

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce bylo zkoumání vlivu aditivního šumu pozadí ve zvukových záznamech. Tento typ šumu se často vyskytuje při jejich restaurování. Častou snahou je tyto nechtěné šумы potlačit. Problematickou částí při potlačování šumů je, že vždy záleží na subjektivním posouzení posluchačem. Během dvou poslechových testů byly zkoumány jejich praktické dopady. Následně byla zvolena vhodná (pořadová) hodnotící škála. Z poslechových testů bylo získáno subjektivní hodnocení míry zarušení aditivním šumem. Následně byl vyhodnocen vliv zvolených parametrů na subjektivně vnímanou kvalitu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Experimentální psychoakustika, SNR, Kendallův koeficient, metoda seřazování do pořadí, pořadová škála, Pearsonův koeficient korelace, Spearmanův koeficient, Wienerův filtr.

## **ABSTRACT**

In this bachelor thesis, the effect of additive background noise on audio recordings was researched. This kind of noise often occurs when these recordings are being restored. The most frequent effort is to suppress these unwanted noises. While suppressing the noises, the most problematic part is that it always depends on subjective evaluation of the listener. Practical impacts of these noises were researched throughout two listening tests. Afterwards, it was necessary to choose proper (ordinal) evaluating scale. The listening tests established the subjective assessment of jammed additive noise degree. Finally, the effect of selected parameters on subjective perceived quality was determined.

## **KEYWORDS**

Experimental psychoacoustics, SNR, Kendall coefficient, method of rank order, ordinal scale, Pearson correlation coefficient, Spearman coefficient, Wiener filter.

FALEŠNÍK, V. *Subjektivní evaluace šumu pozadí v audio systémech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2013. 55 s., 19 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Ondřej Rášo.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Subjektivní evaluace šumu pozadí v audio systémech jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřejovi Rášovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

|                                                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Seznam obrázků</b>                                                 | <b>vii</b>  |
| <b>Seznam tabulek</b>                                                 | <b>viii</b> |
| <b>Úvod</b>                                                           | <b>10</b>   |
| <b>1 Základní pojmy</b>                                               | <b>11</b>   |
| <b>2 Základy psychologických měření</b>                               | <b>13</b>   |
| 2.1 Definice měření v psychologii .....                               | 13          |
| 2.2 Typy škál v psychologii .....                                     | 13          |
| 2.2.1 Nominální škála .....                                           | 13          |
| 2.2.2 Pořadová škála .....                                            | 14          |
| 2.2.3 Intervalová škála .....                                         | 14          |
| 2.2.4 Poměrová škála .....                                            | 15          |
| 2.2.5 Různé úrovně škálování a chyby měření .....                     | 15          |
| <b>3 Psychoakustický experiment</b>                                   | <b>17</b>   |
| 3.1 Definice psychologického experimentu .....                        | 17          |
| 3.2 Struktura psychologického experimentu .....                       | 17          |
| <b>4 Nejpoužívanější psychologické metody měření v psychoakustice</b> | <b>19</b>   |
| 4.1 Metoda konstantních podnětů .....                                 | 20          |
| 4.2 Párové srovnání zvukových podnětů .....                           | 20          |
| 4.3 Posuzování zvukových podnětů na subjektivních škálách .....       | 21          |
| 4.4 Nastavování zvukových podnětů .....                               | 21          |
| 4.5 Metoda sémantického diferenciálu .....                            | 22          |
| 4.6 Měření podobnosti zvukových podnětů .....                         | 22          |
| 4.7 Seřazování zvukových podnětů do pořadí .....                      | 22          |
| 4.8 Stručné porovnání jednotlivých metod .....                        | 23          |
| <b>5 Praktické měření č. 1</b>                                        | <b>26</b>   |
| 5.1 Použité zvukové záznamy .....                                     | 26          |
| 5.1.1 Segmentace .....                                                | 26          |

|          |                                                        |           |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.2    | Odstup signálu od šumu.....                            | 26        |
| 5.2      | Příprava poslechového testu .....                      | 27        |
| 5.2.1    | Programová implementace – vlastní řešení .....         | 28        |
| 5.3      | Průběh poslechového testu.....                         | 30        |
| <b>6</b> | <b>Výsledky poslechového testu</b>                     | <b>31</b> |
| 6.1      | Hodnoty získané z testu .....                          | 31        |
| 6.2      | Hodnoty získané z retestu .....                        | 32        |
| 6.2.1    | Zjištění spolehlivosti měření skupiny posluchačů ..... | 32        |
| 6.2.2    | Kontrola shody mezi posuzovateli.....                  | 35        |
| 6.3      | Shrnutí výsledků poslechového testu.....               | 38        |
| 6.4      | Výsledky z dotazníku.....                              | 39        |
| <b>7</b> | <b>praktické měření č. 2</b>                           | <b>40</b> |
| 7.1      | Použité zvukové záznamy.....                           | 40        |
| 7.1.1    | Wienerův filtr.....                                    | 41        |
| 7.1.2    | Krátkodobý Wienerův filtr.....                         | 43        |
| 7.2      | Příprava poslechového testu .....                      | 44        |
| 7.2.1    | Programová implementace – vlastní řešení .....         | 44        |
| 7.3      | Průběh poslechového testu.....                         | 46        |
| <b>8</b> | <b>Výsledky poslechového testu</b>                     | <b>47</b> |
| 8.1      | Hodnoty získané z testu .....                          | 47        |
| 8.2      | Kontrola shody mezi posluchači.....                    | 48        |
| 8.3      | Stanovení výsledných pořadí podnětů .....              | 49        |
| 8.4      | Shrnutí výsledků poslechového testu.....               | 50        |
| 8.5      | Výsledky z dotazníku.....                              | 51        |
| <b>9</b> | <b>Závěr</b>                                           | <b>52</b> |
|          | <b>Literatura</b>                                      | <b>54</b> |
|          | <b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>                | <b>55</b> |
|          | <b>Seznam příloh</b>                                   | <b>56</b> |

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1: Hlavních oblasti zájmu nové psychofyziky [1]. .....                                                   | 11 |
| Obr. 2 Úvodní strana hodnotícího programu .....                                                               | 28 |
| Obr. 3 Před spuštěním testu bylo nutné zadat jméno.....                                                       | 28 |
| Obr. 4 Vzhled programu pro metodu seřazování do pořadí. ....                                                  | 29 |
| Obr. 5 Podmínkou bylo ohodnotit zvukové záznamy pouze čísla jedna až tři.....                                 | 29 |
| Obr. 6 Blokové schéma odhadu $\hat{x}(n)$ Wienerovým filtrem se zkreslujícím systémem $G(e^{j\Omega})$ . .... | 43 |
| Obr. 7 Program pro hodnocení zvukových záznamů.....                                                           | 45 |
| Obr. 8 Editační okno pro hodnotící program .....                                                              | 45 |
| Obr. 9 Výstup hodnotícího programu .....                                                                      | 46 |

# SEZNAM TABULEK

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1: Stevensův hierarchický systém třídění škál [1] .....                                                                     | 13 |
| Tab. 2: Guilfordovo třídění psychologických a škálovacích metod [1]. ....                                                        | 19 |
| Tab. 3 Porovnání nejčastěji používaných měřících metod v psychoakustice z hlediska<br>efektivnosti měření (převzato z [1]).....  | 24 |
| Tab. 4 Označení a typy zvukových záznamů pro Metodu 1 – pevná segmentace .....                                                   | 30 |
| Tab. 5 Označení a typy zvukových záznamů pro Metodu 2 – segmentace Greedy<br>selection .....                                     | 30 |
| Tab. 6 Označení a typy zvukových záznamů pro Metodu 3 – segmentace Mixumum<br>greedy selection .....                             | 30 |
| Tab. 7 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Kytary při testu .....           | 31 |
| Tab. 8 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Mozart při testu.....            | 31 |
| Tab. 9 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Abba při testu.....              | 31 |
| Tab. 10 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Kytary při retestu .....        | 32 |
| Tab. 11 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Mozart při retestu Mozart ..... | 32 |
| Tab. 12 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Abba při retestu.....           | 32 |
| Tab. 13 Zjištění spolehlivosti měření skupiny pro SNR = 10 dB .....                                                              | 34 |
| Tab. 14 Zjištění spolehlivosti měření skupiny pro SNR = 20 dB .....                                                              | 34 |
| Tab. 15 Zjištění spolehlivosti měření skupiny pro SNR = 30 dB .....                                                              | 35 |
| Tab. 16 Zjištěné hodnoty Kendallova koeficientu konkordance pro test .....                                                       | 37 |
| Tab. 17 Zjištěné hodnoty Kendallova koeficientu konkordance pro retest .....                                                     | 38 |
| Tab. 18 Výsledná pořadí jednotlivých zvukových záznamů .....                                                                     | 39 |
| Tab. 19 Označení zvukových záznamů v poslechovém testu.....                                                                      | 40 |
| Tab. 20 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Abby se SNR = 10 dB .....       | 47 |
| Tab. 21 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový<br>záznam Abby se SNR = 20 dB .....       | 47 |
| Tab. 22 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový                                           |    |

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| záznam Kytary se SNR = 10 dB .....                                                                                               | 47 |
| Tab. 23 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový záznam Kytary se SNR = 20 dB .....        | 47 |
| Tab. 24 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový záznam Eddie Rabbitt se SNR = 10 dB ..... | 48 |
| Tab. 25 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech $m$ posuzovatelů pro zvukový záznam Eddie Rabbitt se SNR = 20 dB ..... | 48 |
| Tab. 26 Výsledky vypočtených hodnot $S$ , $W$ a $W_{korig}$ .....                                                                | 49 |
| Tab. 27 Statistická významnost Kendallova koeficientu konkordance .....                                                          | 49 |
| Tab. 28 Výsledky pro zvukový záznam Abby .....                                                                                   | 50 |
| Tab. 29 Výsledky pro zvukový záznam Kytary .....                                                                                 | 51 |
| Tab. 30 Výsledky pro zvukový záznam Eddie Rabbitt .....                                                                          | 51 |

# ÚVOD

Náplní této bakalářské práce je zkoumání vlivu aditivního šumu pozadí v zarušených audio záznamech na výsledné, subjektivně vnímané, zvukové kvalitě. Šum pozadí je typ zkreslení, který snižuje poslechovou kvalitu hudebních nebo řečových záznamů. Tento šum se velmi často vyskytuje při restaurování zvukových záznamů. Cílem restaurování je úprava původního audiosignálu tak, aby se zlepšila poslechová kvalita. Běžně se odstraňují jednotlivé typy šumů, např. šum kazety nebo šum ventilátoru z PC. Zmíněné šumy jsou nazývány šumy pozadí. V běžném životě je potřeba tento typ šumu odstranit nebo alespoň částečně potlačit. K tomuto účelu slouží systémy pro potlačení šumu na pozadí. Jelikož cílovým objektem zde není zařízení ale člověk, proto je nastavení těchto systémů velmi náročné. Cílem této práce je vyhodnocení vlivu zvolených parametrů těchto systémů na subjektivní vnímání posluchače. Subjektivním vnímáním se rozumí zaměření na osobní hledisko osob (posluchačů), kteří provádí poslechový test. Subjektivní kvalita zvuku je veličina, která je závislá na lidském úsudku a preferenci daného zvukového podnětu.

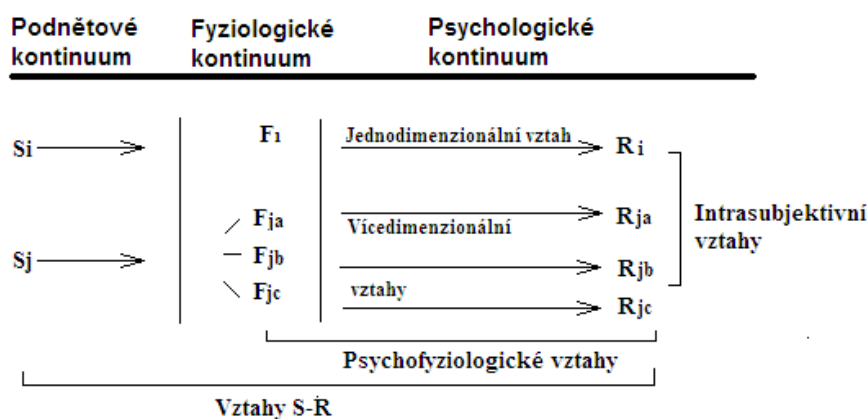
# 1 ZÁKLADNÍ POJMY

Psychologická akustika, neboli zkráceně psychoakustika, je vědní disciplínou, v níž se spojuje psychologie s akustikou. V literatuře [1] je uvedeno, že v nejširším pojetí je cílem akustiky vyšetřování veškerých účinků zvukových dějů na psychiku člověka, tj. jak se pozorovaný jedinec chová a jak daný zvuk prožívá.

Z hlediska výše definovaného pojmu lze říci, že psychoakustika se zabývá nejrůznějšími otázkami týkajícími se např. měření prahů slyšení, posuzování zvukové kvality hudebních nástrojů nebo posuzování rušivých účinků hluku v kabině automobilu. Chceme-li ji více konkretizovat, tak je cílem psychoakustiky zjišťování kvantitativních vztahů mezi akustickými podněty a sluchovými vjemy[1]. Předchůdcem psychoakustiky je jedno z odvětví psychologie, které vzniklo v 19. století v Německu, a nazývá se psychofyzika. Psychofyzika se neformálně dělí na dvě odvětví a to klasická psychofyzika a moderní psychofyzika.

Klasická psychofyzika se zabývala zkoumáním vztahů mezi fyzikálními podněty a jimi vyvolanými počitky. Počítkem se rozumí reakce osoby na podráždění některého jejího smyslového vjemu.

Moderní, neboli nová psychofyzika, která vznikla zhruba v polovině 20. století, však takové dělení odmítá, jelikož podle ní takové dělení neodpovídá skutečnosti. Jako důvod uvádí, že počitky jsou vždy ovlivněny ještě nějakým faktorem. Z tohoto důvodu zavádí moderní psychofyzika nový pojem tzv. celostní prožitek. Nová fyzika vznikla jako odezva na rozvoj teorie detekce signálu a na nové přístupy k měření v psychologii. Zabývá se měřením vjemů chápaných jako celostní prožitky a zkoumáním kvantitativních vztahů mezi psychologickými proměnnými a určitými jinými proměnnými.[1]



Obr. 1: Hlavních oblastí zájmu nové psychofyziky [1].

Na Obr. 1 jsou tři druhy vztahů, které nová psychofyzika sleduje. V uvedeném obrázku je  $S_i$  podnětovou proměnnou,  $F_i$  fyziologickou proměnnou a  $R_i$  je psychologickou proměnnou. Dle literatury [3] vztahy  $S - R$  předpokládají, že příčinou změn proměnné  $R$  jsou změny podnětové proměnné  $S$ . Znamená to tedy, že podnět je

nezávislou proměnnou a psychologická reakce závislou proměnnou. Psychofyziologické vztahy předpokládají, že mezi oběma proměnnými existuje vztah příčiny ( $F$ ) a následků ( $E$ ), tedy kauzální vztah. Oproti vztahu  $S-R$  však u psychofyziologických vztahů většinou není možné přímo manipulovat s nezávislou proměnnou  $F$ . Je ovšem možné vytvořit skupiny pokusných osob, pro které bude určitá hodnota proměnné  $F$  typická (např. různé věkové skupiny). Jestliže chceme zkoumat psychofyziologické vztahy, je pro nás velmi důležitá znalost fyziologických procesů, veličin a metod měření. Intrasubjektivní vztahy představují vzájemné vztahy mezi různými psychologickými proměnnými bez ohledu na to, jaké podnětové podmínky a fyziologické procesy tvoří jejich základ. Při vyšetřování těchto vztahů není podstatný problém kauzality, ale mnohem více je kladen důraz na těsnost vztahů řešených proměnných. Při výzkumech tohoto druhu se často uplatňuje statistická technika korelační analýzy [1].

## 2 ZÁKLADY PSYCHOLOGICKÝCH MĚŘENÍ

### 2.1 Definice měření v psychologii

Dle definice měření v psychologii je zřejmé, že se jedná o přiřazování čísel objektům nebo jevům podle určitých pravidel[1]. Psychometrií se nazývá odvětví psychologie, které se zabývá jakýmkoli měřením psychických jevů. Předmětem oboru psychometrie jsou všechny typy vztahů uvedených v Obr. 1. Dle názoru některých fyziků není slovo „měření“ v psychologii příliš přesné, jelikož slovem měření se označují i takové úkony, které často měřením vůbec nejsou. Z tohoto důvodu si musela psychologie pro řešení vlastních problémů vyvinout vlastní techniky měření.

U psychometrických metod je třeba úzkostlivě dbát na to, aby aplikace matematických operací a údaje získané měřením byly oprávněné, tj. aby byly vždy v souladu s povahou změřených dat. [1]

### 2.2 Typy škál v psychologii

V psychologii můžeme najít několik typů třídění škál. Největší využití nachází Stevensův systém hierarchického třídění druhů měření a škál v psychologii.

Tab. 1: Stevensův hierarchický systém třídění škál [1]

| Druh měření  | Typ škály   | Forma škálování | Úroveň měření |
|--------------|-------------|-----------------|---------------|
| klasifikace  | nominální   | nemetrická      | nejnižší      |
| kvantifikace | pořadová    |                 | ↓             |
|              | intervalová | metrická        | ↓             |
|              | poměrová    |                 | nejvyšší      |

Jak lze vidět v Tab. 1 rozlišujeme čtyři druhy škál. Jsou to škály nominální, pořadové, intervalové, poměrové. Nejjednodušší jsou škály nominální a opakem jsou škály poměrové. V dalším kroku budou jednotlivé škály podrobněji rozebrány.

#### 2.2.1 Nominální škála

Nominální škála je nejjednodušším typem psychologické škály. Z této škály lze získat jen minimum informací. Jejím úkolem je jednoduché třídění dat, kdy je možno všechny prvky zařadit do kategorií, které se vzájemně vylučují, a každý prvek může být zařazen pouze do jedné z nich.

Při měření na této škále je nutné nejprve stanovit kritéria, podle kterých se budou jednotlivé jevy nebo objekty zařazovat do daných kategorií. Nezbytné je tyto kategorie vhodně pojmenovat. Kategorie je možné pojmenovat např. písmeny, geometrickými

znaky nebo i čísla. Tyto popisky nemají ovšem praktický význam. Struktura nominální škály je invariantní, to znamená, že jména kategorií lze libovolně měnit, ale je nezbytné ponechat v nich již zařazené jevy nebo objekty. Aby se dané jevy nebo objekty mohly změřit, je podstatné pouze to, zda jsou „stejně“ nebo „nerovně“. U nominální škály je hojně využit pojem ekvivalence. Tento pojem byl zaveden z toho důvodu, že obvykle v praxi nejsou jevy totožné, ale rovnocenné [4].

### 2.2.2 Pořadová škála

Jak je patrné z Tab. 1, škálování na pořadové škále už lze považovat za kvantifikaci, i když se prozatím jedná o její nejnižší formu. Stejně jako nominální škála, tak i pořadová škála je nemetrickou, jelikož nemá k dispozici jednotku měření. Při využití pořadové škály je nezbytné znát pořadový vztah mezi jednotlivými jevy. V případě, že známe tento pořadový vztah, můžeme například určit, že jev *A* je silnější (větší, lepší, hlasitější atd.) než jev *B*, nebo naopak.

Jak již bylo řečeno, pořadová škála nemá jednotku měření, a proto nic nevypovídá o velikosti rozdílu mezi jednotlivými body na stupnici. Pořadové škály můžeme nejčastěji nalézt v psychologii a to v těch případech, kdy nejsme schopni získaná data přesně změřit. Příkladem nám mohou být tři různé zvukové záznamy v různé kvalitě. Máme za úkol seřadit tyto tři zvukové záznamy do pořadí dle subjektivního pocitu příjemnosti. Ze získaných výsledků nedokážeme vyčíst třeba to, že vnímaný kvalitativní rozdíl mezi první a druhou nahrávkou byl jen minimální, kdežto kvalita třetího zvukového záznamu v pořadí se od prvních dvou lišila velmi významně [4]. Pořadová škála byla zvolena jako vhodná metoda pro subjektivní vnímání míry slyšitelného šumu v pozadí.

### 2.2.3 Intervalová škála

Z dvou možných úrovní metrického škálování představuje intervalová škála tu nižší. Tento typ škály je již význačný tím, že tvoří metrické škálování. Je zde charakteristická existence stejných intervalů a jednotek měření.

Při využití intervalové škály je nejprve potřeba najít operaci, která umožní jednotlivým podnětům přiřadit čísla tak, aby dvěma stejným vzdálenostem (rozdílům) odpovídaly dva stejné číselné poměry, tj. aby rozdíly mezi *A* a *B*, *B* a *C* atd. odpovídaly rozdílu  $x_B - x_A = x_C - x_B = \dots$  atd. Tato vlastnost nám umožňuje zvolit jednotku měření, tj. interval, kterému bude v kterékoliv části stupnice odpovídat stejně velký rozdíl. Příkladem intervalové škály je např. měření času, teploty, nadmořské výšky apod. Intervalová škála má tři volitelné faktory, kterými jsou nulový bod, velikost jednotky měření a směr. Nulový bod se u intervalové škály volí na základě nějaké dohody. Intervalová škála nemá absolutní počátek. Jako příklad si můžeme vzít stupnici letopočtu, kde nulovému bodu odpovídají v různých kulturách různé, vzájemně časově vzdálené historické události [1]. Stejně jako nulový bod, tak i volba velikosti a směru škály je konvenční, čili dohodnutá. Na rozdíl od pořadové stupnice lze u intervalové škály navzájem porovnávat velikosti různých intervalů. Například lze vyjádřit, že rozdíl mezi čísly 1100 a 1200 je stejný jak rozdíl čísel 99 a 199. U intervalových škál nemá smysl mluvit o poměrech na škále, to lze až u poměrové škály. Jedinou povolenou transformací u intervalových škál je lineární transformace dle vzorce (2.1)[2]

$$y = a + bx \quad (2.1)$$

kde

$a$  ...konstanta umožňující posunutí nulového bodu,

$b \neq 0$ ...konstanta ovlivňující velikost jednotky měření, (při  $b > 1$  jednotku zmenšuje, při  $b < 1$  jednotku zvětšuje),

$x$  ...libovolná hodnota ležící na původní škále,

$y$  ...hodnota na transformované škále.

## 2.2.4 Poměrová škála

Poměrová škála vyjadřuje nejvyšší formu měření, proto nároky kladené na vlastnosti měřených objektů nebo jevů jsou také nejvyšší. K již dříve požadovaným možnostem se u poměrové škály přidává ještě možnost určovat stejné poměry a možnost stanovit absolutní nulový bod.

Charakteristické pro tuto škálu je, že poměr intervalů mezi dvěma sousedními body ležícími na škále je stejný jako poměr mezi kterýmikoli dvěma jinými sousedními body. Z uvedené definice musí platit, že  $x_B/x_A = x_C/x_B = x_D/x_C = \text{konst.}$  Jako příklad slouží poměry čísel  $12/8 = 3/2 = 1,5$ , které jsou tvořeny ze dvou párů hodnot (12; 8) a (3; 2) ležících na poměrové škále, jimž musí odpovídat stejně velké poměry velikosti proměnné u obou párů shodných jevů. Poměrová škála má na rozdíl od intervalové škály absolutní nulový bod, to znamená, že zde má veličina skutečnou nulovou hodnotu. Nejčastěji se využívá pro měření různých fyzikálních veličin (hmotnost, čas, rychlost). Jedinou přípustnou transformací u poměrových škál je tzv. podobnostní transformace [1],[3]

$$y = bx, \quad (2.2)$$

kde

$b > 0$ ...konstanta pro zvětšení nebo zmenšení jednotky měření,

$x$  ...původní hodnota,

$y$  ...transformovaná hodnota

## 2.2.5 Různě úrovně škálování a chyby měření

Z výše uvedených skutečností plyne, že dříve než budou data získaná při psychologickém měření podrobena jakémukoliv matematickému zpracování, musí být rozhodnuto, jestli jde o data poměrová, intervalová nebo pořadová, jak plyne z Tab. 1.

Při zpracování je nezbytné maximálně využít všech informací, které jsou v datech obsaženy, ovšem musí být použity jen takové transformační postupy, které odpovídají daným škálám. V případě, že tento postup nebude dodržen, dojde k výskytu jednoho ze

dvou možných druhů chyb měření. Nejčastěji se opakuje chyba, kdy se na data odpovídající určité úrovni škálování aplikují postupy, které této úrovni nedopovídají. Tuto chybu si můžeme představit tak, že máme tři druhy různých nahrávek ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ), které jsou po subjektivním poslechovém testu seřazeny do pořadí  $r_C = 2$ ,  $r_A = 3$ ,  $r_B = 1$ . Jestliže je na uvedený příklad aplikována operace sčítání, tak je tím řečeno, že stejně velkým číselným rozdílům hodnot pořadí na stupnici, jsou připisovány stejně velké rozdíly měřené subjektivní proměnné. Přitom tato metoda takovou informaci neposkytlá. I když to není zcela vhodné, někdy bývá voleno metrické zpracování dat, které může vést k falešným závěrům. Druhou chybou je, že se ke statistickému zpracování dat s vyšší úrovni škálování používají metody, které jsou vhodné pro škály úrovně nižší. Při této chybě nejsou využity maximální informace, které byly získány měřením. Tuto chybu dokazuje situace, kdy je například srovnávána výška určitého počtu osob v centimetrech. Tyto výsledky měření jsou seřazeny a zpracovány metodami vhodnými pro data na pořadové škále. Nyní se jako vhodné jeví snížit úroveň škálování ještě o jeden stupeň tak, že se měřené osoby rozdělí do několika skupin. Tímto se však vyskytují chyby, kdy dochází ke ztrátě informace a závěry se stávají nepřesnými [1].

### 3 PSYCHOAKUSTICKÝ EXPERIMENT

Do psychologie se experiment dostal prostřednictvím fyziologie smyslů a má původ v oblasti přírodních věd. Jeden z nejdůležitějších směrů moderní psychologie je tzv. behaviorismus. Tento směr si vypracoval některé vlastní metody měření, které umožňují i složité psychické jevy uchopit kvantitativním způsobem.

Je-li využít tento směr, je někdy nutné zabývat se i psychologickými proměnnými, které nelze měřit ani pozorovat v prostoru ani čase a lze je uchopit pouze kvalitativně. Behaviorismus ovšem zanedbával prožitkovou stránku psychické činnosti s odkazem na nedostatečnou objektivitu jejího postihování a soustřeďoval se především na zkoumání lidského chování, kde bylo s větší či menší oprávněností možné definovat nezávisle proměnnou fyzikálními parametry experimentální situace [1]. Tyto poznatky vedly ke kritice behaviorismu, který i přesto přispěl díky svému bezpodmínečnému vyžadování objektivit k rozvoji experimentální psychologie. Psychoakustický experiment je zvláštní formou psychologického experimentu, který sleduje účinky zvukových podnětů.

#### 3.1 Definice psychologického experimentu

Odborná literatura [1] definuje psychologický experiment následovně: „Všem psychologickým experimentům je společné, že při nich experimentátor za podmínek jím samotným co nejpřesněji připravených, kontrolovaných a pozměňovaných zjišťuje a zaznamenává (ať kvantitativně či kvalitně) určité reakce, způsoby chování, projevy nebo prožitky pokusných osob, aby ověřil určitou hypotézu o kauzální závislosti těchto výsledků na experimentálních podmínkách.“

Experiment může být tedy chápán jako prostředek, který slouží ke zjišťování kauzálních vztahů mezi proměnnými. Při detailnějším zkoumání definice lze zjistit, že mezi základní rysy experimentu patří: záměrnost, opakovatelnost, možnost měřit závisle proměnné a ověřitelnost. Při realizaci experimentu se vychází z určitých hypotéz, u kterých se předpokládá, že za určitých experimentálních podmínek budou mít pozorovatelné specifické účinky. Výsledkem experimentu tedy je snaha prokázat, že předpokládané účinky skutečně existují a že lze změřit jejich velikost.

#### 3.2 Struktura psychologického experimentu

Celý psychoakustický experiment se skládá z několika po sobě jdoucích částí, které je pro správný výsledek nutno dodržet. Níže uvedené etapy se shodují se strukturou jakéhokoliv psychologického experimentálního výzkumu. Těmi stěžejními body dle literatury [1], [9] jsou:

- studium zdrojů informací,
- vymezení problému a formulování hypotéz
- výběr podnětů,
- výběr pokusných osob,

- návrh experimentální procedury,
- sestavení plánu experimentu,
- sběr dat,
- statistická analýza dat,
- interpretace výsledků.

## 4 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ PSYCHOLOGICKÉ METODY MĚŘENÍ V PSYCHOAKUSTICE

Již v 19. století jistý J. P. Guilford klasifikoval několik psychofyzických a škálovacích metod. Guilfordovo třídění je založeno na dvou klasifikačních principech [5].

Prvním principem je hlavní cíl experimentátora při měření, na který se nahlíží z hlediska Stevensova systému hierarchického třídění druhů měření a škál v psychologii. Experimentátor může při měření chtít určovat ekvivalentní podněty, stanovit jejich pořadí, vytvořit intervalovou škálu nebo dosáhnout nejvyššího stupně škálování.

Druhým principem je, že k dosažení výše uvedených cílů lze použít dva různé způsoby, a to direktní metody nebo indirektní metody. Direktní metody jsou založeny na přímém pozorování měřených subjektů, kdežto indirektní metody jsou založeny na pravděpodobnosti, která je v této souvislosti považována za větší záruku spolehlivosti [1]. Jak takové rozdělení vypadá, lze vidět v Tab. 2.

Tab. 2: Guilfordovo třídění psychologických a škálovacích metod [1].

| Hlavní cíl měření            | Direktní metody                                         | Indirektní metody           |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Určování ekvivalence podnětů | Metoda průměrné chyby                                   | Metoda konstantních rozdílů |
|                              | Metoda minimálních změn                                 | Metoda párového srovnání    |
| Určování pořadí podnětů      | Metoda seřazování do pořadí                             | Metoda párového srovnání    |
|                              | Metoda následných kategorií                             | Metoda rozvinutí dat        |
|                              | Metoda posuzování na subjektivních posuzovacích škálách |                             |
| Určování rovnosti intervalů  | Metoda právě postřehnutelných rozdílů                   | Metoda párového srovnání    |
|                              | Metoda stejných vzdáleností                             | Metoda seřazování do pořadí |
|                              | Metoda zdánlivě stejných intervalů                      | Metoda triadického srovnání |
|                              |                                                         | Metoda čtveřic              |
|                              |                                                         | Metoda následných kategorií |
|                              |                                                         | Metoda podobných reakcí     |
|                              |                                                         | Metoda vyvážených hodnot    |
| Určování poměrů              | Metoda dělení na části                                  | Metody srovnání poměrů      |
|                              | Metoda násobných podnětů                                |                             |
|                              | Metoda konstantního součtu                              |                             |

## 4.1 Metoda konstantních podnětů

Metoda konstantních podnětů společně s metodou konstantních rozdílů podnětů patří do skupiny tzv. konstančních metod. Tyto metody jsou považovány za nepřesnější měřicí metody. V případě použití jakékoliv konstanční metody jsou výsledkem hodnoty ležící na stupnici příslušné podnětové proměnné, nikoliv hodnoty na subjektivní škále, jak lze očekávat. Metoda konstantních podnětů je soustředěna na absolutní prahy, kdežto metoda konstantních rozdílů určuje rozdílové, neboli relativní prahy. V praxi se častěji vyskytuje metoda konstantních podnětů.

Podstata metody spočívá v tom, že experimentátor nejprve při předběžném experimentu vybere na souvislé podnětové proměnné určitý počet podnětů. Velikosti těchto podnětů se obvykle volí tak, že zhruba polovina vybraných podnětů musí ležet na škále podnětové proměnné  $S$  nad očekávanou hodnotou absolutního prahu, zatímco druhá polovina musí ležet pod touto hodnotou. Intervaly mezi sousedními podněty na podnětové škále by měly mít přibližně stejnou šířku. Každý z vybraných zvukových podnětů se pak podle určitého plánu několikrát předkládá dané osobě. Při testování je úkolem tohoto posluchače přiřadit každému zvukovému podnětu jednu ze dvou možných odpovědí (např. „Ano“, „Ne“ nebo „1“, „0“). Tyto hodnoty jsou přiřazeny tím způsobem, aby bylo možné jednoznačně určit, zda daný podnět měl či neměl právě námi vyšetřovanou vlastnost (např. zda byl zvuk hlasitý nebo tichý, zkreslený apod.). Při realizaci této metody je optimální, pokud jsou posluchači v řádu jednotek (tj. 4 až 7) a počet opakujících stimulací je v řádu desítek až stovek (tj. 50 až 200) [1]. Mezi výhody metody konstantních podnětů patří zejména široká aplikovatelnost, přesnost a jednoduchá úloha posluchače. Mezi nevýhody patří hlavně zkreslené soudy, které vznikají při posuzování podprahových podnětů a podnětů ležících blízko nad prahem. Dále pak velká časová náročnost, malá ekonomičnost nebo složitější výpočty. Podrobnější informace o této metodě jsou dostupné v literatuře [1].

## 4.2 Párové srovnání zvukových podnětů

Mezi nejstarší psychologické metody patří metoda párového srovnávání zvukových podnětů. Přestože tato metoda je stará již přes 80 let, patří technicky i teoreticky k nejpropracovanějším psychometrickým metodám. Mezi hlavní přednosti této metody patří široká použitelnost pro škálování nejrůznějších psychologických proměnných. Hlavní nevýhodou oproti metodě konstantních podnětů je, že při měření většího počtu posluchačů je značně náročná na trpělivost a čas.

Podstata metody párového srovnávání zvukových podnětů tkví na postupném párovém srovnávání každého z celkem  $n$  posuzovaných podnětů se všemi zbývajících  $n - 1$  podněty [1]. Výsledkem každého dílčího srovnávání je, že posluchač musí označit jeden z obou právě srovnávaných podnětů  $S_j$ ,  $S_k$  jako dominantní, tj. přesně určit který podnět v dané dvojici dominuje. Příkladem může být srovnávání ve smyslu označení, kdy je jeden zvuk hlasitější, ostřejší apod. než druhý. U metody párového srovnávání zvukových podnětů je využívána technika zvaná nucená volba. Je to technika, která obvykle nepřipouští situaci, že by oba podněty byly stejné, tj. posuzovatel se musí jednoznačně rozhodnout pro podnět  $S_j$  nebo  $S_k$ . Neutrální soud ( $S_j = S_k$ ) někteří experimentátoři raději povolují. Tuto volbu obhajují tím, že ve vybraných případech je

rozdíl srovnávaných podnětů zcela minimální a posluchač nedokáže jednoznačně určit, který podnět je dominantní. Literatura [1] jim v tomto směru dává za pravdu. V této situaci posluchači nezbyvá nic jiného, než hádat, který podnět je dominantní. Jestliže se taková situace bude během testu vícekrát opakovat, může dojít k deprimaci jednotlivých jedinců, ztrátě jejich motivace a tím i ke zhoršení kvality jejich soudů. V případě povolení volby neutrálních soudů, zde ale nastává situace, jak s neutrální formou odpovědi naložit. V odborné literatuře [1] se uvádí, že existují dva způsoby, jak se zpracovanými odpověďmi naložit. Jednou z možností je připsat půl bodu ve prospěch každého z obou podnětů páru, nebo se body za neutrální soudy rozdělí mezi podněty  $S_j$ ,  $S_k$  v poměru výsledných četností soudů  $S_j > S_k$  a soudů  $S_k > S_j$ , zjišťovaných při opakovaném srovnávání. Povolení neutrálních odpovědí může však u některých jedinců vést ke zhoršení kvality měření, protože si mohou začít usnadňovat situaci tím, že u všech obtížněji posouditelných párů raději použijí neutrální odpověď.

### **4.3 Posuzování zvukových podnětů na subjektivních škálách**

Metody posuzování zvukových podnětů na subjektivních posuzovacích škálách patří mezi nejoblíbenější a nejvyužívanější ze všech psychometrických metod. Mezi nesporné výhody této metody, oproti metodě párového srovnávání, patří menší časová náročnost, snadnější řízení, zajímavost postupů pro posluchače a možnost aplikace na širokou oblast problémů. U této metody je nutností důkladně naplánovat a připravit pokus a také dbát na správnou interpretaci výsledků. Při nedodržení přísných podmínek testování může dojít ke zkreslení výsledků měření a posléze k chybným závěrům.

Při využití metody posuzování zvukových podnětů na subjektivních posuzovacích škálách je úkolem posuzovatele umístit podnět na spojitém prostředí nebo jej zařadit do některé z kategorií, na něž je toto spojité prostředí rozděleno. Obecně se předpokládá, že podněty lze posuzovat buď podle dílčí psychologické dimenze, nebo podle celkového dojmu, který je sice výsledkem působení několika dimenzí, jejichž váhy a vzájemné vazby jsou však relativně stabilní [1]. V případě že tomu tak není, mohou výsledky posuzování vést k chybným závěrům.

### **4.4 Nastavování zvukových podnětů**

Metoda nastavování, metoda průměrné chyby, metoda ekvivalentních podnětů nebo metoda reprodukce jsou synonymy pro metodu nastavování zvukových podnětů. Obecně lze popsat tuto metodu tak, že posluchač se pokouší předložený podnět nastavením reprodukovat, tj. dosáhnout stejné hodnoty jakou má předloha. Při měření metodou průměrné chyby jsou pokusné osobě vždy předkládány dva podněty: standardní podnět  $S_s$  a variabilní podnět  $S_v$ . V začátku experimentu se předem definované subjektivní proměnné liší. Během experimentu je úkolem posluchače plynule nastavovat hodnotu variabilního podnětu  $S_v$  tak dlouho, dokud se jí podněty  $S_v$  a  $S_s$  zdají být „stejně“. Úkolem experimentátora je následně odečíst nastavenou hodnotu variabilního podnětu  $S_v$ . Experiment se posléze několikrát opakuje při zachování stejné hodnoty  $S_s$ . Z dosažených hodnot se poté vypočte střední hodnota nastavení pro každého posluchače a z dosažených výsledků se stanoví skupinový aritmetický průměr

pro celou skupinu posluchačů. Více o této metodě pojednává literatura [1].

## 4.5 Metoda sémantického diferenciálu

Tato metoda byla vyvinuta kolem roku 1950, později byla modifikována na tzv. metodu polaritního profilu. Metoda se využívá především při zkoumání osobnosti, v experimentální estetice a sociologii. Při realizaci metody jsou objekty posuzovány z mnoha dílčích hledisek a je tedy možné jejich komplexní odvození.

Při měření metodou sémantického diferenciálu se od pokusné osoby vyžaduje, aby vyšetřované objekty (většinou zvukové záznamy) postupně posoudila na několika bipolárních grafických posuzovacích škálách [1]. Škály bývají většinou sedmistupňové a jejich extrémní hodnoty jsou definovány dvojicí opačných významů (např. plus/mínus). Nutností před každým měřením je sestavení souborů vhodných posuzovacích škál. Mezi nejobtížnější části experimentu patří výběr škál, jelikož pro každé měření je tato volba jiná.

## 4.6 Měření podobnosti zvukových podnětů

Jak uvádí literatura [1], cílem procesu multidimenzionálního škálování (MDS) je nalézt skrytou strukturu změřených hodnot vícerozměrné proměnné a vyjádřit ji prostorovým geometrickým modelem, v němž je každý z měřených objektů reprezentován bodem umístěným tak, aby geometrické vztahy mezi body modelové konfigurace co nejlépe korespondovaly s nejdůležitějšími charakteristickými rysy objektů. Úkolem vícerozměrné škály je reprezentovat a respektovat složitost vztahů mezi změřenými hodnotami. Tyto hodnoty bývají znázorněny v trojrozměrném či vícerozměrném prostoru. V minulosti vzniklo několik druhů multidimenzionálního škálování a dnes jich existuje velké až nepřehledné množství. K tomuto rozvoji docházelo zejména v 50. a 60. letech 20. století. V tomto krátkém odstavci je tato metoda pouze nastíněna podrobnější informace jsou k nalezení např. v literatuře [1].

## 4.7 Seřazování zvukových podnětů do pořadí

Poslední zmiňovanou metodou je seřazování zvukových podnětů do pořadí. Tato metoda patří k nejstarším a nejužívanějším metodám měření v psychologii. Tato metoda byla vybrána a využita v dále rozebíraném experimentu. Díky své široké aplikovatelnosti a rychlosti měření i velkého počtu objektů patří k nejoblíbenějším metodám. Jsou-li k dispozici data od většího počtu pokusných osob, lze z nich zjistit hodnoty měřených objektů i na vyšší, intervalové úrovni škálování [1].

Metoda seřazování zvukových podnětů do pořadí spočívá v tom, že posluchači, se kterými je prováděn pokus, mají za úkol seřadit podněty do pořadí dle nějakého kritéria (hlasitosti, příjemnosti, rušivosti apod.). V realizovaném testu se jednalo o subjektivní posouzení příjemnosti. Úkolem posluchače bylo přiřadit pořadí  $r = 1$  podnětu, který jí byl nejpříjemnější, a podnětu, který jí byl nejméně příjemný, pořadí  $r = n$  (v uvedeném případě  $r = 3$ ). Pořadí musí být přiřazeno každé z předložených nahrávek. Při studování

této metody lze narazit na dva podobné, ale ve skutečnosti zcela rozdílné výrazy. Jde o výraz pořadí, který se značí symbolem  $r$ , a o výraz pořadová hodnota, který se značí symbolem  $R$ . Výraz pořadí je používán v běžném životě a znamená, že při řazení vybraných podnětů pokusné osoby přiřadí pořadí  $r = 1$  podnětu, který odpovídá nejvíce hledanému jevu. Pořadí  $r = n$  udělí podnětu, který má jevu nejméně. Výhodou tohoto postupu je, že podnět, který je v posuzovaném smyslu „největší“, má při všech měření bez ohledu na počet měřených objektů vždy stejnou hodnotu  $r = 1$  [1]. Alternativní veličinou je pořadová hodnota, která je založena na myšlence, že při zpracování dat je výhodnější, roste-li jejich číselná hodnota s rostoucí „velikostí“ seřazených objektů. Převod mezi pořadím  $r_A$  podnětu  $S_A$  na jeho pořadovou hodnotu  $R_A$  se při celkovém počtu  $n$  podnětů provádí podle vzorce [2],[1]

$$R_A = n - r_A + 1 \quad (4.1)$$

kde

$n$ ... celkový počet podnětů

$r_A$ ... pořadí

$R_A$ ... pořadová hodnota.

Při realizaci toho experimentu pomocí metody seřazování zvukových podnětů do pořadí není většinou dovoleno přiřazovat dvěma nebo více měřením objektů (v tomto případě zvukové nahrávce) stejná pořadí. Avšak pokud se jednotlivé zvukové záznamy liší zcela minimálně a posluchač nedokáže určit, které z nich náleží jaké pořadí, tak se uchylují k hádání. Z tohoto důvodu bude v realizovaném testu povoleno přiřadit dvěma podnětům stejné hodnocení. Podobná situace byla již řešena u metody párového srovnání zvukových podnětů. V případě, že tato situace nastane, bude postup korespondovat s odbornou literaturou [1]. Hodnoty získané od  $m$  posuzovatelů metodou seřazování  $n$  objektů do pořadí se zapisují do obdélníkové matice pořadí. Matice je typu  $m \times n$ , kde  $m$  odpovídá jednomu posuzovateli a  $n$  jednomu z posuzovaných podnětů.

## 4.8 Stručné porovnání jednotlivých metod

Tab. 3 obsahuje jednoduchý přehled důležitých výhod, nevýhod a efektivnosti měření.

Tab. 3 Porovnání nejčastěji používaných měřících metod v psychoakustice z hlediska efektivnosti měření (převzato z [1] )

| Metoda měření                              | Úroveň měření                    | Počet soudů jedné osoby  | Časová náročnost | Pracnost přípravy pokusu | Poznámka                                                           |
|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Metoda konstantních podnětů                | poměrová stupnice                | $o = kn$                 | velká            | střední                  | Metoda je zvlášť vhodná k měření absolutních podnětových prahů.    |
| Párové srovnání                            | pořadová až intervalová stupnice | $o = 0,5k(n^2 - n)$      | velká            | střední                  | Použití metody je zvlášť vhodné při malých rozdílech mezi podněty. |
| Seřazování do pořadí                       | pořadová až intervalová stupnice | $kn < o < 0,5k(n^2 - n)$ | střední          | malá                     | Metoda je použitelná i při velkém počtu podnětů.                   |
| Posuzování na subjektivní posuzovací škále | pořadová až intervalová stupnice | $o = kn$                 | malá             | střední                  | Metoda je použitelná i při velkém počtu podnětů.                   |
| Nastavování                                | poměrová stupnice                | $o = kn$                 | malá             | malá                     | Metoda je vhodná pro rychlé nalezení optimální hodnoty.            |
| Sémantický diferenciál a FA                | intervalová až poměrová          | $o = kan$                | střední          | velká                    | Použití metody je vhodné při rozsáhlejších výzkumných aplikacích.  |
| Měření podobnosti a MDS                    | pořadová až intervalová stupnice | $o = 0,5k(n^2 - n)$      | velká            | střední                  | Použití metody je vhodné při rozsáhlejších výzkumných aplikacích.  |

Sloupec počet soudů jedné osoby v Tab. 3 udává vzorce pro výpočet počtu soudů  $o$ , které musí každá osoba uskutečnit, kde  $n$  je počet měřených objektů,  $k$  je počet opakování měření a  $a$  je počet vybraných posuzovacích škál.

## 5 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ Č. 1

Tato část bakalářské práce popisuje přípravu, průběh, vyhodnocování a celkovou realizaci prvního poslechového testu. Před vlastní realizací testu, bylo nejdříve nutné, navrhnout jakým způsobem bude probíhat hodnocení zvukových záznamů a následně zvolit správnou metodu pro statistické zpracování. Výstupem tohoto hodnocení by měly být statisticky prokazatelné výsledky, které z předložených záznamů, byly posluchačům nejvíce příjemné a které naopak nejméně příjemné. Ze získaných výsledků lze následně určit, která metoda zpracování zvukového záznamu byla posluchačům nejpříjemnější a která byla nejméně příjemná.

### 5.1 Použité zvukové záznamy

#### 5.1.1 Segmentace

Na zvolené zvukové záznamy byla aplikována segmentace signálu. Segmentace se provádí za účelem rozdělení dlouhotrvajícího signálu na kratší úseky. Je to jeden ze způsobů jak zpracovávat dlouhotrvající signál v reálném čase. Nestacionární signál, lze rozdělit na stacionární úseky. Segmentace se dělí na konstantní segmentaci (konstantní délka segmentu) a adaptivní segmentaci (proměnná délka segmentu). Konstantní segmentace spočívá v tom, že délka okna má stále stejnou délku a obsahuje stejný počet vzorků. Mezi nevýhody se považuje, že hranice úseků nemají žádný vztah k charakteru signálu. Mezi jednoznačné výhody patří jednoduchost implementace algoritmu. Signály, jejichž frekvenční a amplitudové vlastnosti se časem mění, jsou signály, které nemají stacionární charakter. Pro spektrální analýzu je řešením rozdělit signál do po částech stacionárních úseků proměnné délky v závislosti na výskytu nestacionarit v signálu. Adaptivní segmentace se dále dělí na: [15]

- a) adaptivní segmentaci na základě lineární predikce
- b) segmentaci na základě autokorelační funkce
- c) segmentaci na základě míry difference střední amplitudy a frekvence
- d) na adaptivní segmentaci na základě míry difference odhadnuté z FFT.

U metody 1 bylo využito pevné segmentace, tj. segmentové bloky jsou stejně velké. Metoda 2 oproti metodě 1 využívá adaptivní segmentace. Při této adaptivní segmentaci je využito algoritmu Greedy selection [13]. Principem Metody 3 je využití algoritmu zvaného Maximum greedy selection. Tento algoritmus však zatím nebyl ještě publikován.

#### 5.1.2 Odstup signálu od šumu

Šum je náhodný rušivý signál, který se do signálu dostane vnější nebo vnitřní cestou. Vnější šum je takový šum, který se do signálu dostává z vnějších zdrojů, jako jsou např. indukce z rozvodu elektrické sítě nebo vlivem pole blízkého vysílače. Veškeré tyto dílčí šумы se sčítají a výsledkem je rušivý signál čili šum. Vnitřní šum vzniká přímo ve vodiči a nelze jej odstranit. Tento šum je způsoben pohybem nosičů náboje. Charakteristickým typem vnitřního šumu je šum tepelný nebo bílý. Je-li

v poměru výkon signálu a součet výkonů všech šumů obsažených v signálu tak vzniká bezrozměrné číslo tzv. poměr signál – šum. Obecně lze říci, že se jedná o poměr energie užitečného signálu a šumu, jehož jednotka (číslo) je bezrozměrná. V případě, že se tato jednotka (číslo) zlogaritmuje, tak se již vztahuje k jednotce dB a jedná se o odstup signálu od šumu SNR (Signal-to-noise ratio). SNR lze definovat jako vztah mezi úrovní signálu a hladinou šumu nebo jako poměr síly signálu k síle šumu v určené šířce pásma. Hodnotu SNR lze vyjádřit pomocí vzorce (5.1)

$$SNR = \frac{\sum x^2(n)}{\sum m^2(n)} \quad (5.1)$$

kde

$n$ ... diskrétní čas

$x$ ... čistý signál

$m$ ... šum

## 5.2 Příprava poslechového testu

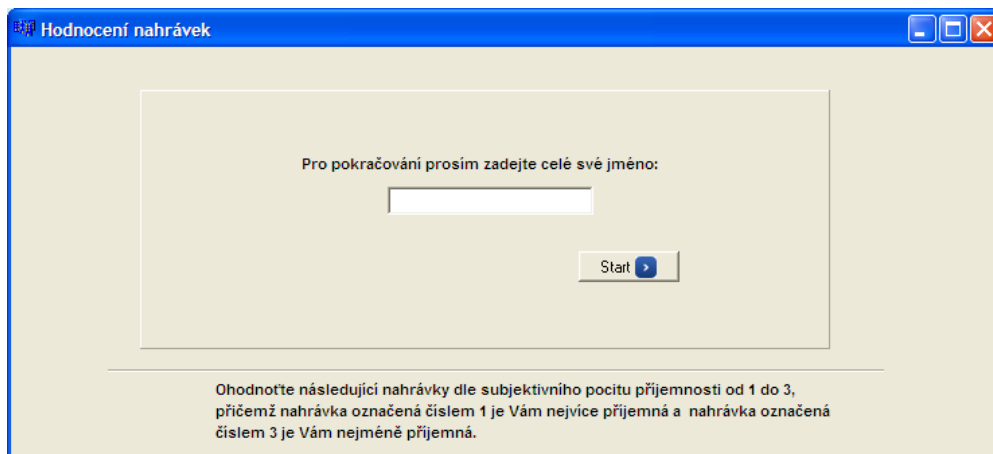
Pro první praktické měření byly vybrány zvukové záznamy, které jsou veřejně dostupné a doporučované pro subjektivní testování kvality zvuku vysílací unií – EBU. Z databáze byly vybrány zvukové záznamy Kytary, Abby a Mozarta. U těchto zvukových záznamů je měněna hodnota SNR v rozmezí od 10 dB do 30 dB. Dále se zde mění segmentace, která má vliv na kvalitu výstupních signálů u systémů na potlačování šumu. Jako šумы byly zvoleny reálně se vyskytující typy šumů, konkrétně šum kazety a šum ventilátoru z PC. Cílem tohoto poslechového testu je najít, která ze tří zvolených segmentací (konstantní, greedy selection, maximum greedy selection) je pro posluchače subjektivně nejpříjemnější. Veškeré tyto vlastnosti byly vyhodnoceny, poslechovým testem, kde byly mezi sebou porovnávány vždy stejné zvukové záznamy, ale s jinou segmentací.

V první fázi tohoto experimentu je nutné zvolit vhodnou metodu k provedení testu a následně z těchto výsledků vytvořit pomocí statistických metod výslednou intervalovou škálu. Pomocí intervalové škály je možné určit rozdíly mezi umístěním jednotlivých šumů. Jako nejvhodnější metoda pro tento experiment byla zvolena metoda seřazování do pořadí, jelikož poskytuje potřebné informace pro realizovaný experiment. Popis této metody je uveden v kapitole 4.7. Metoda seřazování do pořadí byla zvolena jako nejvhodnější, protože použitím této metody lze dosáhnout výsledků, které lze za určitých podmínek využít k vytvoření intervalové škály. Mezi tyto podmínky patří buď velký počet posluchačů, se kterými je test prováděn (cca  $m \geq 100$ ), nebo menší počet posluchačů  $m$  za předpokladu normálního rozdělení tříděných podnětů [1],[3].

Poslechový test byl realizován na Základní a mateřské škole v Hroznové Lhotě. Celkový počet 10 posluchačů, které se poslechového testu zúčastnily, byl tvořen 6 muži a 4 ženami ve věkovém průměru 24 let.

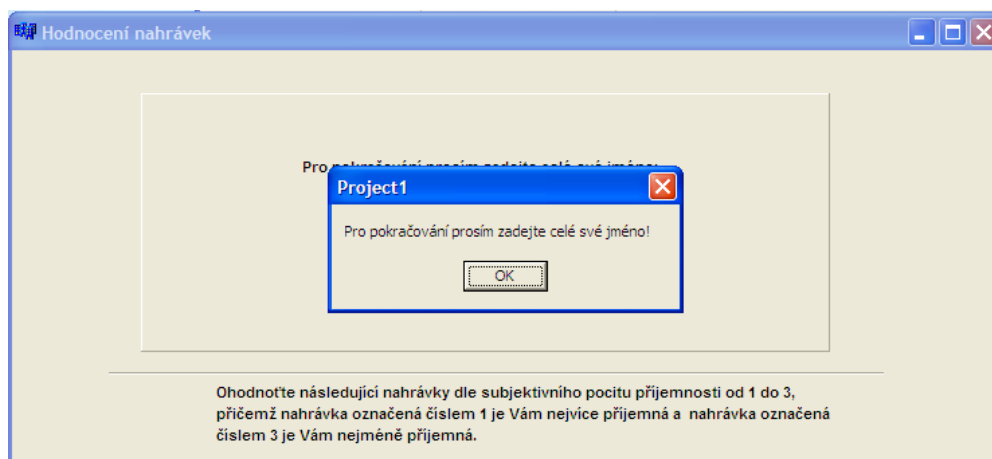
### 5.2.1 Programová implementace – vlastní řešení

Program pro realizaci poslechů byl vytvořen pomocí programovacího jazyka C++ Builder. Při realizaci programu bylo dbáno především na funkčnost a přehlednost programu. Velký důraz byl kladen také na to, aby byl program uživatelsky přívětivý a aby se zvukové záznamy posluchačům spouštěly v náhodném pořadí. Na Obr. 2 je zobrazena úvodní strana programu, ve kterém probíhalo hodnocení zvukových záznamů.



Obr. 2 Úvodní strana hodnotícího programu

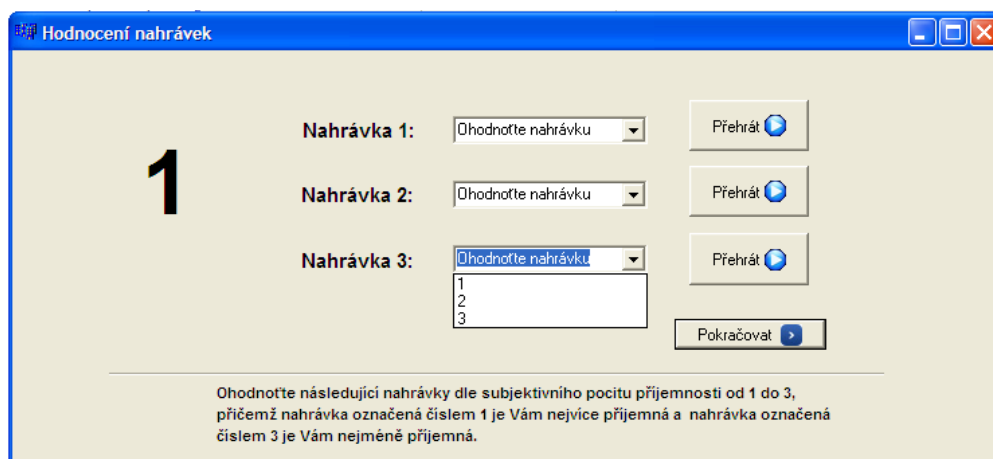
Pro spuštění samotného hodnocení bylo nezbytně nutné zadat jméno posluchače.



Obr. 3 Před spuštěním testu bylo nutné zadat jméno

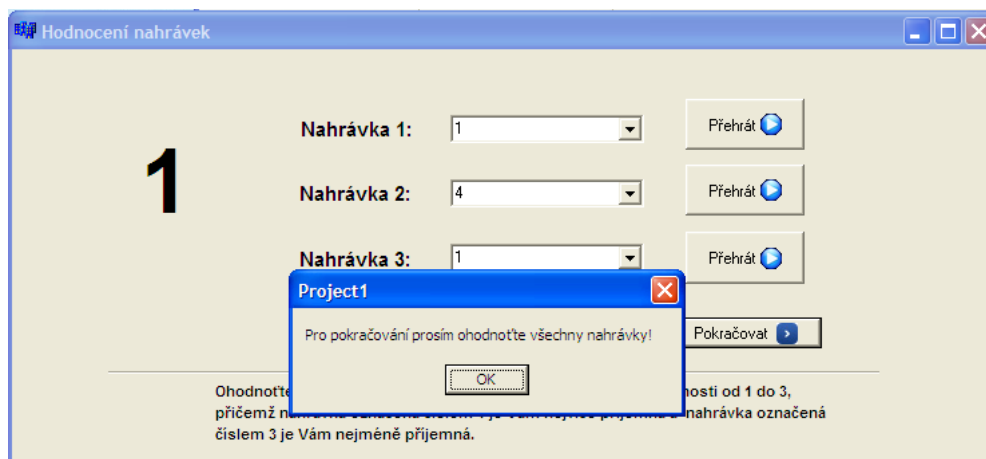
Výsledné GUI je zobrazeno na Obr. 4. Jednotlivým zvukovým záznamům bylo možno přidělit čísla od jedné do tří dle subjektivního pocitu příjemnosti. V případě, že

posluchač nedokázal rozlišit zvukové záznamy, které jsou subjektivně příjemnější, mohl využít možnosti označit zvukové záznamy stejným číslem. Výběr pořadí zvukových záznamů byl umožněn pomocí rozbalovacího menu nebo zapsáním čísla pomocí numerické klávesnice.



Obr. 4 Vzhled programu pro metodu seřazování do pořadí.

Program neumožnil posluchačům ohodnotit zvukové záznamy jiným číslem, než čísly jedna až tři. V případě vepsání jiného čísla nebo písmena se uživateli zobrazilo varování, které je na Obr. 5.



Obr. 5 Podmínkou bylo ohodnotit zvukové záznamy pouze čísly jedna až tři.

Veškerá hodnocení byla ukládána do jednoho souboru, aby nemohlo při přepisování dat dojít k chybě.

## 5.3 Průběh poslechového testu

Jako poslechový materiál byly zvoleny zvukové záznamy, které jsou veřejně dostupné a doporučované pro subjektivní testování kvality zvuku vysílací unií – EBU [8].

Tab. 4 Označení a typy zvukových záznamů pro Metodu 1 – pevná segmentace

| <b>Metoda 1</b> |                 |             |                 |             |                 |
|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Kytara          |                 | Mozart      |                 | Abba        |                 |
| šum kazety      | šum ventilátoru | šum kazety  | šum ventilátoru | šum kazety  | šum ventilátoru |
| SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB | SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB | SNR = 10 dB     |
| SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB | SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB | SNR = 20 dB     |
| SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB | SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB | SNR = 30 dB     |

Tab. 5 Označení a typy zvukových záznamů pro Metodu 2 – segmentace Greedy selection

| <b>Metoda 2</b> |                 |             |                 |             |                 |
|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Kytara          |                 | Mozart      |                 | Abba        |                 |
| šum kazety      | šum ventilátoru | šum kazety  | šum ventilátoru | šum kazety  | šum ventilátoru |
| SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB | SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB | SNR = 10 dB     |
| SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB | SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB | SNR = 20 dB     |
| SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB | SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB | SNR = 30 dB     |

Tab. 6 Označení a typy zvukových záznamů pro Metodu 3 – segmentace Mixumum greedy selection

| <b>Metoda 3</b> |                 |             |                 |             |                 |
|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Kytara          |                 | Mozart      |                 | Abba        |                 |
| šum kazety      | šum ventilátoru | šum kazety  | šum ventilátoru | šum kazety  | šum ventilátoru |
| SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB | SNR = 10 dB     | SNR = 10 dB | SNR = 10 dB     |
| SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB | SNR = 20 dB     | SNR = 20 dB | SNR = 20 dB     |
| SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB | SNR = 30 dB     | SNR = 30 dB | SNR = 30 dB     |

Program pro realizaci poslechových testů byl nainstalován na hlavním počítači. K tomuto počítači přistupovaly jednotlivé stanice pomocí počítačové sítě. Soubor s výsledky hodnocení se ukládal do souboru na hlavním PC. Po usazení všech posluchačů k počítačovým stanicím byli všichni řádně poučeni, jakým způsobem musí provádět hodnocení a jak s programem pracovat. U každého PC byl k dispozici ještě papír s instrukcemi (příloha A.1). Z instrukcí uvedených v A. 1 plyne, že test probíhal jako částečně řízený. Všechny počítače byly vybaveny sluchátky a každý posluchač si mohl pustit zvukový záznam opakovaně. Pro větší přehlednost a lepší organizaci byl test vždy po pěti posluchačích. Každý posluchač provedl test dvakrát, vždy s časovou prodlevou mezi pokusy. Testy probíhaly 22. a 23. listopadu 2012.

## 6 VÝSLEDKY POSLECHOVÉHO TESTU

Při vyhodnocování získaných hodnot byly použity postupy, které jsou publikovány v odborné literatuře [1]. Výsledky z poslechového testu byly převedeny do tabulkového procesoru. Získané výsledky jsou zapsány v Tab. C. 1 až Tab. C. 18.

### 6.1 Hodnoty získané z testu

Z uvedených tabulek lze vidět, které zvukové záznamy získaly nejlepší hodnocení a která nejhorší. Např. v Tab. 7 u hodnoty SNR = 10 dB a šumu kazety lze vidět, že nejlepšího hodnocení dosáhla Metoda 3, kdežto nejhoršího Metoda 2. Jednotlivá čísla uvádí sloupcový součet  $R_k = \sum r_{jk}$  vypočtené pro každý objekt (Metoda 1, Metoda 2, Metoda 3), tj. sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m = 10$  posluchačů.

Tab. 7 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Kytary při testu

| Sloupcový součet    | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                     |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 20         | 30       | 10       | 20              | 30       | 10       |
|                     | 20 dB | 11,5       | 24       | 24,5     | 16              | 28       | 16       |
|                     | 30 dB | 18         | 19,5     | 22,5     | 16,5            | 21       | 22,5     |

Tab. 8 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Mozart při testu

| Sloupcový součet    | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                     |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 20         | 30       | 10       | 20              | 30       | 10       |
|                     | 20 dB | 19         | 28       | 13       | 18,5            | 30       | 11,5     |
|                     | 30 dB | 20,5       | 23,5     | 16       | 19,5            | 21       | 19,5     |

Tab. 9 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Abba při testu

| Sloupcový součet    | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                     |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 20         | 30       | 10       | 20              | 30       | 10       |
|                     | 20 dB | 22         | 25       | 13       | 19,5            | 25,5     | 15       |
|                     | 30 dB | 21         | 21       | 18       | 21,5            | 22,5     | 16       |

## 6.2 Hodnoty získané z retestu

Jednotlivá čísla uvádí sloupcový součet  $R_k = \sum r_{jk}$  vypočtené pro každý objekt (Metoda 1, Metoda 2, Metoda 3), tj. sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m = 10$  posluchačů.

Tab. 10 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Kytary při retestu

| Sloupcový součet    | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                     |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 17,5       | 29,5     | 13       | 19,5            | 28,5     | 12       |
|                     | 20 dB | 22,5       | 27,5     | 10       | 18              | 29       | 13       |
|                     | 30 dB | 17,5       | 18,5     | 24       | 19              | 19       | 22       |

Tab. 11 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Mozart při retestu Mozart

| Sloupcový součet    | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                     |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 20,5       | 29,5     | 10       | 20,5            | 29,5     | 10       |
|                     | 20 dB | 18         | 29       | 13       | 19              | 29,5     | 11,5     |
|                     | 30 dB | 19         | 22       | 19       | 20,5            | 20,5     | 19       |

Tab. 12 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Abba při retestu

| Sloupcový součet    | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                     |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 23         | 27       | 10       | 22,5            | 27,5     | 10       |
|                     | 20 dB | 23         | 27       | 10       | 20              | 29       | 11       |
|                     | 30 dB | 21,5       | 20       | 18,5     | 19,5            | 22,5     | 18       |

### 6.2.1 Zjištění spolehlivosti měření skupiny posluchačů

Spolehlivost měření celé skupiny posluchačů jako celku lze posoudit odhadem retestové reliability měření. Jelikož časový interval mezi prvním testem a retestem byl relativně krátký, je proto vhodnější mluvit o krátkodobé stabilitě měření celé skupiny [5].

Tuto hodnotu lze zjistit korelováním dvou řad všech vzájemně korespondujících hodnot, tj. hodnot z testu a retestu. Je-li prováděna korelace např. pro zvukový záznam kytary při  $SNR = 10$  dB se šumem z kazety z testu a stejného zvukového záznamu z retestu, tak budou korelovány hodnoty získané od  $m = 10$  posluchačů pro všech  $n = 3$  podnětů. V uvedeném případě má tedy každá řada 30 členů. Pro vyjádření těsnosti korelačního vztahu byl použit Pearsonův součinný koeficient  $r$ , který je zkráceně nazýván korelační koeficient. Může nabývat hodnot v rozsahu  $-1 \leq r \leq +1$ . Hodnota  $r = 0$

znamená, že mezi proměnnými neexistuje žádný lineární vztah. Při zisku hodnoty koeficientu korelace  $r_{min} = -1$  a  $r_{max} = +1$  vyjadřuje nejtěsnější možný lineární vztah mezi korelovanými proměnnými v obou směrech, neboli jejich lineární funkční závislost. Pearsonův součinný koeficient korelace se vypočítá ze vztahu [3]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N y_i\right)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2\right] \cdot \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \cdot \left(\sum_{i=1}^N y_i\right)^2\right]}} \quad (5.1)$$

kde

$x_i, y_i, \dots$  jsou vzájemně korespondující hodnoty korelovaných proměnných  $x$  a  $y$  pro  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ,  
 $N$ ... je počet členů v každé z obou řad.

Vztah (5.1) se může zjednodušit podle [1] na

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - M_x) \cdot (y_i - M_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - M_x)^2 \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - M_y)^2}} \quad (5.2)$$

kde

$x_i, y_i, \dots$  jsou vzájemně korespondující hodnoty korelovaných proměnných  $x$  a  $y$  pro  $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ,  
 $N$ ... je počet členů v každé z obou řad,  
 $M_x, M_y, \dots$  aritmetické průměry výběrů změřených hodnot  $x_i$  a  $y_i$ .

Vzorec (5.1) je určen k výpočtu přímo ze změřených dat, vzorec (5.2) pracuje s odchylkami změřených hodnot od příslušných výběrových průměrů  $M_x$  a  $M_y$ .

V poslechovém testu bylo vypočítáno, že  $N = 30$  a vypočítaná hodnota koeficientu korelace dle vzorce (5.1) z testu a retestu je  $r_{TR} = 0,8464$ . Statistická významnost vypočtené hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu  $r$  se testuje oboustranným testem  $t$  pro  $sv = N - 2$  stupně volnosti pomocí vztahu

$$t = r \cdot \sqrt{\frac{N - 2}{1 - r^2}} \quad (5.3)$$

kde

$r \dots$  je hodnota Pearsonova koeficientu korelace,

$N \dots$  počet členů v každé z obou korelovaných řad.

Testuje se nulová hypotéza  $H_0$ , která tvrdí, že mezi dvěma srovnávanými proměnnými neexistuje žádná lineární závislost. Aby bylo možné nulovou hypotézu na zvolené hladině významnosti  $\alpha$  zamítnout, musí být vypočtená hodnota  $t$  větší, než kritická hodnota  $t_{krit\alpha}$ , nalezená v tabulce kritických hodnot  $t$  pro  $sv = N - 2$ . Po dosazení do vzorce (5.3)

$$t = 0,8464 \cdot \sqrt{\frac{30 - 2}{1 - 0,8464^2}} \quad (5.4)$$

vznikne hodnota  $t = 8,4111$ , která je mnohem větší než hodnoty  $t_{krit0,05} = 1,313$  a  $t_{krit0,01} = 2,763$  uvedené v tabulce kritických hodnot. Dle literatury [1] může být tvrzení, že mezi sadami hodnot nastavení z testu a retestu neexistuje žádný lineární korelační vztah, s velmi vysokou pravděpodobností zamítnuto a vypočtenou hodnotu koeficientu  $r_{TR}$  je možno považovat za statisticky vysoce významnou.

Tab. 13 Zjištění spolehlivosti měření skupiny pro SNR = 10 dB .

| SNR = 10 dB |        |                 |         |                                   |
|-------------|--------|-----------------|---------|-----------------------------------|
| Šum         | Zvuk   | r <sub>TR</sub> | t       | Korelace                          |
| kazeta      | Kytara | 0,8464          | 8,4111  | existuje lineární korelační vztah |
|             | Mozart | 0,9874          | 33,0454 | existuje lineární korelační vztah |
|             | Abba   | 0,8720          | 9,4299  | existuje lineární korelační vztah |
| ventilátor  | Kytara | 0,8464          | 8,4111  | existuje lineární korelační vztah |
|             | Mozart | 0,9874          | 33,0454 | existuje lineární korelační vztah |
|             | Abba   | 0,8861          | 10,1187 | existuje lineární korelační vztah |

Tab. 14 Zjištění spolehlivosti měření skupiny pro SNR = 20 dB .

| SNR = 20 dB |        |                 |        |                                   |
|-------------|--------|-----------------|--------|-----------------------------------|
| Šum         | Zvuk   | r <sub>TR</sub> | t      | Korelace                          |
| kazeta      | Kytara | 0,6391          | 4,3973 | existuje lineární korelační vztah |
|             | Mozart | 0,7511          | 6,0212 | existuje lineární korelační vztah |
|             | Abba   | 0,7071          | 5,2915 | existuje lineární korelační vztah |
| ventilátor  | Kytara | 0,8432          | 8,3019 | existuje lineární korelační vztah |
|             | Mozart | 0,9871          | 32,619 | existuje lineární korelační vztah |
|             | Abba   | 0,6133          | 4,1096 | existuje lineární korelační vztah |

Tab. 15 Zjištění spolehlivosti měření skupiny pro SNR = 30 dB .

| SNR = 30 dB |        |          |        |                                     |
|-------------|--------|----------|--------|-------------------------------------|
| Šum         | Zvuk   | $r_{TR}$ | $t$    | Korelace                            |
| kazeta      | Kytara | 0,2773   | 1,5275 | neexistuje lineární korelační vztah |
|             | Mozart | 0,4743   | 2,8511 | existuje lineární korelační vztah   |
|             | Abba   | 0        | 0      | neexistuje lineární korelační vztah |
| ventilátor  | Kytara | 0,4743   | 2,8511 | existuje lineární korelační vztah   |
|             | Mozart | -0,3535  | -2     | neexistuje lineární korelační vztah |
|             | Abba   | 0,3060   | 1,7009 | neexistuje lineární korelační vztah |

V Tab. 13 až Tab. 15 byly korelovány hodnoty získané od posluchačů během testu a retestu pro jednotlivé zašuměné zvukové záznamy. V případě, že existuje lineární korelační vztah lze tvrdit, že pokud se mění jedna veličina, mění se korelativně i druhá. Pokud se mezi dvěma procesy prokáže korelace, znamená to, že jsou na sobě závislé. Pro zadané zvukové záznamy byl počítán koeficient korelace  $r_{TR}$ . Po výpočtu koeficientu korelace je ještě nutné zjistit statistickou významnost vypočtené hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu. Pro tyto účely slouží tzv. nulová hypotéza  $H_0$ , který tvrdí, že mezi dvěma srovnávanými proměnnými (testem a retestem) neexistuje žádná lineární závislost. Aby bylo možné nulovou hypotézu zamítnout, musí být vypočtená hodnota  $t$  větší než kritická hodnota  $t_{krit\alpha}$ . Pro uvedený poslechový test byly stanoveny kritické hodnoty  $t_{krit0,05} = 1,313$  a  $t_{krit0,01} = 2,763$ . Jak lze vidět, tak zvukové záznamy s hodnotou SNR = 10 dB a SNR = 20 dB tuto podmínku splňují tj. vypočtená hodnota  $t$  je větší než  $t_{krit0,05}$  a  $t_{krit0,01}$  a z toho důvodu lze tvrdit, že existuje lineární korelační vztah. V případě zvukových záznamů s hodnotou SNR = 30 dB lze tuto skutečnost tvrdit pouze u zvukového záznamu Mozarta se šumem s kazety a u záznamu Kytary se šumem z ventilátoru. U zbylých zvukových záznamů neexistuje lineární korelační vztah, tudíž zde nelze hledat přímou souvislost mezi hodnotami z testu a retestu.

## 6.2.2 Kontrola shody mezi posuzovateli

Před samotným statistickým zpracováním výsledků měření je potřeba se přesvědčit, zda se získané hodnoty pořadí shodují, anebo zda se liší. Tuto hodnotu lze zjistit pomocí Kendallova koeficientu konkordance. Značí se jako  $W$ , a určuje shodu jednotlivých hodnocení posluchačů. Při naprosté shodě dosahuje tento koeficient maximální hodnoty  $W_{\max} = 1$  a při největším možném nesouhlasu mezi posuzovateli je jeho hodnota  $W_{\min} = 0$ . V případě, že výpočet neprobíhá sloučením pořadí, se hodnota Kendallova koeficientu počítá podle vztahu

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)} \quad (5.5)$$

kde

$m$ ... počet hodnotitelů,

$n \dots$  počet posuzovaných objektů,

kde se  $S$  vypočítá jako

$$S = \sum_{k=1}^n R_k^2 - \frac{(\sum_{k=1}^n R_k)^2}{n} \quad (5.6)$$

kde

$n \dots$  počet posuzovaných objektů,

$R_k \dots$  součet pořadí.

V případě výpočtu pro Tab. 25 má  $S$  hodnotu

$$S = \sum_{k=1}^n R_k^2 - \frac{(\sum_{k=1}^n R_k)^2}{n} \quad (5.7)$$

a Kendallův koeficient

$$W = \frac{12 \cdot 200}{10^2 \cdot (3^3 - 3)} = 1 \quad (5.8)$$

V případě využití sloučených pořadí je nutné vzorec pro nesloučená pořadí upravit tak, že od jmenovatele dojde k odečtení korelačního členu  $m \sum T_j$ , který reprezentuje sloučená pořadí. Vzorec pro výpočet Kendallova koeficientu konkordance má potom tedy tvar

$$W_{korig} = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (5.9)$$

Hodnoty  $T_j$  určíme ze vztahu

$$T_j = \frac{\sum_t (t^3 - t)}{12} \quad (5.10)$$

kde

$T_j \dots$  je hodnota opravy na všechna slučování pořadí u  $j$ -tého posuzovatele,  
 $t \dots$  je počet při tom sloučených pořadí.

V případě výpočtu pro Tab. C. 7 využili sloučená pořadí posluchači číslo 4 a 9. Hodnoty oprav na slučování pořadí u nich činí:  $T_4 = (2^3 - 2)/12 = 0,5$ ;  $T_9 = (3^3 - 3)/12 = 2$ . Korelační člen bude mít v našem případě tudíž hodnotu  $10(0,5 + 2) = 25$ . Hodnota  $W$  tedy bude

$$W_{korig} = \frac{12 \cdot 108,5}{10^2 \cdot (3^3 - 3) - 25} = 0,5482 \quad (5.11)$$

Po dosazení hodnot vznikne hodnota  $W_{korig} = 0,5482$ . Z tabulky kritických hodnot Kendallova koeficientu [7] lze zjistit, že pro  $n = 3$  a  $m = 10$  se kritické hodnoty na hladině významnosti rovnají  $W_{krit0,05} = 0,292$  a  $W_{krit0,01} = 0,416$ . Tyto hodnoty jsou nižší, než získaná hodnota  $W_{korig}$ . Z tohoto důvodu lze tvrdit, že data získaná z testu Tab. C. 7 jsou statisticky vysoce významná (svv) na hladině  $W_{krit0,05}$  a  $W_{krit0,01}$ , pokud by  $W_{korig}$  bylo nižší než  $W_{krit0,05}$  a  $W_{krit0,01}$ , jednalo by se o data statisticky nevýznamná (dsn). V Tab. 16 jsou uvedeny hodnoty Kendallova koeficientu pro získané hodnoty.

Tab. 16 Zjištěné hodnoty Kendallova koeficientu konkordance pro test

|                |        | šum kazety |             |                |                | šum ventilátoru |             |                |                |
|----------------|--------|------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|-------------|----------------|----------------|
|                |        | $W$        | $W_{korig}$ | $W_{krit0,01}$ | $W_{krit0,05}$ | $W$             | $W_{korig}$ | $W_{krit0,01}$ | $W_{krit0,05}$ |
| SNR = 10<br>dB | Kytara | 1          | -           | svv            | svv            | 1               | -           | svv            | svv            |
|                | Mozart | 1          | -           | svv            | svv            | 1               | -           | svv            | svv            |
|                | Abba   | 1          | -           | svv            | svv            | 1               | -           | svv            | svv            |
| SNR = 20<br>dB | Kytara | -          | 0,548       | svv            | svv            | -               | 0,484       | svv            | svv            |
|                | Mozart | -          | 0,572       | svv            | svv            | -               | 0,874       | svv            | svv            |
|                | Abba   | -          | 0,397       | dsn            | svv            | -               | 0,279       | dsn            | dsn            |
| SNR = 30<br>dB | Kytara | -          | 0,056       | dsn            | dsn            | -               | 0,102       | dsn            | dsn            |
|                | Mozart | -          | 0,150       | dsn            | dsn            | -               | 0,008       | dsn            | dsn            |
|                | Abba   | -          | 0,032       | dsn            | dsn            | -               | 0,129       | dsn            | dsn            |

Tab. 17 Zjištěné hodnoty Kendallova koeficientu konkordance pro retest

|                |        | šum kazety |             |                |                | šum ventilátoru |             |                |                |
|----------------|--------|------------|-------------|----------------|----------------|-----------------|-------------|----------------|----------------|
|                |        | $W$        | $W_{korig}$ | $W_{krit0,01}$ | $W_{krit0,05}$ | $W$             | $W_{korig}$ | $W_{krit0,01}$ | $W_{krit0,05}$ |
| SNR = 10<br>dB | Kytara | -          | 0,731       | svv            | svv            | -               | 0,685       | svv            | svv            |
|                | Mozart | -          | 0,954       | svv            | svv            | -               | 0,954       | svv            | svv            |
|                | Abba   | -          | 0,793       | svv            | svv            | -               | 0,814       | svv            | svv            |
| SNR = 20<br>dB | Kytara | -          | 0,46        | svv            | svv            | 0,67            | -           | svv            | svv            |
|                | Mozart | -          | 0,650       | svv            | svv            | -               | 0,821       | svv            | svv            |
|                | Abba   | -          | 0,797       | svv            | svv            | -               | 0,814       | svv            | svv            |
| SNR = 30<br>dB | Kytara | -          | 0,131       | dsn            | dsn            | -               | 0,032       | dsn            | dsn            |
|                | Mozart | -          | 0,032       | dsn            | dsn            | -               | 0,008       | dsn            | dsn            |
|                | Abba   | -          | 0,023       | dsn            | dsn            | -               | 0,055       | dsn            | dsn            |

Výpočtem shody mezi posuzovateli je účelné se přesvědčit, zda se sady hodnot pořadí, získané od jednotlivých pokusných osob víceméně shodují, anebo se významně liší. K tomuto účelu byl použit Kendallův koeficient konkordance. V Tab. 16 a Tab. 17 jsou uvedeny hodnoty Kendallova koeficientu  $W$  při absenci sloučených pořadí a  $W_{korig}$  při výskytu sloučených pořadí. Hodnoty koeficientu  $W$  nebo  $W_{korig}$  se porovnávají s hodnotami  $W_{krit0,05} = 0,292$  a  $W_{krit0,01} = 0,416$ , které jsou uvedeny v tabulce kritických hodnot Kendallova koeficientu [1]. Pokud jsou získané hodnoty statisticky vysoce významné, lze tvrdit, že se sady hodnot pořadí, získané od jednotlivých pokusných osob, víceméně shodují. Jak lze vidět v Tab. 16 a Tab. 17 data získaná pro hodnotu SNR = 30 jsou daty statisticky nevýznamnými, totéž platí i pro zvukový záznam Abby s hodnotou SNR = 20 dB a šumem z ventilátoru. Těmto datům nelze přisuzovat váhu při sestavování konečného výsledku pořadí.

### 6.3 Shrnutí výsledků poslechového testu

Z poslechového testu bylo zjištěno, že segmentace má podstatný vliv na výsledně, subjektivně vnímanou kvalitu. Dále bylo zjištěno, že u hodnoty SNR = 30 dB nebyli posluchači schopni rozeznat, který zvukový záznam je jim subjektivně nejpríjemnější. Toto tvrzení je podloženo výsledky, které jsou uvedeny 6.2.1 a 6.2.2. Z těchto výsledků lze vidět, že pro SNR s hodnotou 30 dB ve většině případů neexistuje lineární korelační vztah tj. neexistuje zde souvislost mezi hodnocením z testu a retestu (posluchači neodpovídali stejně). Dalším faktem, který pro tuto skutečnost hovoří je, že získaná data pro hodnotu 30 dB jsou statisticky nevýznamná a nejde je využít při určování konečného pořadí. Během praktického měření č. 1 se taky ukázalo, že zvolená délka zvukového záznamu (7 s) je příliš krátká. Tab. 18 uvádí výsledné pořadí jednotlivých zvukových záznamů.

Tab. 18 Výsledná pořadí jednotlivých zvukových záznamů

| Záznam<br>Kytara | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                  |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| Test             | 10 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
|                  | 20 dB | 1          | 2        | 3        | 1/2             | 3        | 1/2      |
| Retest           | 10 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
|                  | 20 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |

| Záznam<br>Mozart | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|------------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                  |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| Test             | 10 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
|                  | 20 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
| Retest           | 10 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
|                  | 20 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |

| Záznam<br>Abba | SNR   | šum kazety |          |          | šum ventilátoru |          |          |
|----------------|-------|------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|                |       | Metoda 1   | Metoda 2 | Metoda 3 | Metoda 1        | Metoda 2 | Metoda 3 |
| Test           | 10 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
|                | 20 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
| Retest         | 10 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |
|                | 20 dB | 2          | 3        | 1        | 2               | 3        | 1        |

Z tabulky je patrné, že jako nejpříjemnější zvukový záznam byl zvolen záznam upraven pomocí segmentace Maximum greedy selection. Nejméně příjemný zvukový záznam byl upraven pomocí segmentace Greedy selection.

## 6.4 Výsledky z dotazníku

Každému posluchači byl předložen dotazník obsahující 4 otázky týkající se hodnocení zvukových záznamů. Znění tohoto dotazníku je uvedeno v příloze A.3. Jeho vyhodnocení dopadlo následovně:

- 80 % dotázaných uvedlo, že předložené zvukové záznamy byly spíše rozeznatelné, 20 % posluchačů uvedlo, že zvukové záznamy byly snadno rozeznatelné.
- 100 % posluchačů tvrdilo, že nebyli vyrušováni žádným okolním hlukem.
- 90 % posluchačů uvedlo, že mají průměrný sluch, 10 % že má sluch podprůměrný.
- Všichni dotázaní se shodli na tom, že své hodnocení v experimentu považují za objektivní a platné.

## 7 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ Č. 2

Druhá část bakalářské práce popisuje přípravu, průběh, vyhodnocování a celkovou realizaci druhého praktického měření. Během prvního praktického měření bylo zjištěno, že při hodnotě  $\text{SNR} = 30 \text{ dB}$  nebyli posluchači schopni rozeznat, který záznam jim je nepříjemnější. Z tohoto důvodu byla u druhého praktického měření tato hodnota vynechána. Výstupem druhého praktického měření by měly být statisticky prokazatelné výsledky, které z předložených zvukových záznamů, byly posluchačům nejvíce příjemné a které naopak nejméně příjemné. Ze získaných výsledků lze následně určit, který typ segmentace je posluchačům nejpříjemnější a který byl nejméně příjemný.

### 7.1 Použité zvukové záznamy

Pro experiment byly vybrány zvukové záznamy, které jsou veřejně dostupné a doporučované pro subjektivní testování kvality zvuku vysílací unií – EBU. Z databáze byly vybrány zvukové záznamy Abby, Kytary a Eddiho Rabbitta. Po zkušenostech z předchozího testu bylo zjištěno, že optimální délka zvukového záznamu je 5 až 9 sekund. Pro tento experiment byla zvolena délka záznamu 7 sekund. U tohoto poslechového testu byly zvoleny zvukové záznamy, u nichž byl změněn odstup signálu od šumu a to na hodnotu  $\text{SNR} = 10 \text{ dB}$  a  $\text{SNR} = 20 \text{ dB}$ . Další změna spočívala ve změně segmentace signálu, která má vliv na kvalitu výstupních signálů u systémů na potlačování zvuku. Segmenty byly zvoleny délky 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384 vzorků. Při samotné realizaci poslechů, byly vždy mezi sebou hodnoceny stejný typ zvukového záznamu se stejnou hodnotou  $\text{SNR}$  ale jinou segmentací.

Tab. 19 Označení zvukových záznamů v poslechovém testu

| Typ zvukového záznamu      | Abba              |                 |                 |                 |                 |                  |                   |                 |                 |                 |                 |                  |
|----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| SNR [dB]                   | 10                |                 |                 |                 |                 |                  | 20                |                 |                 |                 |                 |                  |
| Segmentace [vzorky]        | 512               | 1024            | 2048            | 4096            | 8192            | 16384            | 512               | 1024            | 2048            | 4096            | 8192            | 16384            |
| Označení zvukového záznamu | A1 <sub>0,5</sub> | A1 <sub>1</sub> | A1 <sub>2</sub> | A1 <sub>4</sub> | A1 <sub>8</sub> | A1 <sub>16</sub> | A2 <sub>0,5</sub> | A2 <sub>1</sub> | A2 <sub>2</sub> | A2 <sub>4</sub> | A2 <sub>8</sub> | A2 <sub>16</sub> |

| Typ zvukového záznamu      | Kytara            |                 |                 |                 |                 |                  |                   |                 |                 |                 |                 |                  |
|----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| SNR [dB]                   | 10                |                 |                 |                 |                 |                  | 20                |                 |                 |                 |                 |                  |
| Segmentace [vzorky]        | 512               | 1024            | 2048            | 4096            | 8192            | 16384            | 512               | 1024            | 2048            | 4096            | 8192            | 16284            |
| Označení zvukového záznamu | K1 <sub>0,5</sub> | K1 <sub>1</sub> | K1 <sub>2</sub> | K1 <sub>4</sub> | K1 <sub>8</sub> | K1 <sub>16</sub> | K2 <sub>0,5</sub> | K2 <sub>1</sub> | K2 <sub>2</sub> | K2 <sub>4</sub> | K2 <sub>8</sub> | K2 <sub>16</sub> |

| Typ zvukového záznamu      | Eddie Rabbitt     |                 |                 |                 |                 |                  |                   |                 |                 |                 |                 |                  |
|----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| SNR [dB]                   | 10                |                 |                 |                 |                 |                  | 20                |                 |                 |                 |                 |                  |
| Segmentace [vzorky]        | 512               | 1024            | 2048            | 4096            | 8192            | 16384            | 512               | 1024            | 2048            | 4096            | 8192            | 16284            |
| Označení zvukového záznamu | E1 <sub>0,5</sub> | E1 <sub>1</sub> | E1 <sub>2</sub> | E1 <sub>4</sub> | E1 <sub>8</sub> | E1 <sub>16</sub> | E2 <sub>0,5</sub> | E2 <sub>1</sub> | E2 <sub>2</sub> | E2 <sub>4</sub> | E2 <sub>8</sub> | E2 <sub>16</sub> |

Pro odstranění šumu se využívá Wienerův filtr, který patří mezi adaptivní typy filtru. Wienerův filtr se využívá v aplikacích pro obnovu signálu porušeného šumem nebo jiným rušivými vlivy. U výše zmíněných zvukových záznamů bylo využito prahování pomocí Wienerova filtru. Volba prahování se volí tak, aby došlo k oddělení požadovaných šumů od pozadí.

### 7.1.1 Wienerův filtr

Bereme-li v úvahu stochastické diskrétní signály  $x(n)$  a  $m(n)$ , kde  $x(n)$  reprezentuje užitečný signál a  $m(n)$  je rušivý šum. Vstupní, tj. šumem zarušený, signál  $y(n)$  je definován [14]

$$y(n) = x(n) + m(n). \quad (7.1)$$

Ve spektrální oblasti pak lze psát

$$Y(e^{j\Omega}) = X(e^{j\Omega}) + M(e^{j\Omega}), \quad (7.2)$$

kde  $Y(e^{j\Omega})$ ,  $X(e^{j\Omega})$ ,  $M(e^{j\Omega})$  jsou spektra signálů  $y(n)$ ,  $x(n)$ ,  $m(n)$  definované Fourierovou transformací  $\mathcal{F}\{\cdot\}$

$$Y(e^{j\Omega}) = \mathcal{F}\{y(n)\} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} y(n)e^{-j\Omega n}, \quad (7.3)$$

kde  $\Omega = 2\pi f/f_s$  je normovaný úhlový kmitočet,  $f_s$  je vzorkovací kmitočet. Funkce  $Y(e^{j\Omega})$  je periodická s periodou  $2\pi$ . Výkonové spektrum signálu  $y(n)$  bude zavedeno jako [14]

$$S_{yy}(\Omega) = E\{|Y(e^{j\Omega})|^2\}. \quad (7.4)$$

Pokud  $x(n)$  a  $m(n)$  jsou lineárně nezávislé procesy, tak lze psát

$$S_{yy}(\Omega) = S_{xx}(\Omega) + S_{mm}(\Omega). \quad (7.5)$$

Výkonové spektrum  $S_{xx}(\Omega)$  lze obnovit z výkonového spektra  $S_{yy}(\Omega)$  modifikací předchozího vztahu jako

$$S_{xx}(\Omega) = S_{yy}(\Omega) - S_{mm}(\Omega). \quad (7.6)$$

Tento postup ovšem obnoví pouze výkonové spektrum  $S_{xx}(\Omega)$ . Jedním z přístupů, jak odhadnout  $\hat{x}(p)$  z  $y(p)$ , je Wienerova filtrace. Kritérium optimality tohoto odhadu je minimalizace střední kvadratické odchylky mezi odhadem  $\hat{x}(n)$  a jeho originálem  $x(n)$ , tj. minimalizace výrazu  $E\{[\hat{x}(n) - x(n)]^2\}$  pro všechny realizace náhodných procesů  $x(n)$  a  $m(n)$ . Odhad  $\hat{X}(e^{j\Omega})$  z  $Y(e^{j\Omega})$  je proveden [14]

$$\hat{X}(e^{j\Omega}) = H_W(\Omega)Y(e^{j\Omega}), \quad (7.7)$$

kde  $H_W(\Omega)$  je zisková funkce Wienerova filtru a tato zisková funkce je definována jako

$$H_W(\Omega) = \frac{S_{xx}(\Omega)}{S_{xx}(\Omega) + S_{mm}(\Omega)}, \quad (7.8)$$

nebo častěji používané vyjádření

$$H_W(\Omega) = \frac{S_{yy}(\Omega) - S_{mm}(\Omega)}{S_{yy}(\Omega)}. \quad (7.9)$$

Nyní lze s využitím vztahů (7.7) a (7.9) psát [14]

$$\hat{X}(e^{j\Omega}) = \left[ \frac{S_{yy}Z - S_{mm}(\Omega)}{S_{yy}(\Omega)} \right] Y(e^{j\Omega}), \quad (7.10)$$

Tato forma rovnice znázorňuje způsob obnovy zarušeného signálu formou spektrálního odečítání, viz  $S_{yy}(\Omega) - S_{mm}(\Omega)$  v této rovnici. Výkonové spektrální hustoty  $S_{yy}(\Omega)$  a  $S_{mm}(\Omega)$  jsou podle (7.4) rovny  $E\{|Y(e^{j\Omega})|^2\}$  a  $E\{|Z(e^{j\Omega})|^2\}$  a proto lze pro  $H_W(\Omega)$  psát

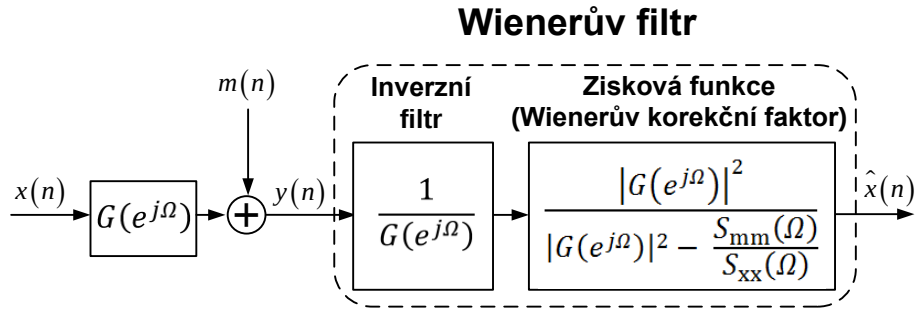
$$H_W(\Omega) = \frac{E\{|Y(e^{j\Omega})|^2\} - E\{|Z(e^{j\Omega})|^2\}}{E\{|Y(e^{j\Omega})|^2\}}. \quad (7.11)$$

Po nahrazení odhadů  $|Y(e^{j\Omega})|^2$  a  $|Z(e^{j\Omega})|^2$  za  $E\{|Y(e^{j\Omega})|^2\}$  a  $E\{|Z(e^{j\Omega})|^2\}$  lze rovnici (7.11) přepsat jako

$$H_W(\Omega) \cong \frac{|Y(e^{j\Omega})|^2 - |Z(e^{j\Omega})|^2}{|Y(e^{j\Omega})|^2}. \quad (7.12)$$

Tedy namísto souborových středních hodnot byly do předchozího vztahu dosazeny kvadráty amplitudových spekter, které byly získané pouze z jediné (dostupné) realizace  $y(n)$  a  $m(n)$ . Na Tab. 6 je zobrazeno blokové schéma odhadu  $\hat{x}(p)$  Wienerovým

filtrem [14].



Obr. 6 Blokové schéma odhadu  $\hat{x}(n)$  Wienerovým filtrem se zkreslujícím systémem  $G(e^{j\Omega})$ .

### 7.1.2 Krátkodobý Wienerův filtr

Krátkodobý Wienerův filtr je rozšíření Wienerova filtru i na nestacionární třídu signálů. Wienerův filtr definovaný v minulé kapitole lze totiž aplikovat pouze na stacionární třídu signálů. Hudební signály ovšem nelze považovat za stacionární. V takovém případě je potřeba rozdělit dlouhotrvající signál na kratší úseky. A na těchto úsecích je následně provádět odhady výkonových spektrálních hustot. K tomu účelu jsou využity nástroje analýzy a syntézy krátkodobé Fourierovy transformace STFT[14].

Dlouhotrvající signál  $y(p)$  bude rozdělen na kratší úseky délky  $N$  vzorků, které jsou zmíněny v kapitole 7.1. Délky vzorků  $N$  se tedy mění v délkách 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384.

$$y_i(n) = \begin{cases} w(n)y(n + N(i-1) - N(v-1)) & \text{pro } n = 0, 1, \dots, N-1 \\ 0 & \text{pro } n \neq 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (7.13)$$

kde symbol  $i$  značí pořadové číslo segmentu a platí  $i = 1, \dots, I$  a  $I$  je celkový počet segmentů. Symbol  $v$  je zde použit pro vyjádření velikosti překryvu sousedních segmentů,  $v = 0,5$  značí 50% překryv a  $v = 0,75$  značí 75% překryv atd.,  $w(n)$  je analyzující okno [14].

Takto segmentovaný signál  $y_i(n)$  bude reprezentován STFT

$$Y_i(k) = \sum_{n=0}^{N-1} y_i(n) e^{-j2\pi kn/N} \quad (7.14)$$

kde  $k$  je pořadové číslo  $k$ -tého spektrálního koeficientu STFT,  $k = 0, \dots, K-1$  a  $K$  je celkový počet těchto koeficientů. Protože je STFT typ zobrazení  $\mathbb{C}^N \rightarrow \mathbb{C}^N$ , kde  $\mathbb{C}$  značí množinu komplexních čísel, tak platí, že  $K = N$ .

Vztah (7.10) pro stanovení odhadu  $\hat{X}_{w_i}(k)$  lze nyní s využitím (7.13) a (7.14) přepsat jako

$$\hat{X}_{W_i}(k) = \left[ \frac{|Y_i(k)|^2 - |M_i(k)|^2}{|Y_i(k)|^2} \right] Y_i(k) \quad (7.15)$$

Část v hranaté závorce výrazu z předchozího vztahu je právě nazývána krátkodobý Wienerův filtr. Zisková funkce tohoto filtru je definována následovně [14]

$$H_{W_i}(k) = \frac{|Y_i(k)|^2 - |M_i(k)|^2}{|Y_i(k)|^2} \quad (7.16)$$

## 7.2 Příprava poslechového testu

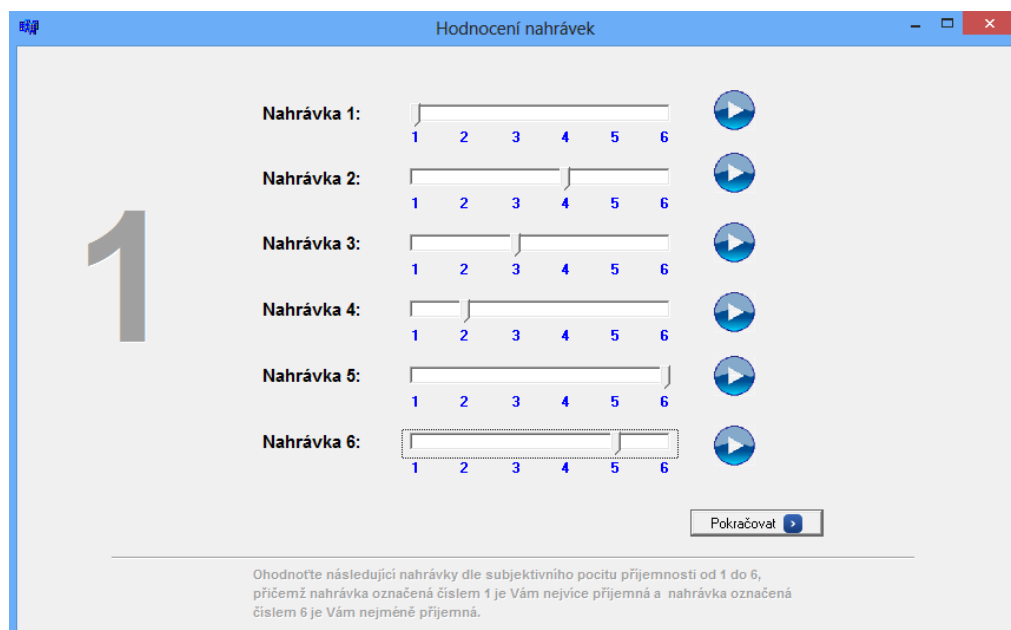
Náplní druhého poslechového testu bylo předložit posluchačům sadu zvukových záznamů, jejichž úkolem bylo seřadit tyto zvukové záznamy podle subjektivního pocitu příjemnosti. U tohoto poslechového testu, tak jako u poslechového testu č.1, byla využita metoda seřazování do pořadí. V předchozím testu se prokázalo, že tato metoda je vhodná pro realizovaný poslechový test a ze získaných výsledků je možné stanovit výsledné pořadí jednotlivých zvukových záznamů. Posluchačům bylo povoleno přiřazovat dvěma či více měřeným objektům stejná pořadí.

Poslechový test byl realizován vždy po jednom posluchači, aby byla zajištěna patřičná přesnost a soustředěnost posluchačů. Pro experiment byla využita externí zvuková karta M-Audio ProFire 610 a sluchátka AKG K-240.

Z celkového počtu 15 zúčastněných posluchačů bylo 9 mužů a 6 žen. Průměrný věk posluchačů byl 26 let.

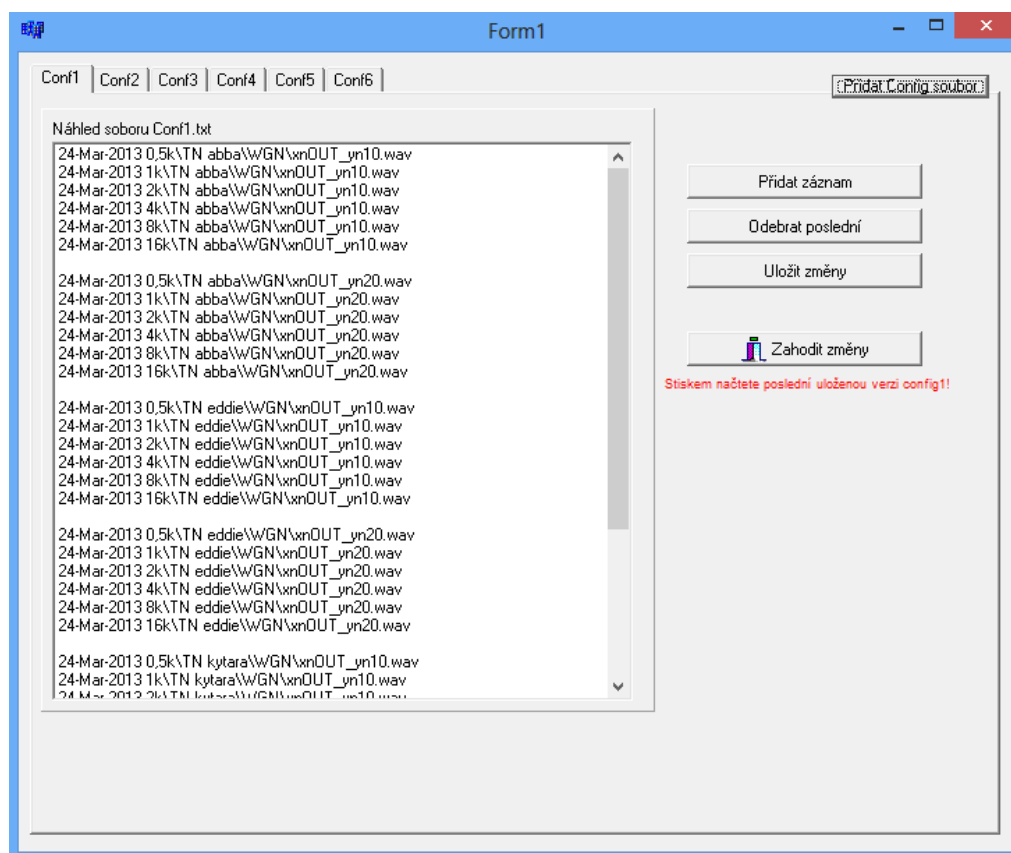
### 7.2.1 Programová implementace – vlastní řešení

Pro realizaci poslechů byl využit program z poslechového testu číslo 1 uvedeného v kapitole 5.2. Tento program byl oproti původní verzi upraven tak, aby splňoval požadavky pro tento test. Program byl doplněn zejména o možnost uživatelské editace jednotlivých záznamů, zjednodušení uživatelského prostředí a přehlednější výpis jednotlivých hodnocení. Na Obr. 7 je znázorněna hodnotící strana programu.



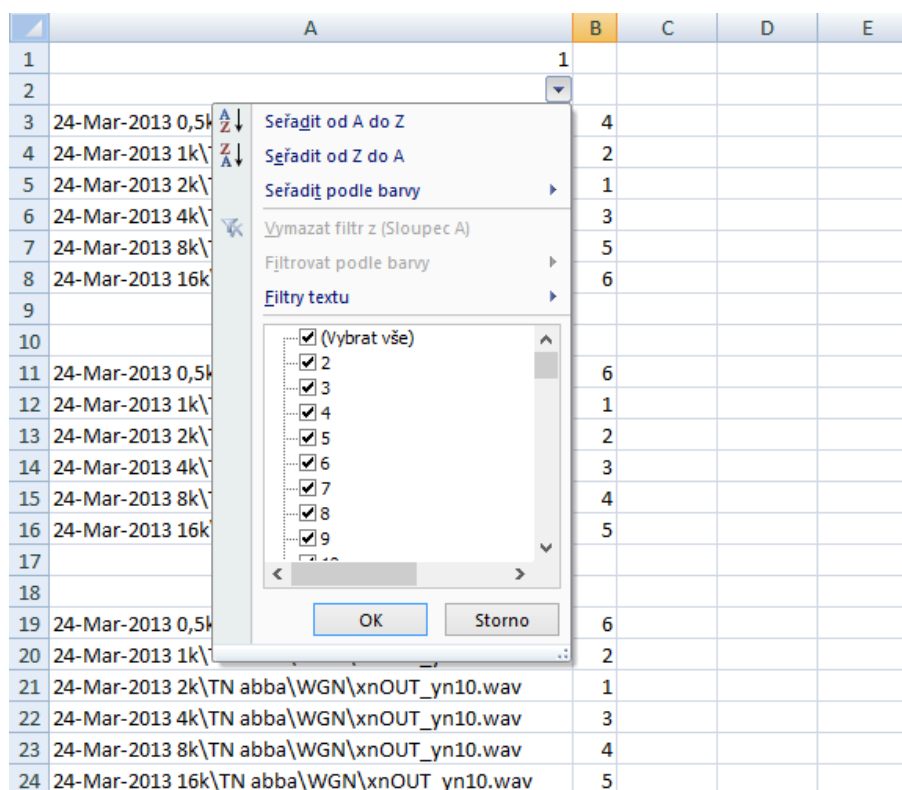
Obr. 7 Program pro hodnocení zvukových záznamů

Na Obr. 8 lze vidět editační okno, pomocí kterého lze upravit počet a druh záznamů. Program podporuje možnost hodnocení až 216 zvukových záznamů.



Obr. 8 Editací okno pro hodnotící program

Jako výstup hodnotícího programu byl zvolen tabulkový procesor Excel, který byl doplněn o filtry, pomocí nichž byly jednotlivé zvukové záznamy vyhodnocovány.



|    | A                                          | B | C | D | E |
|----|--------------------------------------------|---|---|---|---|
| 1  |                                            | 1 |   |   |   |
| 2  |                                            |   |   |   |   |
| 3  | 24-Mar-2013 0,5k                           | 4 |   |   |   |
| 4  | 24-Mar-2013 1k                             | 2 |   |   |   |
| 5  | 24-Mar-2013 2k                             | 1 |   |   |   |
| 6  | 24-Mar-2013 4k                             | 3 |   |   |   |
| 7  | 24-Mar-2013 8k                             | 5 |   |   |   |
| 8  | 24-Mar-2013 16k                            | 6 |   |   |   |
| 9  |                                            |   |   |   |   |
| 10 |                                            |   |   |   |   |
| 11 | 24-Mar-2013 0,5k                           | 6 |   |   |   |
| 12 | 24-Mar-2013 1k                             | 1 |   |   |   |
| 13 | 24-Mar-2013 2k                             | 2 |   |   |   |
| 14 | 24-Mar-2013 4k                             | 3 |   |   |   |
| 15 | 24-Mar-2013 8k                             | 4 |   |   |   |
| 16 | 24-Mar-2013 16k                            | 5 |   |   |   |
| 17 |                                            |   |   |   |   |
| 18 |                                            |   |   |   |   |
| 19 | 24-Mar-2013 0,5k                           | 6 |   |   |   |
| 20 | 24-Mar-2013 1k                             | 2 |   |   |   |
| 21 | 24-Mar-2013 2k\TN abba\WGN\xnOUT_yn10.wav  | 1 |   |   |   |
| 22 | 24-Mar-2013 4k\TN abba\WGN\xnOUT_yn10.wav  | 3 |   |   |   |
| 23 | 24-Mar-2013 8k\TN abba\WGN\xnOUT_yn10.wav  | 4 |   |   |   |
| 24 | 24-Mar-2013 16k\TN abba\WGN\xnOUT_yn10.wav | 5 |   |   |   |

Obr. 9 Výstup hodnotícího programu

## 7.3 Průběh poslechového testu

Hodnocení zvukových záznamů probíhalo na stolním počítači s uvedenou externí zvukovou kartou a sluchátky. I přes možnost síťové funkce programu byla zvolena možnost testování každého posluchače zvlášť. Ukládání výsledků probíhalo do jednoho souboru tak, aby byla minimalizována možnost vzniku chyby při přepisování nebo kopírování. Pro všechny posluchače byla nastavena jednotná hlasitost, kterou nebylo možné v průběhu testu již měnit. Po usazení posluchače k počítači následovalo seznámení s hodnotícím programem, technickým vybavením a průběhem testu. Na pracovišti byl k dispozici ještě list papíru s instrukcemi (příloha A. 2). Každému posluchači bylo umožněno pustit si zvukové záznamy v jakémkoliv pořadí a s libovolným počtem opakování. Každý test trval v průměru 14 minut. Po ukončení prvního testu následovala asi pětiminutová pauza a následně byl proveden retest. Testy probíhaly 5. a 6. dubna 2013.

## 8 VÝSLEDKY POSLECHOVÉHO TESTU

Při vyhodnocování zvukových záznamů bylo vycházeno z praktického měření č. 1 realizovaného v kapitole 5 a postupů uvedených v odborné literatuře [1].

### 8.1 Hodnoty získané z testu

Jednotlivá čísla uvádí sloupcový součet  $R_k = \sum r_{jk}$  vypočtené pro každý objekt ( $k = 1, 2, \dots, 6$ ), tj. sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m = 15$  posluchačů.

Z uvedených tabulek lze vidět, které zvukové záznamy získaly nejlepší hodnocení a které nejhorší. Např. v Tab. 20 u testu, lze vidět, že nejlepšího hodnocení dosáhl záznam ze segmentací 4096 vzorků ( $A_{14}$ ), naopak nejhoršího hodnocení dosáhl záznam se segmentací 512 vzorků ( $A_{10,5}$ ).

Tab. 20 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Abby se SNR = 10 dB

| Sloupcový součet    | SNR   | Test       |          |          |          |          |          | Retest     |          |          |          |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     |       | $A_{10,5}$ | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_{14}$ | $A_{18}$ | $A_{16}$ | $A_{10,5}$ | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_{14}$ | $A_{18}$ | $A_{16}$ |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 78         | 55       | 40       | 30,5     | 49,5     | 62       | 80         | 51,5     | 36       | 31       | 51,5     | 65       |

Tab. 21 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Abby se SNR = 20 dB

| Sloupcový součet    | SNR   | Test       |          |          |          |          |          | Retest     |          |          |          |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     |       | $A_{20,5}$ | $A_{21}$ | $A_{22}$ | $A_{24}$ | $A_{28}$ | $A_{26}$ | $A_{20,5}$ | $A_{21}$ | $A_{22}$ | $A_{24}$ | $A_{28}$ | $A_{26}$ |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 20 dB | 54,5       | 35       | 28       | 43,5     | 72,5     | 81,5     | 56,5       | 37       | 33       | 47,5     | 64       | 77       |

Tab. 22 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Kytary se SNR = 10 dB

| Sloupcový součet    | SNR   | Test       |          |          |          |          |          | Retest     |          |          |          |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     |       | $K_{10,5}$ | $K_{11}$ | $K_{12}$ | $K_{14}$ | $K_{18}$ | $K_{16}$ | $K_{10,5}$ | $K_{11}$ | $K_{12}$ | $K_{14}$ | $K_{18}$ | $K_{16}$ |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 82         | 58       | 46       | 30       | 42       | 57       | 82,5       | 67       | 47       | 28       | 40       | 50,5     |

Tab. 23 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Kytary se SNR = 20 dB

| Sloupcový součet    | SNR   | Test       |          |          |          |          |          | Retest     |          |          |          |          |          |
|---------------------|-------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                     |       | $K_{20,5}$ | $K_{21}$ | $K_{22}$ | $K_{24}$ | $K_{28}$ | $K_{26}$ | $K_{20,5}$ | $K_{21}$ | $K_{22}$ | $K_{24}$ | $K_{28}$ | $K_{26}$ |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 20 dB | 79,5       | 48,5     | 39,5     | 32       | 51       | 64,5     | 78         | 53       | 38       | 34       | 49       | 63       |

Tab. 24 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Eddie Rabbitt se SNR = 10 dB

| Sloupcový součet    | SNR   | Test              |                 |                 |                 |                 |                  | Retest            |                 |                 |                 |                 |                  |
|---------------------|-------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                     |       | E1 <sub>0,5</sub> | E1 <sub>1</sub> | E1 <sub>2</sub> | E1 <sub>4</sub> | E1 <sub>8</sub> | E1 <sub>16</sub> | E1 <sub>0,5</sub> | E1 <sub>1</sub> | E1 <sub>2</sub> | E1 <sub>4</sub> | E1 <sub>8</sub> | E1 <sub>16</sub> |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 10 dB | 78                | 63,5            | 45              | 30,5            | 42,5            | 55,5             | 81                | 53              | 43,5            | 30              | 46,5            | 61               |

Tab. 25 Sečtená pořadí, která daný objekt získal od všech  $m$  posuzovatelů pro zvukový záznam Eddie Rabbitt se SNR = 20 dB

| Sloupcový součet    | SNR   | Test              |                 |                 |                 |                 |                  | Retest            |                 |                 |                 |                 |                  |
|---------------------|-------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                     |       | E2 <sub>0,5</sub> | E2 <sub>1</sub> | E2 <sub>2</sub> | E2 <sub>4</sub> | E2 <sub>8</sub> | E2 <sub>16</sub> | E2 <sub>0,5</sub> | E2 <sub>1</sub> | E2 <sub>2</sub> | E2 <sub>4</sub> | E2 <sub>8</sub> | E2 <sub>16</sub> |
| $R_k = \sum r_{jk}$ | 20 dB | 74,5              | 59              | 31,5            | 31              | 47,5            | 71,5             | 74                | 52              | 35              | 33              | 50              | 71               |

Veškeré získané výsledky z poslechového testu jsou umístěny v příloze D. Z Tab. 20 až Tab. 25 lze již předběžně zjistit, které zvukové záznamy byly posluchačům subjektivně nejpříjemnější. Před konečným stanovením výsledků, je nutné se ještě přesvědčit, zda se sady hodnot získané od jednotlivých osob, víceméně shodují, anebo se významně liší.

## 8.2 Kontrola shody mezi posluchači

Dle postupů uvedených v kapitole 6.2.2 je vhodné se před statistickým zpracováním výsledků přesvědčit, zda se hodnoty pořadí získaných od jednotlivých posluchačů víceméně shodují, nebo zda se významně liší. K zjištění této hodnoty slouží výpočet Kendallova koeficientu konkordance. Hodnota Kendallova koeficientu konkordance  $W$  se při absenci sloučených pořadí vypočítá dle vztahu (5.5) uvedeného v kapitole 6.2.2. V případě výskytu sloučených pořadí se tato hodnota vypočítá dle vztahu (5.9) uvedeného v kapitole 6.2.2. Pořadí  $r_{jk}$  přidělená jednotlivými posuzovateli každé ze šesti posuzovaných variant záznamů, označených symboly  $A_i, B_i, C_i, D_i, E_i, F_i$  (kde  $i = 0,5$  až 16), byla nejprve seřazena do obdélníkové matice pořadí  $15 \times 6$  jak lze vidět v Tab. D. 1 až Tab. D. 12. V některých případech je zřejmé, že posuzovatel nedokázal rozlišit rozdíl mezi kvalitou zvukových záznamů a přidělil jim sloučená pořadí. Výpočet pořadí při využití sloučené metody je uveden v kapitole 6.2.2. Součet pořadí přiřazených kterémukoli posuzovatelem všem  $n$  posuzovaných objektům musí mít vždy stejnou hodnotu, která je dána součtem aritmetické řady  $\Sigma n = 1 + 2 + 3 + \dots + n = 0,5n(1+n)$ . V uvedených maticích pořadí musí tedy mít všechny řádkové součty pořadí  $r$  hodnotu 21 [1]. Výpočtem těchto součtů si lze ověřit správnost vstupních dat do matice. V následujícím kroku se vypočte pro každý objekt ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) sloupcový počet  $R_k = \sum r_{jk}$  a následně se vypočítají kvadráty  $R_k^2$  těchto součtů. Zjištěné hodnoty  $R_k$  a  $R_k^2$  jsou dosazeny do vztahu (5.6) pro výpočet součtu čtverců odchylek. V Tab. 26 jsou uvedeny výsledky výpočtů součtů odchylek  $S$ , hodnoty Kendallova koeficientu konkordance  $W$  při absenci sloučených pořadí a hodnota Kendallova koeficientu konkordance  $W_{korig}$  při výskytu sloučených pořadí.

Tab. 26 Výsledky vypočtených hodnot  $S$ ,  $W$  a  $W_{korig}$ .

|                |               | Test |       |             | Retest |       |             |
|----------------|---------------|------|-------|-------------|--------|-------|-------------|
|                |               | $S$  | $W$   | $W_{korig}$ | $S$    | $W$   | $W_{korig}$ |
| SNR = 10<br>dB | Kytara        | 1580 | 0,510 | -           | 1901   | -     | 0,604       |
|                | Abba          | 1396 | -     | 0,443       | 1649   | -     | 0,523       |
|                | Eddie Rabbitt | 1421 | -     | 0,451       | 1508   | -     | 0,479       |
| SNR = 20<br>dB | Kytara        | 1481 | -     | 0,47        | 1326   | -     | 0,421       |
|                | Abba          | 2233 | -     | 0,709       | 1394   | -     | 0,443       |
|                | Eddie Rabbitt | 1816 | -     | 0,576       | 1498   | 0,475 | -           |

Pro zjištění statistické významnosti Kendallova koeficientu konkordance při malém počtu objektů se používá tabulka kritických hodnot skutečného rozdělení veličiny  $W$ . Tuto tabulku v zjednodušené podobě lze najít v odborné literatuře [1]. V realizovaném poslechovém testu bylo seřazováno do pořadí vždy  $n = 6$  zvukových záznamů a testu se zúčastnilo  $m = 15$  posluchačů. Z tabulky kritických hodnot [1] lze odečíst, že pro realizovaný test se  $W_{krit0,01} = 0,192$  a  $W_{krit0,05} = 0,145$ . Hodnoty  $W_{krit0,01}$  a  $W_{krit0,05}$  se porovnávají s vypočtenými hodnotami  $W$  nebo  $W_{korig}$ . Pokud je vypočtená hodnota  $W$  nebo  $W_{korig}$  mnohem větší než hodnoty  $W_{krit0,01}$  a  $W_{krit0,05}$  tak lze tvrdit, že hodnota je statisticky vysoce významná (svv) na hladině  $\alpha = 0,01$  a  $\alpha = 0,05$ . V Tab. 27 jsou uvedeny hodnoty statistické významnosti Kendallova koeficientu pro vypočítané hodnoty.

Tab. 27 Statistická významnost Kendallova koeficientu konkordance

|                |               | Test  |             |                |                | Retest |             |                |                |
|----------------|---------------|-------|-------------|----------------|----------------|--------|-------------|----------------|----------------|
|                |               | $W$   | $W_{korig}$ | $W_{krit0,01}$ | $W_{krit0,05}$ | $W$    | $W_{korig}$ | $W_{krit0,01}$ | $W_{krit0,05}$ |
| SNR = 10<br>dB | Kytara        | 0,510 | -           | svv            | svv            | 0,604  | -           | svv            | svv            |
|                | Abba          | -     | 0,443       | svv            | svv            | 0,523  | -           | svv            | svv            |
|                | Eddie Rabbitt | -     | 0,451       | svv            | svv            | 0,479  | -           | svv            | svv            |
| SNR = 20<br>dB | Kytara        | -     | 0,47        | svv            | svv            | 0,421  | -           | svv            | svv            |
|                | Abba          | -     | 0,709       | svv            | svv            | 0,443  | -           | svv            | svv            |
|                | Eddie Rabbitt | -     | 0,576       | svv            | svv            | -      | 0,475       | svv            | svv            |

Z uvedené tabulky je patrné, že veškerá získaná data jsou statisticky vysoce významná a má smysl dále s nimi počítat.

### 8.3 Stanovení výsledných pořadí podnětů

Teprve po zjištění statisticky významné hodnoty Kendallova koeficientu konkordance z matice pořadí je možné stanovit pořadí posuzovaných podnětů podle daného kritéria.

V Tab. D. 1 až Tab. D. 12 jsou sestaveny pořadové škály, které byly určeny podle velikosti součtů  $R_k = \Sigma r_{jk}$ . Výsledné pořadí je určeno tak, že zvukový podnět, který má nejmenší součet  $\Sigma r_{jk}$  má nejlepší výsledné pořadí ( $\Sigma r = 1$ ) a zvukový podnět, který má nejvyšší součet  $\Sigma r_{jk}$  má nejhorší pořadí ( $\Sigma r = 6$ ). Pro srovnání jsou v tabulkách uvedeny i hodnoty mediánů  $Me$ , aritmetických průměrů  $M$  a z nich sestavené pořadí  $r_{Me}$  a  $r_M$ . Výpočet aritmetického průměru z hodnot pořadí nepatří u ordinálních dat k povoleným operacím a neměl by být vůbec používán. Medián lze využít pro stanovení pořadí, avšak jeho stanovení bývá komplikováno přítomností dvou nebo více hodnot stejného pořadí, což znamená nutnost použít interpolaci uvnitř intervalů neznámé šířky a to už je nepovolená operace. Nejškodlivější určování výsledných pořadí objektů je tedy ze součtů jejich individuálních pořadí od všech posuzovatelů [1][10].

## 8.4 Shrnutí výsledků poslechového testu

Z poslechového testu bylo zjištěno, že délka segmentu má podstatný vliv na výsledně, subjektivně vnímanou kvalitu. Během poslechového testu bylo prokázáno, že optimální délka segmentu je 4096 vzorků s překryvem 50 %. U hodnoty SNR = 10 dB byly vzorky pro posluchače lépe rozeznatelné, než u hodnoty SNR = 20 dB, a k použití sloučených pořadí téměř nedocházelo. U zvukových záznamů, u nichž byl překryv 512 vzorků, docházelo k hudebnímu šumu (bublání). Naopak u zvukových záznamů, kde byl překryv 16384 vzorků, nedocházelo k potlačení šumu vůbec a to z důvodu velké délky segmentu.

Následující tabulky Tab. 28 až Tab. 30 uvádějí pořadí jednotlivých zarušených zvukových záznam. Jsou zde uvedeny pořadí získané při testu i retestu. Ze získaných výsledků je patrné, že v 83 % případů se jako nejpříjemnější umístil zvukový záznam s hodnotou SNR = 10 dB a segmentací délky 4096 vzorků. Zbýlých 27 % tvoří zvukový záznam s hodnotou odstupů signálu od šumu 10 dB a segmentací délky 2048 vzorků. Naopak jako nejméně příjemný záznam se v 83 % případech umístil zvukový záznam s hodnotou SNR = 10 dB a segmentací délky 512 vzorků a zbýlých 27 % tvoří záznam s hodnotou odstupů signálu od šumu 20 dB a segmentací délky 16384 vzorků. Obě hodnoty rovnající se 27 % byly získány při testu a retestu pro u zvukového záznamu Abby s hodnotou SNR = 20 dB.

Tab. 28 Výsledky pro zvukový záznam Abby

| Pořadí         |               | 1               | 2               | 3                                 | 4                                 | 5                | 6                 |
|----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|
| SNR = 10<br>dB | Objekt-test   | A1 <sub>2</sub> | A1 <sub>4</sub> | A1 <sub>8</sub>                   | A1 <sub>1</sub>                   | A1 <sub>16</sub> | A1 <sub>0,5</sub> |
|                | Objekt-retest | A1 <sub>4</sub> | A1 <sub>2</sub> | A1 <sub>1</sub> / A1 <sub>8</sub> | A1 <sub>1</sub> / A1 <sub>8</sub> | A1 <sub>16</sub> | A1 <sub>0,5</sub> |
| SNR = 20<br>dB | Objekt-test   | A2 <sub>2</sub> | A2 <sub>1</sub> | A2 <sub>4</sub>                   | A2 <sub>0,5</sub>                 | A2 <sub>8</sub>  | A2 <sub>16</sub>  |
|                | Objekt-retest | A2 <sub>2</sub> | A2 <sub>1</sub> | A2 <sub>4</sub>                   | A2 <sub>0,5</sub>                 | A2 <sub>8</sub>  | A2 <sub>16</sub>  |

Tab. 29 Výsledky pro zvukový záznam Kytary

| Pořadí         |               | 1               | 2               | 3               | 4                | 5                | 6                 |
|----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| SNR = 10<br>dB | Objekt-test   | K1 <sub>4</sub> | K1 <sub>8</sub> | K1 <sub>2</sub> | K1 <sub>16</sub> | K1 <sub>1</sub>  | K1 <sub>0,5</sub> |
|                | Objekt-retest | K1 <sub>4</sub> | K1 <sub>8</sub> | K1 <sub>2</sub> | K1 <sub>16</sub> | K1 <sub>1</sub>  | K1 <sub>0,5</sub> |
| SNR = 20<br>dB | Objekt-test   | K2 <sub>4</sub> | K2 <sub>2</sub> | K2 <sub>1</sub> | K2 <sub>8</sub>  | K2 <sub>16</sub> | K2 <sub>0,5</sub> |
|                | Objekt-retest | K2 <sub>4</sub> | K2 <sub>2</sub> | K2 <sub>1</sub> | K2 <sub>8</sub>  | K2 <sub>16</sub> | K2 <sub>0,5</sub> |

Tab. 30 Výsledky pro zvukový záznam Eddie Rabbitt

| Pořadí         |               | 1               | 2               | 3               | 4                | 5                | 6                 |
|----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| SNR = 10<br>dB | Objekt-test   | E1 <sub>4</sub> | E1 <sub>8</sub> | E1 <sub>2</sub> | E1 <sub>16</sub> | E1 <sub>1</sub>  | E1 <sub>0,5</sub> |
|                | Objekt-retest | E1 <sub>4</sub> | E1 <sub>8</sub> | E1 <sub>2</sub> | E1 <sub>16</sub> | E1 <sub>1</sub>  | E1 <sub>0,5</sub> |
| SNR = 20<br>dB | Objekt-test   | E2 <sub>4</sub> | E2 <sub>2</sub> | E2 <sub>8</sub> | E2 <sub>1</sub>  | E2 <sub>16</sub> | E2 <sub>0,5</sub> |
|                | Objekt-retest | E2 <sub>4</sub> | E2 <sub>2</sub> | E2 <sub>8</sub> | E2 <sub>1</sub>  | E2 <sub>16</sub> | E2 <sub>0,5</sub> |

## 8.5 Výsledky z dotazníku

Každému posluchači byl předložen dotazník obsahující 4 otázky týkající se hodnocení zvukových záznamů. Znění tohoto dotazníku je uvedeno v příloze A.3. Jeho vyhodnocení dopadlo následovně:

- 55 % dotázaných uvedlo, že předložené zvukové záznamy byly spíše rozeznatelné, 45 % posluchačů uvedlo, že zvukové záznamy byly snadno rozeznatelné.
- 100 % posluchačů tvrdilo, že nebyli vyrušováni žádným okolním hlukem.
- 90 % posluchačů uvedlo, že mají průměrný sluch, 10 % že má sluch podprůměrný.
- Všichni dotázaní se shodli na tom, že své hodnocení v experimentu považují za objektivní a platné.

## 9 ZÁVĚR

Náplní této bakalářské práce bylo zkoumání vlivu aditivního šumu pozadí v zarušených audio záznamech na výsledné, subjektivně vnímané, zvukové kvalitě.

První část práce je zaměřena na základní pojmy, které se používají v psychoakustice a v psychoakustickém experimentu. Jsou zde obsaženy různé typy škálování dle Stevensova hierarchického systému a vazby mezi nimi. V následující kapitole je rozebrána problematika psychologických metod měření používaných v psychoakustice. Jsou zde formulovány jednotlivé cíle měřících metod, Guilfordovo třídění a škálování psychologických metod a také stručné porovnání jednotlivých psychologických metod.

Prvním bodem zadání bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou hodnotící škálu. Jako vhodná hodnotící škála byla zvolena pořadová škála. Tento bod zadání je obsažen a splněn v kapitole 2.2.2.

Druhým bodem zadání bylo zvolit vhodnou databázi zarušených audio záznamů a provést sérii poslechových testů. Audio záznamy byly vybírány z databáze EBU a jako vhodné byly zvoleny záznamy Kytary, Abby, Eddiho Rabbitta a Mozarta. Zarušení audio signálů u prvního poslechového testu bylo realizováno pomocí různých hodnot SNR a změnou segmentace (pevná, Greedy selection, Maximum greedy selection). U druhého poslechového testu bylo toto zarušení realizováno změnou SNR, měnění se délkou segmentace a prahováním pomocí Wienerova filtru. První poslechový test byl uskutečněn v rámci semestrálního projektu a druhý v rámci bakalářské práce. Testování zvukových záznamů probíhalo ve vytvořeném programovém prostředí. Tento bod zadání je splněn v kapitole 5 a 7.

Třetím bodem zadání bylo získat subjektivní hodnocení míry zarušení aditivním šumem. Jako vhodná psychologická metoda byla zvolena metoda seřazování zvukových podnětů do pořadí. Upravené zvukové záznamy byly pomocí programového vybavení předloženy posluchačům, jež měli za úkol ohodnotit zvukové záznamy dle subjektivního pocitu příjemnosti. Souhrn získaných výsledků z prvního poslechového testu je uveden v kapitole 6.1, z druhého poslechového testu pak v kapitole 8.1. Kompletní tabulky získaných odpovědí lze nalézt v příloze C a D.

Posledním bodem zadání byla statistická analýza získaných výsledků a jejich interpretace. Ze získaných výsledků bylo nejprve nutné zjistit spolehlivost měření skupiny posluchačů. Tento krok je uveden v kapitolách 6.2.2 a 8.2.

Díky provedeným statistickým výpočtům bylo zjištěno, že zvukové záznamy s hodnotou SNR = 30 dB nelze považovat za statisticky významné a nelze s nimi nadále počítat. Po vyřazení těchto zvukových záznamů bylo vypočítáno, že jako nejpříjemnější segmentace je Maximum greedy selection (Metoda 3) a jako nejméně příjemná segmentace Greedy selection (Metoda 2).

Z Tab. C. 1 až Tab. C. 18 je patrné, že pro SNR = 10 dB, při zohlednění výsledků z testu a retestu, byl nejlépe hodnocen zvukový záznam Abby s kazetovým šumem. Pro SNR = 20 dB byl subjektivně nejpříjemnější záznam Mozarta se šumem z ventilátoru.

V rámci druhého hodnocení zvukových záznamů bylo vycházeno ze zkušeností získaných při prvním poslechovém testu. Druhý poslechový test se lišil zejména v použitých záznamech, jejich délkách a průběhu poslechového testu. Díky těmto opatřením lze u druhého poslechového testu jednoznačně prokázat, který aditivní šum pozadí byl posluchačům nepříjemnější a který nejméně příjemný. Přehledný souhrn výsledků je uveden v kapitole 8.4.

# LITERATURA

- [1] MELKA, A. *Základy experimentální psychoakustiky*. 1. vyd. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2005. 327 s. ISBN 8073310430
- [2] ŠPETA, M. *Programová implementace subjektivních testů zvukové kvality*. Brno: VUT v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Rášo.
- [3] KOVAŘÍK, T. *Řízení poslechových testů pro subjektivní hodnocení kvality audio signálu*. Brno: VUT v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2012. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Rášo.
- [4] BŘICHÁČEK, V. *Úvod do psychologického škálování*. Vyd. 1. Bratislava : Psychodiagnostické a didaktické testy, 1978. 321 s.
- [5] GUILFORD, J. P. *Psychometric methods*. 2nd Edition. McGraw-Hill, New York 1954.
- [6] KADLEC, V. *Učíme se programovat v C++ Builder a jazyce C++*. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80-7226-550-4.
- [7] EDWARDS, A. L.: *Statistical methods*. 2nd Edition. Holt, Rinehart and Winston, New York 1967.
- [8] *Sound Quality Assessment Material recordings for subjective tests* [online]. 2008 . 2012 [cit. 13. 5. 2012]. Dostupné z URL: <<http://tech.ebu.ch/publications/sqamcd>>
- [9] Geist, B.: *Psychologický slovník*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství Vodnář 2000. ISBN 8086226077
- [10] HENDRIKS, R.C., HEUSDENS R. a JENSEN J. Adaptive Time Segmentation for Improved Speech Enhancement. *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing* [online]. 2006, roč. 14, č. 6, s. 2064–2074 [cit. 2012–12–11]. ISSN 1558–7916. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1709895>
- [11] OPRŠAL, P. *Zvýrazňování řeči na bázi transformace wavelet* [online]. Ostrava: VŠB-TU 2006. [cit. 13. 5. 2012]. Dostupné z URL: <http://p007.webpark.cz/se/>
- [12] HUDEC A. *Spektrální odečítání v signálovém procesoru*. Brno: VUT v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2010. 46 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Sysel, Ph. D.
- [13] RUDOY, D.; BASU, P.; QUATIERI, T. F.; DUNN, B.; WOLFE, P. J.; Adaptive Short-Time Analysis-Synthesis For Speech Enhancement, International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing - ICASSP , s. 4905-4908, 2008
- [14] RÁŠO, O. *Objektivní měření a potlačování šumu v hudebním signálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 148 s. Vedoucí disertační práce Ing. Miroslav Balík, Ph.D.
- [15] NEČADOVÁ, A. *Segmentace EEG signálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2012 29 s., 7 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Vladimíra Kubicová.

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

|                  |                                                           |
|------------------|-----------------------------------------------------------|
| GUI              | Graphical User Interface – Grafické uživatelské prostředí |
| $p$              | Spearmanův koeficient pořadové korelace                   |
| $r$              | Pearsonův koeficient korelace                             |
| SNR              | Odstup signálu od šumu – Signal to Noise Ratio            |
| $sv$             | Stupeň volnosti                                           |
| $W$              | Kendallův koeficient korelace                             |
| $\alpha$         | Hladina významnosti                                       |
| $\chi^2$         | Testové kritérium                                         |
| $m$              | Počet posluchačů                                          |
| $n$              | Počet zvukových záznamů                                   |
| $r_{jk}$         | Pořadí přidělená jednotlivými posuzovateli                |
| $M$              | Aritmetický průměr                                        |
| $Me$             | Medián                                                    |
| $S_j, S_k$       | Označení zvukových podnětů                                |
| $S_v$            | Variabilní podnět                                         |
| $S_s$            | Standartní podnět                                         |
| MDS              | Multidimenzionální škálování                              |
| $R_A$            | Pořadová hodnota                                          |
| $a$              | Počet posuzovaných škál                                   |
| $k$              | Počet opakování měření                                    |
| EBU              | European Broadcasting Union                               |
| dB               | Decibel                                                   |
| $N$              | Počet členů                                               |
| $r_{TR}$         | Koeficient korelace                                       |
| $H_0$            | Nulová hypotéza                                           |
| $t_{krit\alpha}$ | Kritická hodnota                                          |
| $R_k$            | Součet pořadí                                             |
| $\Sigma$         | Suma                                                      |
| svv              | Statisticky vysoce významná data                          |
| STFT             | Short-time Fourier transform                              |

# SEZNAM PŘÍLOH

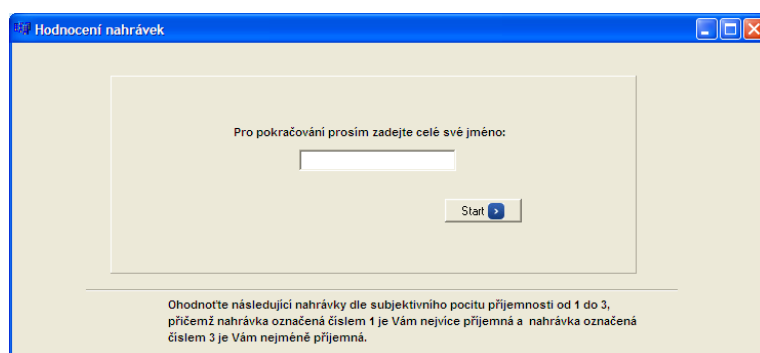
|          |                                               |           |
|----------|-----------------------------------------------|-----------|
| <b>A</b> | <b>Příloha k poslechovému testu</b>           | <b>57</b> |
| A.1      | Instrukce k poslechovému testu č. 1 .....     | 57        |
| A.2      | Instrukce k poslechovému testu č. 2 .....     | 59        |
| <b>B</b> | <b>Dotazník</b>                               | <b>60</b> |
| B.1      | Znění dotazníku .....                         | 60        |
| <b>C</b> | <b>Data získaná z praktického měření č. 1</b> | <b>61</b> |
| C.1      | Data z testu.....                             | 61        |
| C.2      | Data z retestu .....                          | 65        |
| <b>D</b> | <b>Data získaná z praktického měření č. 2</b> | <b>70</b> |
| D.1      | Data z testu.....                             | 70        |
| D.2      | Data z retestu .....                          | 76        |

# A PŘÍLOHA K POSLECHOVÉMU TESTU

V následující příloze jsou uvedeny instrukce, které měl každý posluchač k dispozici na svém pracovišti. Tyto instrukce sloužily k seznámení s programem a pochopení principu hodnocení zvukových záznamů v testu. List s instrukcemi byl zvolen z důvodu, aby nedošlo k nepřesnostem během testu nebo špatnému pochopení zadání ze strany posluchačů

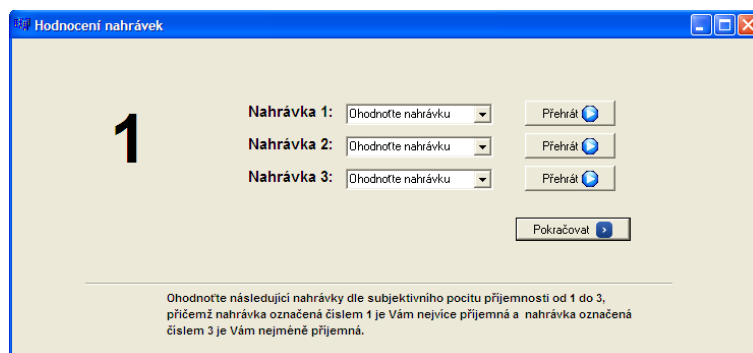
## A.1 Instrukce k poslechovému testu č. 1

Cílem tohoto experimentu je ohodnocení kvality zvukových záznamů dle subjektivního pocitu příjemnosti od 1 do 3, přičemž záznam který označíte číslem 1 je Vám nejvíce příjemný a záznam který označíte číslem 3 je Vám nejméně příjemný. Experiment obsahuje tři druhy zvukových záznamů a to Guitar, Mozart a Eddie Rabbitt. Grafické rozhraní experimentu je zobrazeno na obr. A1



Obr. A. 1 Úvodní obrazovka programu

Při spuštění programu je nutné nejdříve zadat Vaše jméno a příjmení jak vidíme na Obr. A. 1.

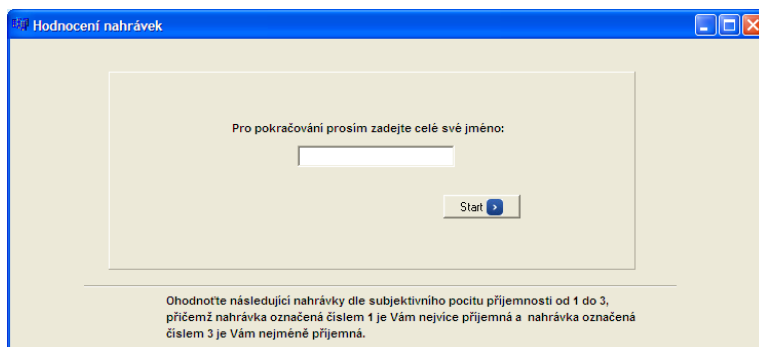


Obr. A. 2 Průběh samotného hodnocení

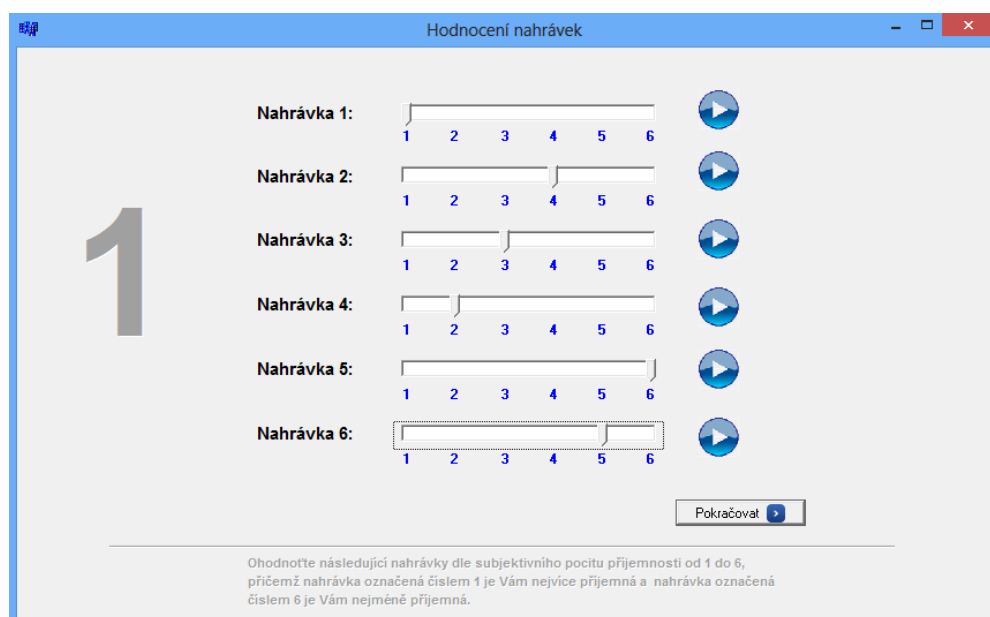
Po zadání jména a příjmení se Vám zobrazí už hodnotící program, kde lze pomocí rolovacího menu vybrat Vaši volbu pro hodnocení. Číslo lze do řádku i vepisovat pomocí klávesnice.

## A.2 Instrukce k poslechovému testu č. 2

Cílem tohoto experimentu je ohodnocení kvality zvukových záznamů dle subjektivního pocitu příjemnosti od 1 do 6, přičemž záznam který označíte číslem 1 je Vám nejvíce příjemný a záznam který označíte číslem 6 je Vám nejméně příjemný. Experiment obsahuje tři druhy zvukových záznamů a to Kytara, Abba a Eddie Rabbitt. Pro spuštění hodnocení je nutné nejdříve zadat jméno a příjmení.



Obr. A. 3 Úvodní obrazovka programu



Obr. A. 4 Hodnotící obrazovka programu

Po zadání jména a příjmení se Vám zobrazí už hodnotící program, kde lze pomocí jezdce vybrat Vaši volbu pro hodnocení. Grafické rozhraní lze vidět na Obr. A. 4.

## B DOTAZNÍK

Aby bylo možné zjistit pocity a spokojenost posluchačů během testu, byl pro každého posluchače připraven list papíru s přichystanými otázkami. Odpovědi na otázky přispěli k lepší přípravě druhého poslechového testu.

### B.1 Znění dotazníku

Datum:

Jméno:

Kolik je Vám let?

Odpovězte prosím na následující otázky.

Byly zvukové záznamy, které jste seřazovali do pořadí, od sebe snadno rozeznatelné?

- ☐ Ano
- ☐ Spíše ano
- ☐ Ne
- ☐ Spíše ne

Okolní hluk při měření:

- ☐ Žádný jsem nepostřehl/a
- ☐ Výrazně mě nevyrušoval
- ☐ Trochu mě vyrušoval

Jakou známkou byste ohodnotil/a svůj sluch:

- ☐ Nadprůměrný
- ☐ Průměrný
- ☐ Podprůměrný

Považujete svoje hodnocení v experimentu za objektivní a platné?

- ☐ Ano, vše jsem ohodnotil/a podle svého nejlepšího úsudku
- ☐ Ne, jsem si vědom/a, že jsem minimálně jednou špatně odpověděl
- ☐ Jiná odpověď (uveďte)

# C DATA ZÍSKANÁ Z PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ Č. 1

## C.1 Data z testu

Tab. C. 1 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam kytary pro SNR = 10 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 3        | 1        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 2        | 3        | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 3        | 1        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 2        | 3        | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2        | 3        | 1        | 5                         | 2        | 3        | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 2        | 3        | 1        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 20       | 30       | 10       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 20       | 30       | 10       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 400      | 900      | 100      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 400      | 900      | 100      |

Tab. C. 2 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam Mozart pro SNR = 10 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 3        | 1        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 2        | 3        | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 3        | 1        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 2        | 3        | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2        | 3        | 1        | 5                         | 2        | 3        | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 2        | 3        | 1        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 20       | 30       | 10       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 20       | 30       | 10       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 400      | 900      | 100      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 400      | 900      | 100      |

Tab. C. 3 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam Abba pro SNR = 10 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 3        | 1        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 2        | 3        | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 3        | 1        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 2        | 3        | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2        | 3        | 1        | 5                         | 2        | 3        | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 2        | 3        | 1        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 20       | 30       | 10       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 20       | 30       | 10       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 400      | 900      | 100      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 400      | 900      | 100      |

Tab. C. 4 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam kytary pro SNR = 20 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 1        | 2        | 3        | 1                         | 1        | 2        | 3        |
| 2                         | 1        | 2        | 3        | 2                         | 1        | 3        | 2        |
| 3                         | 1        | 3        | 2        | 3                         | 1        | 3        | 2        |
| 4                         | 1,5      | 3        | 1,5      | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 1        | 2        | 3        | 5                         | 1        | 3        | 2        |
| 6                         | 1        | 2        | 3        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 1        | 3        | 2        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 1        | 2        | 3        | 8                         | 2        | 2        | 2        |
| 9                         | 2        | 2        | 2        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 1        | 3        | 2        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 11,5     | 24       | 24,5     | $R_k = \sum r_{jk}$       | 16       | 28       | 16       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 132,25   | 576      | 600,25   | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 256      | 784      | 256      |

Tab. C. 5 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam Mozart pro SNR = 20 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 3        | 2        | 1        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 2        | 3        | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 3        | 1        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2        | 3        | 1        | 5                         | 2        | 3        | 1        |
| 6                         | 1        | 3        | 2        | 6                         | 1        | 3        | 2        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 1        | 3        | 2        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 1        | 3        | 2        | 9                         | 1,5      | 3        | 1,5      |
| 10                        | 2,5      | 2,5      | 1        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 19       | 28       | 13       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 18,5     | 30       | 11,5     |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 361      | 784      | 169      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 342,25   | 900      | 132,25   |

Tab. C. 6 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam Abba pro SNR = 20 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 1                         | 1        | 2        | 3        |
| 2                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 2        | 2        | 3                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 4                         | 2        | 3        | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2        | 1        | 3        | 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 1        | 2        | 3        |
| 7                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 7                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 3        | 2        | 1        |
| 10                        | 2,5      | 2,5      | 1        | 10                        | 1        | 3        | 2        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 22       | 25       | 13       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 19,5     | 25,5     | 15       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 484      | 625      | 169      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 380,25   | 650,25   | 225      |

Tab. C. 7 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam kytary pro SNR = 30 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 2        | 2        | 1                         | 2        | 2        | 2        |
| 2                         | 1        | 2,5      | 2,5      | 2                         | 1        | 2,5      | 2,5      |
| 3                         | 2        | 2        | 2        | 3                         | 1,5      | 1,5      | 3        |
| 4                         | 2        | 2        | 2        | 4                         | 1,5      | 3        | 1,5      |
| 5                         | 1,5      | 1,5      | 3        | 5                         | 1        | 2,5      | 2,5      |
| 6                         | 2        | 2        | 2        | 6                         | 1,5      | 1,5      | 3        |
| 7                         | 2        | 2        | 2        | 7                         | 2        | 2        | 2        |
| 8                         | 2        | 2        | 2        | 8                         | 2        | 2        | 2        |
| 9                         | 2        | 2        | 2        | 9                         | 2        | 2        | 2        |
| 10                        | 1,5      | 1,5      | 3        | 10                        | 2        | 2        | 2        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 18       | 19,5     | 22,5     | $R_k = \sum r_{jk}$       | 16,5     | 21       | 22,5     |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 324      | 380,25   | 506,25   | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 272,25   | 441      | 506,25   |

Tab. C. 8 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam Mozart pro SNR = 30 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 2        | 2        | 1                         | 2        | 2        | 2        |
| 2                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 2                         | 2        | 2        | 2        |
| 3                         | 2        | 2        | 2        | 3                         | 2        | 2        | 2        |
| 4                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 4                         | 2        | 2        | 2        |
| 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 5                         | 1,5      | 3        | 1,5      |
| 6                         | 2        | 2        | 2        | 6                         | 2        | 2        | 2        |
| 7                         | 2        | 2        | 2        | 7                         | 2        | 2        | 2        |
| 8                         | 2        | 2        | 2        | 8                         | 2        | 2        | 2        |
| 9                         | 1,5      | 3        | 1,5      | 9                         | 2        | 2        | 2        |
| 10                        | 1,5      | 3        | 1,5      | 10                        | 2        | 2        | 2        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 20,5     | 23,5     | 16       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 19,5     | 21       | 19,5     |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 420,25   | 552,25   | 256      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 380,25   | 441      | 380,25   |

Tab. C. 9 Odpovědi posluchačů získané při testu pro zvukový záznam Abba pro SNR = 30 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 2        | 2        | 1                         | 2        | 2        | 2        |
| 2                         | 2        | 2        | 2        | 2                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 3                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 3                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 4                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 4                         | 1        | 2,5      | 2,5      |
| 5                         | 3        | 1,5      | 1,5      | 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 6                         | 1        | 2,5      | 2,5      | 6                         | 3        | 1,5      | 1,5      |
| 7                         | 2        | 2        | 2        | 7                         | 2        | 2        | 2        |
| 8                         | 2        | 2        | 2        | 8                         | 2        | 2        | 2        |
| 9                         | 2        | 2        | 2        | 9                         | 2        | 2        | 2        |
| 10                        | 2        | 2        | 2        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 21       | 21       | 18       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 21,5     | 22,5     | 16       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 441      | 441      | 324      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 462,25   | 506,25   | 256      |

## C.2 Data z retestu

Tab. C. 10 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam kytary pro SNR = 10 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 3        | 1        | 1                         | 3        | 2        | 1        |
| 2                         | 2        | 3        | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 3        | 1        | 3                         | 1,5      | 3        | 1,5      |
| 4                         | 1        | 2,5      | 2,5      | 4                         | 1        | 2,5      | 2,5      |
| 5                         | 1        | 3        | 2        | 5                         | 2        | 3        | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 1,5      | 3        | 1,5      | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 17,5     | 29,5     | 13       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 19,5     | 28,5     | 12       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 306,25   | 870,25   | 169      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 380,25   | 812,25   | 144      |

Tab. C. 11 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam Mozart pro SNR = 10 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 3        | 1        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 2        | 3        | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 3        | 1        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2        | 3        | 1        | 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 2        | 3        | 1        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 20,5     | 29,5     | 10       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 20,5     | 29,5     | 10       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 420,25   | 870,25   | 100      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 420,25   | 870,25   | 100      |

Tab. C. 12 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam Abba pro SNR = 10 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 3        | 2        | 1        | 2                         | 3        | 2        | 1        |
| 3                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 2        | 3        | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 3        | 2        | 1        | 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 3        | 2        | 1        |
| 10                        | 2        | 3        | 1        | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 23       | 27       | 10       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 22,5     | 27,5     | 10       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 529      | 729      | 100      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 506,25   | 756,25   | 100      |

Tab. C. 13 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam kytary pro SNR = 20 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 1        | 2        | 3        | 1                         | 1        | 2        | 3        |
| 2                         | 1        | 2        | 3        | 2                         | 1        | 3        | 2        |
| 3                         | 1        | 3        | 2        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 1,5      | 3        | 1,5      | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 1        | 2,5      | 2,5      | 5                         | 2        | 3        | 1        |
| 6                         | 1        | 3        | 2        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 1        | 2        | 3        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 1,5      | 3        | 1,5      | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 13       | 26,5     | 20,5     | $R_k = \sum r_{jk}$       | 18       | 29       | 13       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 169      | 702,25   | 420,25   | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 324      | 841      | 169      |

Tab. C. 14 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam Mozart pro SNR = 20 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 2        | 2        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 1,5      | 3        | 1,5      | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2        | 3        | 1        | 3                         | 2        | 3        | 1        |
| 4                         | 2        | 3        | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2        | 3        | 1        | 5                         | 2        | 3        | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 1        | 3        | 2        |
| 7                         | 2        | 3        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 1        | 3        | 2        | 9                         | 1,5      | 3        | 1,5      |
| 10                        | 2        | 3        | 1        | 10                        | 2,5      | 2,5      | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 19       | 28,5     | 12,5     | $R_k = \sum r_{jk}$       | 19       | 29,5     | 11,5     |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 361      | 812,25   | 156,25   | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 361      | 870,25   | 132,25   |

Tab. C. 15 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam Abba pro SNR = 20 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 3        | 1        | 1                         | 2        | 3        | 1        |
| 2                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 2                         | 2        | 3        | 1        |
| 3                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 3                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 4                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 4                         | 2        | 3        | 1        |
| 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 6                         | 2        | 3        | 1        | 6                         | 2        | 3        | 1        |
| 7                         | 3        | 2        | 1        | 7                         | 2        | 3        | 1        |
| 8                         | 2        | 3        | 1        | 8                         | 2        | 3        | 1        |
| 9                         | 2        | 3        | 1        | 9                         | 2        | 3        | 1        |
| 10                        | 2        | 3        | 1        | 10                        | 1        | 3        | 2        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 23       | 27       | 10       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 20       | 29       | 11       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 529      | 729      | 100      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 400      | 841      | 121      |

Tab. C. 16 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam kytary pro SNR = 30 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 2        | 2        | 1                         | 2        | 2        | 2        |
| 2                         | 2        | 2        | 2        | 2                         | 2        | 2        | 2        |
| 3                         | 1        | 2        | 3        | 3                         | 2        | 2        | 2        |
| 4                         | 2        | 2        | 2        | 4                         | 2        | 2        | 2        |
| 5                         | 1,5      | 1,5      | 3        | 5                         | 1,5      | 1,5      | 3        |
| 6                         | 1,5      | 1,5      | 3        | 6                         | 1,5      | 1,5      | 3        |
| 7                         | 1,5      | 1,5      | 3        | 7                         | 2        | 2        | 2        |
| 8                         | 2        | 2        | 2        | 8                         | 2        | 2        | 2        |
| 9                         | 2        | 2        | 2        | 9                         | 2        | 2        | 2        |
| 10                        | 2        | 2        | 2        | 10                        | 2        | 2        | 2        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 17,5     | 18,5     | 24       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 19       | 19       | 22       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 306,25   | 342,25   | 576      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 361      | 361      | 484      |

Tab. C. 17 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam Mozart pro SNR = 30 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 2        | 2        | 1                         | 2        | 2        | 2        |
| 2                         | 2        | 2        | 2        | 2                         | 2        | 2        | 2        |
| 3                         | 2        | 2        | 2        | 3                         | 2        | 2        | 2        |
| 4                         | 2        | 2        | 2        | 4                         | 2        | 2        | 2        |
| 5                         | 1,5      | 3        | 1,5      | 5                         | 3        | 1,5      | 1,5      |
| 6                         | 2        | 2        | 2        | 6                         | 2        | 2        | 2        |
| 7                         | 2        | 2        | 2        | 7                         | 1,5      | 3        | 1,5      |
| 8                         | 2        | 2        | 2        | 8                         | 2        | 2        | 2        |
| 9                         | 2        | 2        | 2        | 9                         | 2        | 2        | 2        |
| 10                        | 1,5      | 3        | 1,5      | 10                        | 2        | 2        | 2        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 19       | 22       | 19       | $R_k = \sum r_{jk}$       | 20,5     | 20,5     | 19       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 361      | 484      | 361      | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 420,25   | 420,25   | 361      |

Tab. C. 18 Odpovědi posluchačů získané při retestu pro zvukový záznam Abba pro SNR = 30 dB

| šum kazety                |          |          |          | šum ventilátoru           |          |          |          |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------|
| Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 | Posluchač č.              | Metoda 1 | Metoda 2 | Metoda 3 |
| 1                         | 2        | 2        | 2        | 1                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 2                         | 2        | 2        | 2        | 2                         | 2        | 2        | 2        |
| 3                         | 2        | 2        | 2        | 3                         | 2,5      | 2,5      | 1        |
| 4                         | 2        | 2        | 2        | 4                         | 2        | 2        | 2        |
| 5                         | 2,5      | 2,5      | 1        | 5                         | 1        | 3        | 2        |
| 6                         | 2,5      | 1        | 2,5      | 6                         | 1,5      | 1,5      | 3        |
| 7                         | 2        | 2        | 2        | 7                         | 2        | 2        | 2        |
| 8                         | 2        | 2        | 2        | 8                         | 2        | 2        | 2        |
| 9                         | 3        | 1,5      | 1,5      | 9                         | 2        | 2        | 2        |
| 10                        | 1,5      | 3        | 1,5      | 10                        | 2        | 3        | 1        |
| $R_k = \sum r_{jk}$       | 21,5     | 20       | 18,5     | $R_k = \sum r_{jk}$       | 19,5     | 22,5     | 18       |
| $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 462,25   | 400      | 342,25   | $R_k^2 = (\sum r_{jk})^2$ | 380,25   | 506,25   | 324      |

## D DATA ZÍSKANÁ Z PRAKTICKÉHO MĚŘENÍ Č. 2

### D.1 Data z testu

Tab. D. 1 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Abby při testu SNR = 10 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | A1 <sub>0,5</sub> | A1 <sub>1</sub> | A1 <sub>2</sub> | A1 <sub>4</sub> | A1 <sub>8</sub> | A1 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 6                 | 2               | 1               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 3                           | 2                 | 1               | 6               | 5               | 4               | 3                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |
| 5                           | 6                 | 4               | 3               | 1               | 2               | 5                | 21                 |
| 6                           | 2                 | 3               | 1               | 4               | 6               | 5                | 21                 |
| 7                           | 6                 | 2               | 3               | 1               | 4               | 5                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 1               | 2               | 4               | 3                | 21                 |
| 9                           | 6                 | 2               | 1               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 5               | 3               | 1,5             | 1,5             | 4                | 21                 |
| 11                          | 6                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 5                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 14                          | 2                 | 3               | 6               | 1               | 5               | 4                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 5               | 4               | 3               | 1               | 2                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 78                | 55              | 40              | 30,5            | 49,5            | 62               | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6084              | 3025            | 1600            | 930,3           | 2450            | 3844             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 4               | 3               | 1,5             | 4               | 4                | 22,5               |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 4               | 2               | 1               | 4               | 4                | 21                 |
| $M$                         | 5,2               | 3,667           | 2,667           | 2,033           | 3,3             | 4,133            | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 3               | 2               | 1               | 3               | 5                | 20                 |

Tab. D. 2 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Abby při testu SNR = 20 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | A2 <sub>0,5</sub> | A2 <sub>1</sub> | A2 <sub>2</sub> | A2 <sub>4</sub> | A2 <sub>8</sub> | A2 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | 21                 |
| 2                           | 2                 | 3               | 1               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 3                           | 1                 | 2               | 4               | 3               | 6               | 5                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 1               | 2               | 3               | 5               | 4                | 21                 |
| 5                           | 5                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 6                | 21                 |
| 6                           | 2                 | 1               | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 7                           | 4                 | 1               | 3               | 2               | 5,5             | 5,5              | 21                 |
| 8                           | 3,5               | 2               | 1               | 3,5             | 5               | 6                | 21                 |
| 9                           | 3                 | 1               | 2               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 4               | 1               | 2               | 3               | 5                | 21                 |
| 11                          | 5                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 6                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 13                          | 1                 | 2               | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 14                          | 4                 | 2               | 1               | 3               | 6               | 5                | 21                 |
| 15                          | 2                 | 3               | 1               | 4               | 6               | 5                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 54,5              | 35              | 28              | 43,5            | 72,5            | 81,5             | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 2970              | 1225            | 784             | 1892            | 5256            | 6642             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 4                 | 2               | 2               | 3               | 5               | 6                | 22                 |
| $r_{Me}$                    | 4                 | 1,5             | 1,5             | 3               | 5               | 6                | 21                 |
| $M$                         | 3,633             | 2,333           | 1,867           | 2,9             | 4,833           | 5,433            | 21                 |
| $r_M$                       | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | 21                 |

Tab. D. 3 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Kytary při testu SNR = 10 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | K1 <sub>0,5</sub> | K1 <sub>1</sub> | K1 <sub>2</sub> | K1 <sub>4</sub> | K1 <sub>8</sub> | K1 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 6                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 5                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 3                           | 2                 | 1               | 6               | 4               | 3               | 5                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 5                           | 3                 | 1               | 2               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 6                           | 6                 | 4               | 3               | 2               | 1               | 5                | 21                 |
| 7                           | 6                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 5                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 1               | 2               | 4               | 3                | 21                 |
| 9                           | 6                 | 3               | 4               | 1               | 2               | 5                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 11                          | 6                 | 4               | 5               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 13                          | 5                 | 4               | 6               | 3               | 2               | 1                | 21                 |
| 14                          | 6                 | 5               | 1               | 2               | 4               | 3                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 5               | 4               | 3               | 1               | 2                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 82                | 58              | 46              | 30              | 42              | 57               | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6724              | 3364            | 2116            | 900             | 1764            | 3249             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 4               | 3               | 2               | 3               | 4                | 22                 |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 4,5             | 2,5             | 1               | 2,5             | 4,5              | 21                 |
| $M$                         | 5,467             | 3,867           | 3,067           | 2               | 2,8             | 3,8              | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |

Tab. D. 4 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Kytary při testu SNR = 20 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | K2 <sub>0,5</sub> | K2 <sub>1</sub> | K2 <sub>2</sub> | K2 <sub>4</sub> | K2 <sub>8</sub> | K2 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 6                 | 1               | 2               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 3                           | 3                 | 1               | 2               | 4               | 6               | 5                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 1               | 2               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 5                           | 1,5               | 1,5             | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 6                           | 4                 | 2,5             | 1               | 2,5             | 5               | 6                | 21                 |
| 7                           | 5                 | 1               | 2,5             | 2,5             | 4               | 6                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 4,5             | 3               | 1               | 2               | 4,5              | 21                 |
| 9                           | 6                 | 2               | 1               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 11                          | 6                 | 5               | 1               | 2               | 4               | 3                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 14                          | 6                 | 4               | 3               | 2               | 1               | 5                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 5               | 3               | 1               | 4               | 2                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 79,5              | 48,5            | 39,5            | 32              | 51              | 64,5             | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6320              | 2352            | 1560            | 1024            | 2601            | 4160             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 5                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 4               | 3               | 2               | 4               | 5                | 24                 |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 3,5             | 2               | 1               | 3,5             | 5                | 21                 |
| $M$                         | 5,3               | 3,233           | 2,633           | 2,133           | 3,4             | 4,3              | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 5                | 21                 |

Tab. D. 5 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Eddie Rabbitt při testu SNR = 10 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | E1 <sub>0,5</sub> | E1 <sub>1</sub> | E1 <sub>2</sub> | E1 <sub>4</sub> | E1 <sub>8</sub> | E1 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 6                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 5                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 2               | 1               | 3                | 21                 |
| 3                           | 2                 | 3               | 1               | 6               | 4               | 5                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |
| 5                           | 1                 | 2               | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 6                           | 5                 | 6               | 1               | 2               | 3               | 4                | 21                 |
| 7                           | 6                 | 5               | 4               | 2               | 1               | 3                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 9                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 5               | 3,5             | 1,5             | 3,5             | 1,5              | 21                 |
| 11                          | 6                 | 3               | 2               | 4               | 1               | 5                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 14                          | 4                 | 2               | 1               | 3               | 6               | 5                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 4,5             | 4,5             | 1               | 3               | 2                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 78                | 63,5            | 45              | 30,5            | 42,5            | 55,5             | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6084              | 4032            | 2025            | 930,3           | 1806            | 3080             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 5               | 3,5             | 1               | 2               | 3                | 20,5               |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| $M$                         | 5,2               | 4,233           | 3               | 2,033           | 2,833           | 3,7              | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |

Tab. D. 6 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Eddie Rabbitt při testu SNR = 20 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | E2 <sub>0,5</sub> | E2 <sub>1</sub> | E2 <sub>2</sub> | E2 <sub>4</sub> | E2 <sub>8</sub> | E2 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 3                           | 2                 | 3               | 1               | 5               | 4               | 6                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 5                           | 5,5               | 3               | 1               | 2               | 4               | 5,5              | 21                 |
| 6                           | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 7                           | 3                 | 2               | 1               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 1               | 2               | 3               | 4                | 21                 |
| 9                           | 3                 | 1               | 2               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 4               | 3               | 2               | 1               | 5                | 21                 |
| 11                          | 5                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 6                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 14                          | 4                 | 6               | 3               | 2               | 1               | 5                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 5               | 2,5             | 1               | 2,5             | 4                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 74,5              | 59              | 31,5            | 31              | 47,5            | 71,5             | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 5550              | 3481            | 992,3           | 961             | 2256            | 5112             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 5               | 2               | 2               | 3               | 5                | 23                 |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 4,5             | 1,5             | 1,5             | 3               | 4,5              | 21                 |
| $M$                         | 4,967             | 3,933           | 2,1             | 2,067           | 3,167           | 4,767            | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | 21                 |

## D.2 Data z retestu

Tab. D. 7 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Abby při retestu SNR = 10 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | A1 <sub>0,5</sub> | A1 <sub>1</sub> | A1 <sub>2</sub> | A1 <sub>4</sub> | A1 <sub>8</sub> | A1 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 5                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 6                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 3                           | 2                 | 1               | 6               | 5               | 3               | 4                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 1               | 2               | 3               | 4                | 21                 |
| 5                           | 5                 | 3,5             | 2               | 1               | 3,5             | 6                | 21                 |
| 6                           | 2                 | 1               | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 7                           | 6                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 5                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 1               | 2               | 3               | 4                | 21                 |
| 9                           | 6                 | 2               | 1               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |
| 11                          | 6                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 5                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 14                          | 6                 | 1               | 2               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 4               | 3               | 2               | 5               | 1                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 80                | 51,5            | 36              | 31              | 51,5            | 65               | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6400              | 2652            | 1296            | 961             | 2652            | 4225             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 3               | 2               | 1               | 3               | 5                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 3,5             | 2               | 2               | 3,5             | 4                | 21                 |
| $r_{Me}$                    | 5,5               | 3,5             | 1,5             | 1,5             | 3,5             | 5,5              | 21                 |
| $M$                         | 5,333             | 3,433           | 2,4             | 2,067           | 3,433           | 4,333            | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 3               | 2               | 1               | 3               | 5                | 20                 |

Tab. D. 8 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Abby při retestu SNR = 20 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | A2 <sub>0,5</sub> | A2 <sub>1</sub> | A2 <sub>2</sub> | A2 <sub>4</sub> | A2 <sub>8</sub> | A2 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 6                 | 1               | 2               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 3               | 2                | 21                 |
| 3                           | 1                 | 2               | 3               | 5               | 4               | 6                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 4                | 21                 |
| 5                           | 1                 | 6               | 3,5             | 2               | 3,5             | 5                | 21                 |
| 6                           | 2                 | 1               | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 7                           | 4,5               | 1               | 2               | 3               | 4,5             | 6                | 21                 |
| 8                           | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | 21                 |
| 9                           | 3                 | 2               | 1               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 4               | 1,5             | 1,5             | 3               | 5                | 21                 |
| 11                          | 5                 | 1               | 2               | 3               | 4               | 6                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 13                          | 2                 | 1               | 3               | 4               | 6               | 5                | 21                 |
| 14                          | 3                 | 2               | 1               | 6               | 4               | 5                | 21                 |
| 15                          | 1                 | 2               | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 56,5              | 37              | 33              | 47,5            | 64              | 77               | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 3192              | 1369            | 1089            | 2256            | 4096            | 5929             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 4                 | 2               | 2               | 3               | 4               | 5                | 20                 |
| $r_{Me}$                    | 4,5               | 1,5             | 1,5             | 3               | 4,5             | 6                | 21                 |
| $M$                         | 3,767             | 2,467           | 2,2             | 3,167           | 4,267           | 5,133            | 21                 |
| $r_M$                       | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | 21                 |

Tab. D. 9 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Kytary při retestu SNR = 10dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | K1 <sub>0,5</sub> | K1 <sub>1</sub> | K1 <sub>2</sub> | K1 <sub>4</sub> | K1 <sub>8</sub> | K1 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 5                 | 4               | 1               | 2               | 3               | 6                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 3                           | 2                 | 1               | 4               | 6               | 3               | 5                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 2               | 1               | 4               | 3                | 21                 |
| 5                           | 3,5               | 5               | 6               | 1               | 2               | 3,5              | 21                 |
| 6                           | 6                 | 5               | 4               | 2               | 3               | 1                | 21                 |
| 7                           | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 1               | 2               | 4               | 3                | 21                 |
| 9                           | 6                 | 4               | 1               | 3               | 2               | 5                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |
| 11                          | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 3               | 2                | 21                 |
| 14                          | 6                 | 4               | 5               | 3               | 1               | 2                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 5               | 3               | 2               | 4               | 1                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 82,5              | 67              | 47              | 28              | 40              | 50,5             | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6806              | 4489            | 2209            | 784             | 1600            | 2550             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 5               | 3               | 1               | 3               | 3                | 21                 |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 5               | 3               | 1               | 3               | 3                | 21                 |
| $M$                         | 5,5               | 4,467           | 3,133           | 1,867           | 2,667           | 3,367            | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |

Tab. D. 10 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Kytary při retestu SNR = 20 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | K2 <sub>0,5</sub> | K2 <sub>1</sub> | K2 <sub>2</sub> | K2 <sub>4</sub> | K2 <sub>8</sub> | K2 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 5                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 6                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 3               | 2                | 21                 |
| 3                           | 2                 | 1               | 4               | 6               | 3               | 5                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 1               | 2               | 3               | 4               | 5                | 21                 |
| 5                           | 5                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 6                | 21                 |
| 6                           | 3                 | 2               | 1               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 7                           | 4                 | 1               | 2,5             | 2,5             | 5               | 6                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 3               | 1               | 4               | 2                | 21                 |
| 9                           | 5                 | 2               | 1               | 3               | 4               | 6                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 5               | 1,5             | 1,5             | 3               | 4                | 21                 |
| 11                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 14                          | 6                 | 4               | 5               | 2               | 1               | 3                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 5               | 3               | 4               | 2               | 1                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 78                | 53              | 38              | 34              | 49              | 63               | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6084              | 2809            | 1444            | 1156            | 2401            | 3969             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 4               | 2               | 2               | 3               | 4                | 21                 |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 4,5             | 1,5             | 1,5             | 3               | 4,5              | 21                 |
| $M$                         | 5,2               | 3,533           | 2,533           | 2,267           | 3,267           | 4,2              | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | 21                 |

Tab. D. 11 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Eddie Rabbitt při retestu SNR = 10 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | E1 <sub>0,5</sub> | E1 <sub>1</sub> | E1 <sub>2</sub> | E1 <sub>4</sub> | E1 <sub>8</sub> | E1 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 2               | 1               | 3                | 21                 |
| 3                           | 1                 | 2               | 6               | 5               | 3               | 4                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 3               | 1               | 2               | 4                | 21                 |
| 5                           | 3                 | 1               | 4               | 2               | 5               | 6                | 21                 |
| 6                           | 6                 | 1               | 5               | 2               | 3,5             | 3,5              | 21                 |
| 7                           | 6                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 5                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 9                           | 5                 | 2               | 1               | 3               | 4               | 6                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 5                | 21                 |
| 11                          | 6                 | 3               | 2               | 1               | 4               | 5                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 3,5             | 1               | 2               | 3,5              | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 14                          | 6                 | 4               | 1               | 3               | 5               | 2                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 5               | 3               | 4               | 1               | 2                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 81                | 53              | 43,5            | 30              | 46,5            | 61               | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 6561              | 2809            | 1892            | 900             | 2162            | 3721             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 6                 | 4               | 3               | 2               | 3               | 4                | 22                 |
| $r_{Me}$                    | 6                 | 4,5             | 2,5             | 1               | 2,5             | 4,5              | 21                 |
| $M$                         | 5,4               | 3,533           | 2,9             | 2               | 3,1             | 4,067            | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | 21                 |

Tab. D. 12 Matice pořadí  $r_{jk}$  přiřazených patnácti posuzovateli šesti zvukovým záznamům Eddie Rabbitt při retestu SNR = 20 dB.

| Posluchač<br>č.             | Objekt            |                 |                 |                 |                 |                  | $\Sigma$           |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                             | E2 <sub>0,5</sub> | E2 <sub>1</sub> | E2 <sub>2</sub> | E2 <sub>4</sub> | E2 <sub>8</sub> | E2 <sub>16</sub> |                    |
| 1                           | 5                 | 3               | 1               | 2               | 4               | 6                | 21                 |
| 2                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 3                           | 3                 | 2               | 1               | 5               | 4               | 6                | 21                 |
| 4                           | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 5                           | 4                 | 2               | 1               | 5               | 3               | 6                | 21                 |
| 6                           | 2                 | 1               | 3               | 4               | 5               | 6                | 21                 |
| 7                           | 4                 | 3               | 2               | 1               | 5               | 6                | 21                 |
| 8                           | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 9                           | 5                 | 2               | 1               | 3               | 4               | 6                | 21                 |
| 10                          | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | 21                 |
| 11                          | 5                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 6                | 21                 |
| 12                          | 6                 | 5               | 2               | 1               | 3               | 4                | 21                 |
| 13                          | 6                 | 5               | 4               | 1               | 2               | 3                | 21                 |
| 14                          | 4                 | 2               | 1               | 3               | 5               | 6                | 21                 |
| 15                          | 6                 | 4               | 5               | 3               | 2               | 1                | 21                 |
| $R_k = \Sigma r_{jk}$       | 74                | 52              | 35              | 33              | 50              | 71               | $\Sigma R_k$       |
| $R_k^2 = (\Sigma r_{jk})^2$ | 5476              | 2704            | 1225            | 1089            | 2500            | 5041             | $\Sigma R_k^2$     |
| $r_\Sigma$                  | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | $21 = 0,5n(1 + n)$ |
| $Me$                        | 5                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 6                | 23                 |
| $r_{Me}$                    | 5                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 6                | 21                 |
| $M$                         | 4,933             | 3,467           | 2,333           | 2,2             | 3,333           | 4,733            | 21                 |
| $r_M$                       | 6                 | 4               | 2               | 1               | 3               | 5                | 21                 |