schubarta je tato tónina vhodná pro vyjádření výrazných afektů „hněvu“, „žárlivosti“ apod.

Sám Kirnberger na několika místech svého pojednání *Die Kunst des reinen Satzes in der Musik* zdůrazňuje nezaměnitelnost intonačního charakteru jednotlivých tónin. Uvádí příklad dramaticky vypjatého sboru *Mora, mora, Ifigenia* z opery Johanna Gottlieba Grauna (1703–1771) *Ifigenia in Aulide* (1728), který je psán v tónině Es dur. Kirnberger zdůrazňuje, že pokud by byl tento sbor transponován do tóniny C dur, ztratil by z hlediska intonace svou afektivní nosnost. Tónina Es dur je podle teploty KII dokonce ještě o něco více temperovaná než zmíněná tónina H dur. Nicméně do úvah nad mírou senzoričké příjemnosti, afektivní a informační nosnosti tónin jako celků je nutné zahrnout mnohé další aspekty, definované zejména vztahy k příbuzným tóninám a harmoniím. To vytváří mnohem složitější subsystém pro hodnocení míry „čistoty“ tónin nebo míry jejich diverzifikace. Do úvah je nutné zahrnout také specifika historických nástrojů a jejich rozdílné amplitudy ve spektru harmonických frekvencí. Tato skutečnost bude rozdíly v senzoričké příjemnosti zmírňovat nebo naopak stupňovat. Také záleží na použitém rejstříku harmonií – ve vyšších polohách může periodicitu rázů dosáhnout již vyšších hodnot (nad 30 Hz) a může dojít k percepci diferenčních tónů atd.

### 3. Závěr: praktické aspekty

Ladění KII dosáhneme laděním kvint podle kvintového kruhu C-G-D-A-E-H-FIS-DES(CIS)-AS(GIS)-ES(DIS)-B(AIS)-F(EIS)-C(HIS) následovně: devět kvint bude přirozených 3/2 (C-G, G-D, E-H, H-FIS, DES-AS, AS-ES,

ES-B, B-F, F-C); jedna kvinta bude téměř (se zanedbatelnou odchylkou) rovnoměrně temperovaná 16 384/10 935 (FIS-CIS). Dvě zbylé kvinty (D-A a A-E) budou zmenšené o 162/161 (D-A) a o 161/160 (A-E). Ladění KII tedy obsahuje devět čistých kvint 3/2, jednu téměř rovnoměrně temperovanou kvintu 16 384/10 935 (oproti čisté kvintě 3/2 zmenšenou o 32 805/32 768) a dvě kvinty, každá je zmenšená přibližně o 1/2 syntonického komatu 81/80, konkrétně o 162/160 a o 161/160. Tyto dvě odchylky dají úhrnem syntonické koma 81/80, všechny tři odchylky (tedy i s odchylkou 32 805/32 768) dají logicky a správně tzv. pythagorejské koma 531 441/524 288.

U ladění KI bude kvinta A-E přirozená a odchylka se připočítá ke kvintě D-A, která bude o syntonické koma 81/80 užší. Ladění KI bude tedy obsahovat deset přirozených kvint 3/2, jednu o syntonické koma užší a jednu téměř rovnoměrně temperovanou kvintu. Jako pomůcku pro obě ladění přidávám hodnoty periodicity rázů (záznějů) za jednu sekundu na rozmezí malé až jedno-čárkové oktávy. Vzhledem k současné koncertní praxi historicky poučené interpretace odvozuji hodnoty od ladění – základu  $a^1 = 415 \text{ Hz}$ :

KI:	KII:
d-a: 5,19/sec	a-e <sup>1</sup> : 3,87/sec
fis-cis <sup>1</sup> : 0,59/sec	d <sup>1</sup> -a <sup>1</sup> : 5,16/sec
	fis-cis <sup>1</sup> : 0,59/sec

Charakter a skladba temperatury KII (a KI jako ještě nerovnoměrnější varianty), která obsahuje většinu čistých přirozených kvint, vyhovuje především v kombinaci se smyčcovými nástroji, vzhledem k jejich kvintovému ladění:

s violoncellem zdvojujícím levou ruku cembala hrajícího generálbas (tedy basový part) a s houslemi hrajícími sólový part. Toto ladění bude tedy z repertoárového hlediska vyhovovat houslovým sonátám s generálbasovým doprovodem z období vrcholného hudebního baroka a rokoka, případně jako možná varianta pro interpretaci repertoáru pro klávesové nástroje.

## Reference

- [1] Kirnberger, Johann Philipp: *The Art of Strict Musical Composition*, překlad David Beach – Jurgen Thym, New Haven – London, Yale University Press 1982.
- [2] Marpurg, Friedrich Wilhelm: *Versuch über die musikalische Temperatur*, Wrocaw: Johann Friedrich Korn, 1776.
- [3] Barnes, John: Internal evidence from Well-Tempered Clavier, *Early Music*, Vol. 7, No. 2, s. 236–249, 1979.
- [4] Descartes, René: *Vášně duše*, Praha: MF, 2002.
- [5] Schubart, Christian Friedrich Daniel: *Ideen zu einer Ästhetik der Tonkunst* (1. vyd. Vídeň, 1806), Lipsko: Verlag Philipp Reclam jun. 1977, s. 284–287.
- [6] Helmholtz, Hermann von: *On The Sensations Of Tone As A Physiological Basis For The Theory Of Music*, Kessinger Publishing 2005.



