



SPEECH AUDIOMETRY

O. Dlouhá*, A. Novák*, J. Vokřál*

Summary: *The speech audiometry answers the question how a person is able to perceive, differentiate and understand living speech. The first construction attempts of speech audiometry were done about 200 years ago. Nowadays the commonly used tests of Czech speech audiometry were constructed over a half of a century ago. The only change over the years was the recording medium – a gramophone record, an audio tape, an audio cassette and CD. The Czech language is changing. The present paper shows a philosophy of new speech audiometry test construction. The main criteria for choosing words were: 1) a commonly used wordage, 2) a corresponding representation of word classes to the Czech language, 3) a similar number of syllables for every group of words, 4) a proportion of voiced and unvoiced consonants, 5) a similar composition of speech sounds for every group of words according to low, middle and high frequency components (the timbre of speech sound). The results were compared with the Czech speech norms. Another task is to provide that every group of words has the same loudness - sound intensity. The energy level of a word was computed and compared with a sound pressure level in an audiological cabin.*

1. Úvod

Audiologie používá řadu vyšetřovacích diagnostických metod od tónové audiometrie, která je závislá na spolupráci pacienta, k objektivním metodám, které na spolupráci pacienta nezávisí, např. vyšetření středoušních reflexů a tympanometrii, elektrofyziologické metody vyšetření evokovaných korových a kmenových odpovědí, apod. Tyto metody však neinformují o tom, zda jedinec vnímá signál řeči, diferencuje ho a rozumí mu. Na tuto otázku odpovídají různé testy řečové audiometrie (Novák, 2003).

Snaha o použití signálu řeči pro klasifikaci sluchové vady je stará přes 200 let. Pflingsten (r. 1804) rozlišoval tři stupně sluchové ztráty – ztráta sluchu pro samohlásky, znělé souhlásky a neznělé souhlásky. Lichtwitz (1890) použil fonografický záznam řeči jako zvukový podnět místo živého hlasu. První skutečný pokus o použití audiometrie řeči byl vytvořen Fletcherem a spol. (1929) v Bell Telephone Laboratories. Byl vypracován slabikový test z bezvýznamových slabik ve složení souhláska-samohláska-souhláska, souhláska-samohláska a samohláska-souhláska. Jazyková jednoduchost testu poskytovala dobrou shodu výsledků při jeho opakování a informaci o srozumitelnosti různých fonémů anglického jazyka. Bezvýznamové slabiky však nebyly považovány za nejvhodnější test pro klinickou audiologii. Barány už v r. 1910 upozornil na skutečnost, že především inteligentní posluchač se podvědomě snaží vnést do těchto slabikových shluků nějaký význam.

* Doc. MUDr. Olga Dlouhá, CSc., Prof. MUDr. Alexej Novák, DrSc., Dr. Ing. Jan Vokřál: Foniatriká klinika
1. LF UK a VFN, Žitná 24, 120 00 Praha 2, tel.: 224 964 908, olga.dlouha@lf1.cuni.cz, vokral@lf1.cuni.cz

Do současné doby bylo publikováno kolem 100 testů, které nesou buď název podle autora testu nebo místa vzniku testu. Jsou konstruované jako testy slabikové (logatomy), číslicové, slovní a větné. Byly vedeny dlouhé diskuse o tom, zda mají být foneticky vyvážené, jednoslabičné, dvou- nebo víceslabičné, složené ze spondejevých slov nebo vět.

Česká slovní audiometrie

V roce 1960 byla publikována Seemanem a spol. „Česká slovní audiometrie“. Test se skládá ze dvou sestav, každá sestava z deseti dekád po deseti slovech. Sestavy jsou tvořeny ze 75 % z podstatných jmen, 4% přídavných jmen, 11% sloves, 3% zájmen, 3% příslovcí a 4% číslovek. Dekáda je složena ze čtyř jednoslabičných slov, pěti dvouslabičných a jednoho tří- a víceslabičného slova. Průměrný počet fonémů ve slově je 4,53. Autoři se snažili maximálně dodržet v každé sestavě počet hlubokých, vysokých a neutrální fonémů. Frekvence použitých slov se pohybuje mezi 0 – 30 tisíci - přes 10% slov je v pořadí přes deset tisíc (např. průlom, křen, chládek). O tuto slovní audiometrii se opírá vyšetření v českém jazyce do dnešních dnů. Problémem v současné době je, že vybraná slova neodpovídají aktuální skladbě českého jazyka. Slovní audiologie byla publikována téměř před půl stoletím a od té doby se změnil pouze nosič vyšetřovaného signálu.

Později byly vypracovány další testy audiometrie řeči v českém jazyce: Sedláček v 60. letech - test pro vyšetření indexu vnitřní informace řeči, Novák, A. v 80. letech - percepční test pro děti a vyšetření indexu vnitřní informace řeči u dětí, Malčík v 60. letech - letecká slovní audiometrie, Novotný a Novák, M. začátkem 90. let - test větné srozumitelnosti, který nebyl prakticky používán, Dlouhá r. 2004 - dichotické testy pro děti.

2. Cíl práce

Cílem příspěvku je ukázat postup při vytváření nového testu české slovní audiometrie, u kterého bylo přihlédnuto k současnému stavu vývoje českého jazyka.

3. Metodika

Nově vypracovaný test řečové audiometrie přihlíží k následujícím kritériím:

a) Obecná znalost použitého slovního materiálu

Na první místo je kladena obecná znalost použitých slov. Těšitelová (1987) odhaduje aktivní slovní zásobu u dospělých na 3000 - 10000 slov, v průměru 5000 slov. Pro výběr slov byl použit „Frekvenční slovník češtiny“ (Čermák a Křen, 2004) a použita slova frekvenčně s výskytem 0 - 1000 a 0 – 5000, s emocionálně neutrálním obsahem.

b) Odpovídající frekvence slovních druhů

Byla snaha dodržet frekvenci slovních druhů podle Těšitelové a kol. (1987). Podle autorky jsou v češtině věcného stylu zastoupeny slovní druhy v tomto poměru: podstatná jména 34,20 %, přídavná jména 19,08 %, předložky 11,42 %, slovesa 12,94 %, zájmena 4,56 %, příslovce 8,36 %, spojky 7,92 %, číslovky 1,15 %, částice 0,37 %.

c) Výběr slov podle počtu slabik

Pro český jazyk dosud nebyla vypracována norma průměrného výskytu počtu slabik ve slově. Při sestavování dekád byla použita 4 slova 1-slabičná, 4 slova 2-slabičná a 2 tří- a víceslabičná.

Domníváme se, že dekády jsou tak vyvážené v počtu 1-slabičných slov (malá redundance informace) a slov s velkou redundancí informace. Přeslechneme-li ve tříslabičném slově jednu hlásku, je jeho srozumitelnost ještě dostatečně zaručena dalšími hláskami. U jednoslabičného slova neslyšení jedné hlásky znamená nesrozumitelnost slova.

Další 2 kritéria jsou důležitá z audiologického hlediska:

d) Zastoupení znělých a neznělých souhlásek

Norma byla vypočtena z frekvence znělých a neznělých souhlásek, jak je udává Palková (1994).

Znělé hlásky: m, n, ň, b, d, d', g, v, z, ž, ř, r, h, l, j;

Neznělé hlásky: p, t, t', k, f, s, š, c, č, ch;

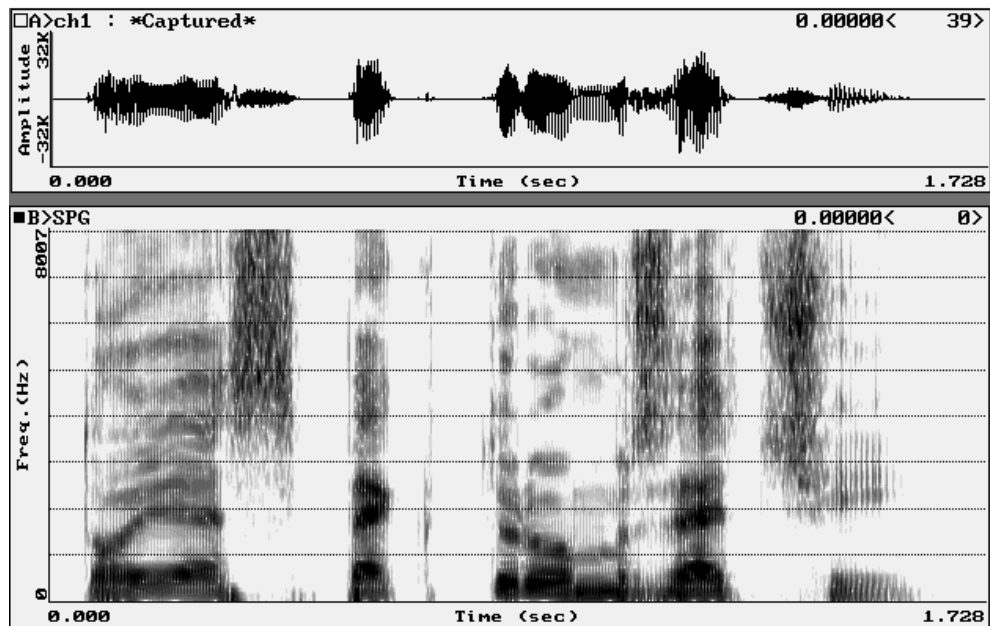
e) Frekvence hlásek hlubokých, vysokých a neutrálních

Pro stanovení normy hlásek s hlubokou, vysokou a neutrální frekvenčním složením bylo použito dělení autorů „České slovní audiometrie“ (Seeman a kol. 1960), změna je však v tom, že e, é je řazeno pouze mezi vysoké, samohlásku o, ó mezi neutrální. Stejně bylo postupováno u souhlásek, byly řazeny jen pouze do jedné slupiny: k, p, b, h pouze mezi hluboké, ř a d' mezi neutrální.

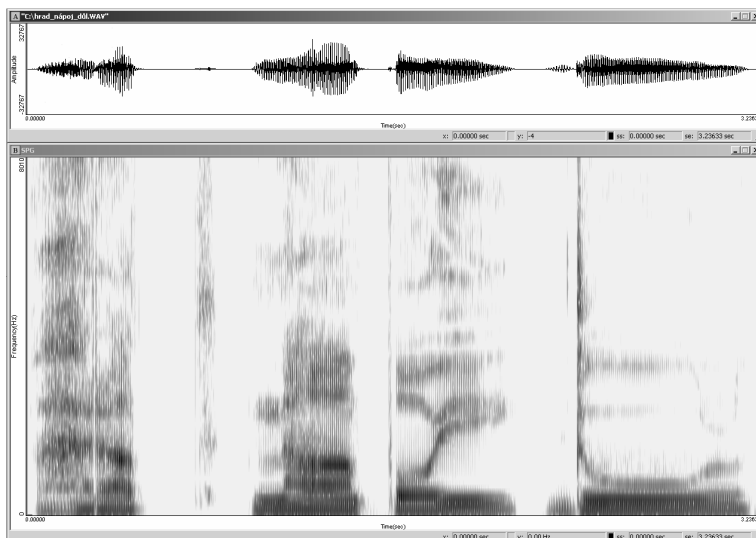
Hlásky hluboké: u, ú, ou; n, ň, m, k, p, b, h;

Hlásky neutrální: a, á, o, ó; d, d', j, ch, v, l, r, t', ř, g;

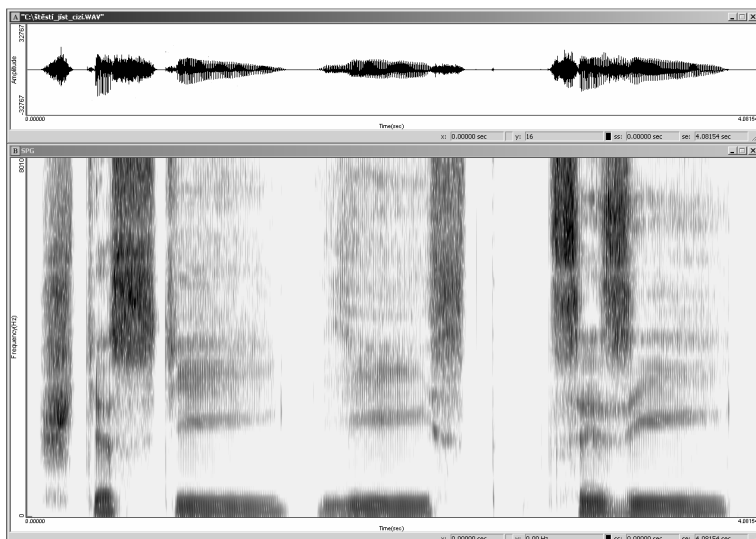
Hlásky vysoké: i, í, e, é; s, z, š, ž, c, č, f, t;



Obr. 1 Sonogram (spektrogram) analyzuje větu „To je spektrum řeči“. Každá hlásky má své frekvenční složení (Novák, 2000).



Obr. 2 Sonogram slov „hrad nápoj důl“ obsahující hluboké a neutrální hlásky.



Obr. 3 Sonogram slov „šťěstí jíst cizí“ obsahující vysoké a neutrální hlásky.

Vypracované testy byly namluveny profesionálním spíkem. Hodnocení kvality hlasu provedena programem MDVP – Multi-Dimensional Voice Program, Kay Elemetrics Corp.

Akustika

Další úkolem je zajistit, aby výsledné sestavy a dekády slov byly z hlediska intenzity zvuku vyrovnány, aby průběh srozumitelnosti dekad v závislosti na intenzitě byl stejný.

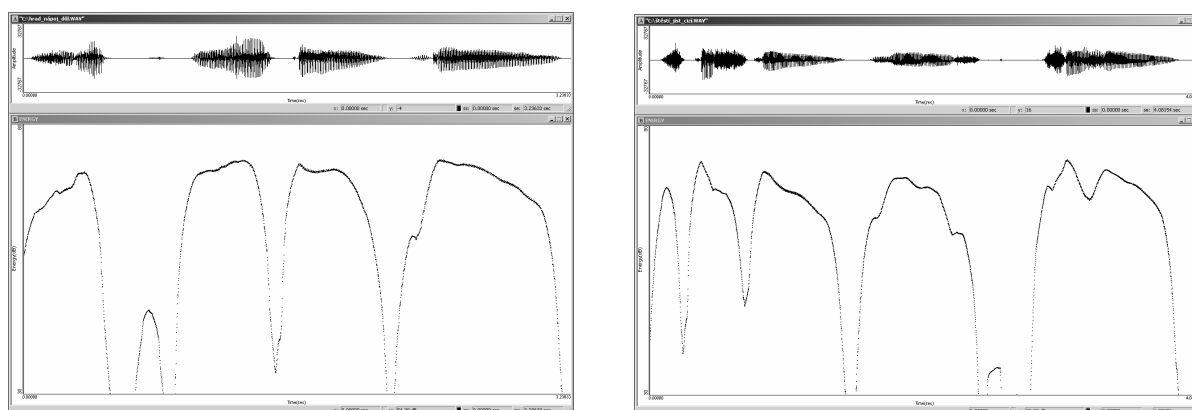
Základním problémem je, že okamžitá intenzita slova se mění podle toho, jaké hlásky obsahuje. Jinou intenzitu mají znělé hlásky, jinou neznělé. Dlouhé vokály nesou více energie než krátké. Neznělé explozivní „p, t, k“ jsou charakteristické svou pauzou – hodnota signálu je nulová (řádově 100 ms) po níž následuje výbuch explozivní. Amplituda signálu slova se mění v čase (nestacionární signál) a slovo jako takové nemá přesně definovatelnou intenzitu. Pouze je možno z hlediska analýzy signálů stanovit „energii přenášenou slovem“, změřit délku slova, případně stanovit další parametry – např. maximum intenzity slova. Tyto hodnoty jsou

významné z hlediska analýzy řečového signálu a studia nezkresleného přenosu signálu od zdroje k posluchači.

Experimentální měření intenzity slov bylo provedeno standardním postupem přehráním slov zaznamenaných na CD nosiči přes vstup audiometru do reproduktorů umístěných v audiometrické komoře, na audiometru byla nastaveno zesílení 70 dB (Orbiter 922, fy Madsen). Výsledek měření závisí na zesílení zesilovače. Zvukoměr B&K2230 byl umístěn ve vzdálenosti 1 m od reproduktorů. Časová konstanta 1 s (režim „slow“), nebyl použit váhový filtr a bylo zaznamenáno maximum hladiny akustického tlaku.

Pro matematický výpočet hladiny energie slova byl použit vztah:

$$E = 10 \times \log \left(\sum_i x_i^2 \right) [\text{dB}]$$



Obr. 4 Průběh okamžité intenzity slov „hrad nápoj důl“ a „šťěstí jíst cizí“. Integrovaná časová konstanta 100 ms. (Multi-Dimensional Voice Program, Kay Elemetrics Corp.)

4. Výsledky

Do výsledných sestav byla vybrána slova z „Frekvenčního slovníku češtiny“ (Čermák a Křen, 2004) s frekvencí 0-5000. Frekvenční slovník uvádí frekvenci slov v beletrii, odborné literatuře a publicistice. Volili jsme taková slova, která se v 50% a více procentech vyskytují v beletrii a publicistice, jejich obsah je emocionálně neutrální. Byly vypracovány dvě sestavy, každá je složena z 10 dekád o 10 slovech. V dekádách se počet fonémů pohybuje mezi 4,6 – 5,1. Slova jsou kombinací 37 fonémů.

Snahou bylo dodržet frekvenci slovních druhů, v sestavě o 100 slovech je však procentuální složení odlišné od normy jak ji uvádí Těšitelová (1987).

Tab. 1a: I. sestava – zastoupení slovních druhů

| I. sestava | 1-5 dekáda | 6-10 dekáda | Těšitelová |
|-----------------|------------|-------------|------------|
| podstatná jména | 42% | 56% | 34% |
| přídavná jména | 18% | 18% | 19% |
| slovesa | 12% | 14% | 13% |
| zájmena | 10% | 4 % | 4,6% |
| příslovce | 10% | 4 % | 8,4% |
| číslovky | 8% | 4 % | 1,2% |

Tab. 1b II. sestava – zastoupení slovních druhů

| II. sestava | 1-5 dekáda | 6-10 dekáda | Těšitelová |
|-----------------|------------|-------------|------------|
| podstatná jména | 42% | 42% | 34% |
| přídavná jména | 18% | 20% | 19% |
| slovesa | 16% | 16% | 13% |
| zájmena | 6% | 2% | 4,6% |
| příslovce | 12% | 12% | 8,4% |
| číslovky | 6% | 8% | 1,2% |

Dobré výsledky byly dosaženy u přídavných jmen, zájmen a příslovčí. Podstatná jména byly použita v prvním pádě jednotného čísla, přídavná jména v prvním pádě jednotného nebo množného čísla, slovesa v čase přítomném v první osobě jednotného a množného čísla nebo v čase minulém.

Frekvenci fonémů ve slovech testu jsme hodnotili statisticky pomocí neparametrických metod, párového testu Wilcoxonova a testu Mannova-Whitneyova na 0,05 a 0,01 statistické významnosti. Normu frekvence hlásek byla určena podle údajů Mazlové, Kučery, Ludvíkové a Krause, jak je uvádí Palková (1994).

Tab 2 Složení sestav podle zastoupení hlásek hlubokých, neutrálních a vysokých

| | hluboké | neutrální | vysoké |
|--------------------|---------|-----------|--------|
| Mazlová | 24 % | 38 % | 38 % |
| Kučera | 23 % | 40 % | 37 % |
| Ludvíková – Kraus | 25 % | 38 % | 37 % |
| Průměr I. sestava | 23 % | 39 % | 38 % |
| Průměr II. sestava | 25 % | 37 % | 38 % |

Tab. 3 Složení sestav podle zastoupení znělých a neznělých souhlásek

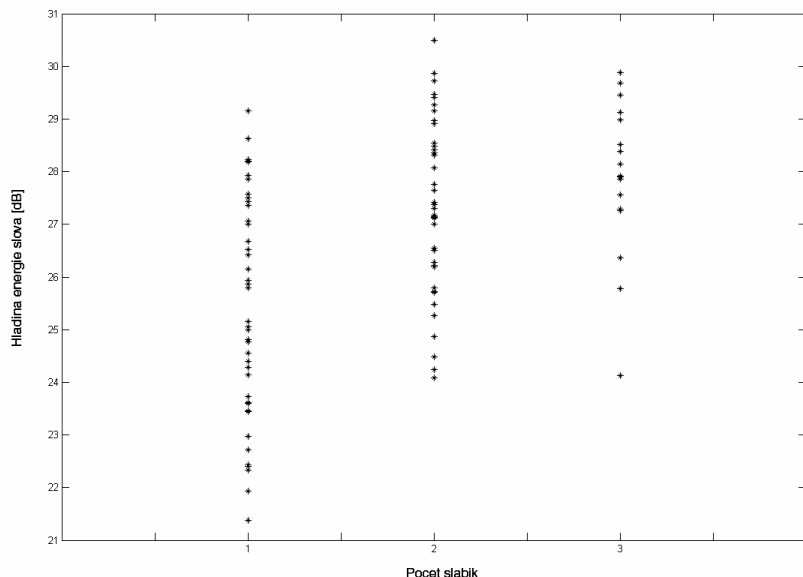
| | znělé | neznělé |
|--------------------|--------|---------|
| Mazlová | 36,0 % | 23,3 % |
| Kučera | 36,1 % | 22,3 % |
| Ludvíková – Kraus | 35,8 % | 23,0 % |
| Průměr I. sestava | 37,1 % | 26,2 % |
| Průměr II. sestava | 36,4 % | 25,5 % |

U všech parametrů, frekvence fonémů znělých a neznělých, fonémů hlubokých, vysokých a neutrálních jsme dosáhli shody s normou. Navržené sestavy slov byly konzultovány s Fonetickým ústavem FF UK - sestavy jsou vyvážené ze všech těchto hledisek.

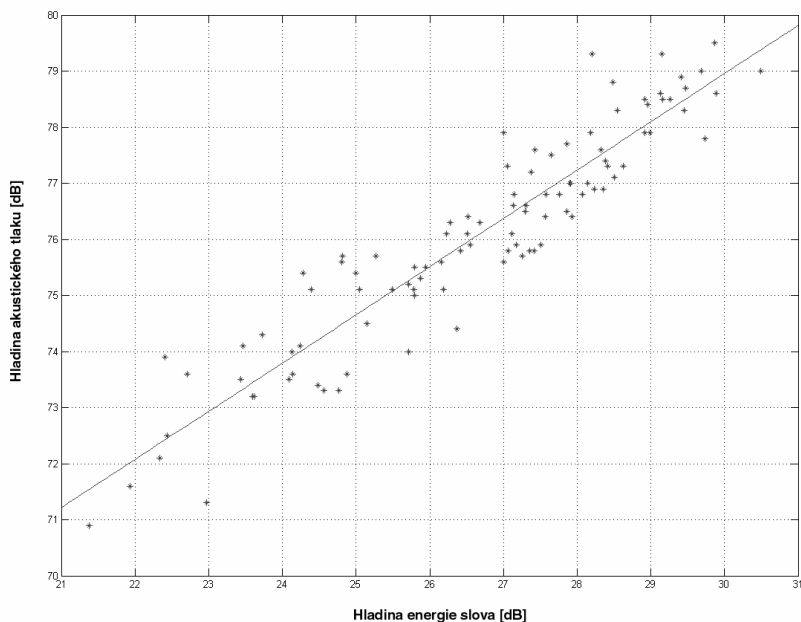
Při teoretickém výpočtu hladin energie slova bylo zjištěno, že je statisticky významný rozdíl mezi průměrnou hladinou jednoslabičných (25,4 +/- 2.1 [dB]) a dvouslabičných slov (27,3 +/- 1,6 [dB]) na statistické hladině významnosti $p=0,01$. Není však statistický rozdíl mezi průměrem dvouslabičných a tříslabičných slov (28,0 +/- 1,6 [dB]) – viz Obr. 6.

Mezi matematicky vypočtenou hladinou energie slova a naměřenou hladinou akustického tlaku v audiometrické komoře je patrná lineární závislost – viz Obr. 7. Absolutní hodnota výsledku měření závisí na nastavení zesílení zesilovače audiometru.

Odchyly jsou způsobeny jednak tím, že pokud slovo je delší než 1 s, pak hodnota udávaná zvukoměrem s integrační dobou 1 s hodnotí pouze část slova. Při matematickém rozboru toho jevu se ukázalo, že teoretický rozdíl nepřevyšuje v našem případě 0,5 dB, což je chyba z hlediska audiologie velmi malá. Další odchylku vnáší do měření akustická interakce prostoru audiologické kabiny. Experimentálně se ověřilo, že vypočtená hodnota hladiny energie slova může být použita jako pomocná hodnota pro hodnocení vyváženosti jednotlivých dekád slov.



Obr. 6 Závislost hladiny energie slova na počtu slabik slova.



Obr. 7 Porovnání naměřených hodnot maximální hladiny akustického tlaku v audiologické kabině s hladinou energie slova.

5. Diskuze

Lidský sluch však vykazuje řadu odchylek od ideálního přenosu signálu řeči – má jinou citlivost na hlubokých, středních a vysokých frekvencích, nestejný průběh křivek stejné hlasitosti, při poslechu se projevuje maskování frekvenční (intenzivní tón o určité frekvenci maskuje slabší tóny v okolí této dominantní frekvence, tyto okolní frekvenční složky nejsme schopni vnímat), maskování časové (po hlasitějším zvuku nejsme schopni zachytit zvuk slabší), apod. Na centrální úrovni zpracování řečového signálu se u srozumitelnosti řeči projevuje dříve uvedená redundance informace u delších slov oproti kratším. Proto se při vyrovnání jednotlivých srozumitelností dekád slov postupuje především empiricky, zjištěním případných odchylek ve srozumitelnosti na skupině osob s normálním sluchem. Výsledky objektivní akustické analýzy slov slouží jako pomocný nástroj pro vyrovnání srozumitelnosti dekád.

Při vyšetřování v audiologické komoře skupiny testovacích probandů se dále setkáváme s jevem, že i při uvažování lineárního přenosu signálu od záznamu na CD nosiči, přes zesilovač až k reproduktorům, dochází k akustické interakci prostoru audiologické komory se zvukovými vlnami signálu řeči. Tomuto fenoménu se v audiologické praxi nelze z prostorových důvodů zcela vyhnout.

6. Závěr

Domníváme se, že vypracované testy slovní srozumitelnosti odpovídají plně požadavkům řečové audiometrie pro diagnostické účely, které jsou dnes na tuto audiologickou metodu kladeny, ale i duchu české jazyka.

Význam testů je důležitý v rehabilitační audiologii – při korekci sluchových vad sluchadly, v rehabilitaci klientů po CI (kochleární implantaci), v hodnocení výsledků rehabilitace centrálních poruch sluchu.

7. Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu IGA MZ 9105-3/2006: Diagnostika poruch centrálního zpracování řečového signálu.

8. Literatura

- Barany, E. (In: Bosman, A.: Review of Speech Audiometric Tests. In: Kollmeier, B.: „Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie“, Band 1, *Median-Verlag nach Killisch-Horn GmbH, Heidelberg*, 1992).
- Čermák, F., Křen, M. (2004) Frekvenční slovník češtiny. *Nakladatelství Lidové noviny*, ISBN 80-7106-676-1.
- Dlouhá, O. (2004) Vývojové poruchy řeči. Vztah centrálních poruch řeči a sluchu. *Vydavatelství (Publisher), Praha*, 142 s., ISBN 80-239-1832-X.
- Fletcher, H. (1929) *Speech and Hearing. Van Norstrand, News York* (1st ed.)
- Lichtwitz, L. (1890) Über die Anwendung des neuen Edisonschen Phonographen als allgemeinen Hörmasser. *Arch. Ohrenheilk.* 29, 302-304. (In: Bosman, A: Review of Speech Audiometric Tests. In: Kollmeier, B.: „Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Band 1. *Median-Verlag nach Killisch-Horn GmbH, Heidelberg* 1992.

- Novák, A. (2000) Foniatrie a pedaudiologie. Poruchy hlasu u dětí a dospělých – základy anatomie a fyziologie hlasu, diagnostika, léčba, reedukace a rehabilitace poruch hlasu. *Unitisk, Praha*, 176 s.
- Novák, A. (2003) Audiologie. Vyšetřovací technika, diagnostika, léčba a rehabilitace. *Unitisk, Praha*, 333 s.
- Palková, Z. (1994): Fonetika a fonologie češtiny. *Universita Karlova - Karolinum, Praha*, ISBN 80-7066-843-1, 366 s.
- Pfingsten, G.W. (1804) Gehörmesser zur Untersuchung der Gehörfähigkeit galvisirierter Taubstimmer, in besonderer Rücksicht auf die Erlernung der artikulierten Tonsprache und auf deren Elemente gegründet. (In: Bosman, A.: Review of Speech Audiometric Tests. In: Kollmeier, B.: „Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Band 1. *Median-Verlag nach Killisch-Horn GmbH, Heidelberg*, 1992)
- Seeman, M. a kol. (1960) Česká slovní audiometrie. *SZN, Praha*, 146 s.
- Těšitelová, M. a kol. (1987) O češtině v číslech. *Academia, Praha*, 205 s.