

# AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti  
www.czakustika.cz

ročník 15, číslo 3–4

prosinec 2009

## Obsah

Pozvánka na Valnou hromadu	3
Ing. Tomáš Salava, DrSc. – 75 let	3
<b>Spectral Decomposition and SPAD Analysis Use in Noise Abatement of Propeller Airplanes</b> Užití spektrální dekompozice a SPAD analýzy při snižování hluku vrtulových letadel <i>Tomáš Salava</i>	4
<b>Oslabení okluzí v promluvách pacientů s Parkinsonovou chorobou</b> Occlusive Weakening in Parkinson's Disease <i>Roman Čmejla, Jan Ruzs a Hana Růžičková</i>	12



Rada České akustické společnosti svolává ve smyslu stanov  
**VALNOU HROMADU,**

kteřá se bude konat ve čtvrtek 21. ledna 2010 na Fakultě elektrotechnické ČVUT, Technická 2, Praha 6 – Dejvice.

**Rámcový program:**

13.00–13.45 Jednání v odborných skupinách. Rozpis místností pro jednání v odborných skupinách bude vyvěšen ve vstupním prostoru fakulty a na dveřích sekretariátu, místnost č. T2:B2-47.

13.45–14.15 Prezentace.

14.15–16.00 Plenární zasedání, místnost č. T2:C2-82.

**Důležité upozornění:** Člen společnosti, který se nebude moci Valné hromady osobně zúčastnit, pověří jiného člena, aby jej zastupoval. Jeden člen společnosti může zastupovat nejvýše tři členy. Formulář pověření je součástí tohoto čísla Akustických listů.

**Ing. Tomáš Salava, DrSc. – 75 let**



Svoji odbornou kariéru započal Ing. Salava v roce 1957 v sektoru elektroakustiky tehdejšího Výzkumného ústavu telekomunikační účastí na vývoji reproduktorových soustav pro Laternu magiku v českém pavilonu na Expu 1958. Z tohoto pracoviště pak vznikl Výzkumný a vývojový ústav elektroakustiky, vedený prof. Dr. Ing. J. Merhautem. Zde se Ing. Salava podílel nejprve na vývoji nové řady soustav pro kina a pokračoval pak již samostatným vývojem speciálních reproduktorů a elektroakustických měničů, mimo jiné i soupravy snímačů pro lékařské účely.

V roce 1964 ukončil vědeckou kandidaturu na téma „Tranzientní zkreslení reproduktorů“. Dále, již jako vedoucí oddělení měničů, se podílel např. na vývoji výkonných speciálních reproduktorů a dalších velmi výkonných zdrojů zvuku a začal se také zabývat problematikou přesných měření v akustice a elektroakustice. V té době vznikl jeho měřič akustických impedancí pracující na principu kombinovaného elektroakustického měniče. Několik vzorků bylo tehdy prodáno i do zahraničí a jeden také do akustické laboratoře na Dánské technické univerzitě v Lyngby, kde později Ing. Salava krátkou dobu pracoval. Jeho příspěví k vývoji měřících technik pro akustiku a elektroakustiku bylo v té době

oceněno společností Audio Engineering Society udělením titulu AES Fellow. Po návratu z Dánska byl Ing. Salava zařazen, tehdy již v rámci Výzkumného ústavu sdělovací techniky (VÚST), na úkol se zaměřením na tzv. parametrické kódování řeči. Za výsledky tohoto úkolu získal výzkumný kolektiv cenu ČSAV. Dále se pak Ing. Salava podílel také na pracích zaměřených na strojové generování a rozpoznávání řeči. S tím souvisí i jeho další odborné zaměření, a to na číslicové metody záznamu a zpracování audiosignálů. V roce 1990 byl do VÚST zadán výzkum akustického monitorování vysokotlakých plynovodů z tehdy ještě státního podniku TRANSGAZ. Zde mohl Ing. Salava zúročit znalosti z oboru číslicového zpracování signálů, ale také z konstrukce speciálních měničů. Prototyp akustického monitorovacího systému (AMOS) byl po rozpadu VÚST dokončen a nainstalován již v rámci firmy ETOS akustika, s. r. o., kterou se svými spolupracovníky založil Ing. Salava v roce 1992 a jako jednatel i vedl. Ve stejném roce získal vědeckou hodnost doktora technických věd. Po prodání podniku TRANSGAZ ukončil nový majitel veškerý technický rozvoj v ČR a činnost firmy ETOS byla pak zastavena také pro zdravotní problémy jednatele. V roce 2004 podstoupil Ing. Salava úspěšnou transplantaci ledviny. Od roku 2005 se podílí na výzkumných aktivitách Centra pro letecký a kosmický výzkum zaměřených na hluk letadel a jeho snižování.

Ing. Salava je autorem dvou knih a mnoha odborných publikací. Je členem AES, (AES Fellow, Life Member), zakládajícím členem české sekce AES a dlouholetým členem ČsAS.

Blahopřejeme a přejeme hodně zdraví a energie do dalších let!

Josef Žikovský

# Spectral Decomposition and SPAD Analysis Use in Noise Abatement of Propeller Airplanes

Tomáš Salava

VZLÚ, a. s., Beranových 130, 199 05 Praha – Letňany  
e-mail: salava@vzlu.cz

Spektrální dekompozice je jedna z metod, která může být použita pro separaci nebo extrakci významných spektrálních složek z komplexních signálů. V tomto článku je ukázáno užití spektrální dekompozice a analýzy SPAD při analýze a snižování hluku vrtulových letadel.

## 1. INTRODUCTION

Considerable financial resources have already been invested in aircraft noise abatement. As is well known, the main source of noise of nearly all airplanes is their propulsion systems. A substantial reduction of the noise of aircraft was achieved by the second generation of turbofan propulsion. Propeller propulsion, even with advanced propellers, still remains noisier than comparable turbo fans, but it is more economical; consequently propellers are still used, mainly on smaller airplanes but also on extremely heavy aircraft.

If a noise is composed of different components, as is the case of airplanes, it is common practice to identify the main noise sources first and to quantify their contributions to the overall noise. Identification of dominant noise sources, or decomposition of complex noise signals into their particular components, are thus frequently required in noise reduction practice.

The most-often used methods of noise sources identification are based on measuring the spatial distribution of acoustic intensity or coherent acoustic intensity [1–4]. More effective in certain applications can be near-field acoustic holography, using arrays of microphones or velocity sensors [4, 5]. Quite useful can be also lasers Doppler vibrometry [5, 6]. Some other methods are described e.g. in [7] or [8].

In comparison with the above-mentioned methods, the usability of spectral decomposition may seem rather limited. However, spectral decomposition needs no special instrumentation, and can run in real time, or much faster, on any contemporary computer. Spectral decomposition works especially well in separation of dominant discrete spectral components from complex noise signals, typical for propeller noise or reciprocating engine noise. Specific problems may, however, arise with assignments of particular discrete spectral components in complex spectra, and if some spectral components merge in frequency.

## 2. NOISE OF PROPELLER AIRCRAFT

Noise emitted by propellers has a periodic, tonal character, with the basic frequency given by the number of blades

and rotational speed of the propeller. Intensity of the noise produced by propellers increases rapidly with the helical speed of the blade tips and with the thrust the propeller delivers. The low-frequency tonal noise created by propellers propagates easily in the atmosphere, and can be annoying over large distances [9, 10].

Regrettably, propellers cannot be highly efficient and quiet at once. Even with contemporary advanced design methods and production technologies, significant quieting of propeller propulsion is nearly impossible at present, if propeller propulsion is to be significantly cheaper and more economical than turbofans [11, 12]. Other means of decreasing the outer noise of propeller aircraft, such as synchrophasing in aircraft with two or more engines, are not particularly efficient [13].

A serious problem of propeller aircraft is not only the outer noise but also the interior noise. However, in this case further improvements are still possible. Interior noise is a difficult problem especially in two-engine propeller airplanes of traditional design. In this case, propellers are situated on both sides of the fuselage of airplanes, and propeller blade tips pass the fuselage outer walls at distances of even a few dozen centimeters.

In recent years, the interior noise problems of propeller aircraft have been solved quite successfully by active noise and vibration control (ANVC) systems [14–16]. However, these systems are still not entirely trouble-free as e.g. in self-adaptation to different cabin occupancy and good stability. Solutions are therefore also found in active increasing dynamic rigidity and sound insulation of fuselage walls and trimming panels [17, 18].

Another drawback of ANVC systems are their cost and also their power consumption. Therefore certain producers of even larger turboprop airliners still use only passive noise and vibration reduction means. However, optimum results can clearly be expected through intelligent combining of both passive and active noise and vibration control. Spectral analysis and decomposition can be an efficient tool in “tuning” such advanced noise and vibration control systems.

To understand why spectral decomposition let us show first some typical frequency spectra of propeller aircraft

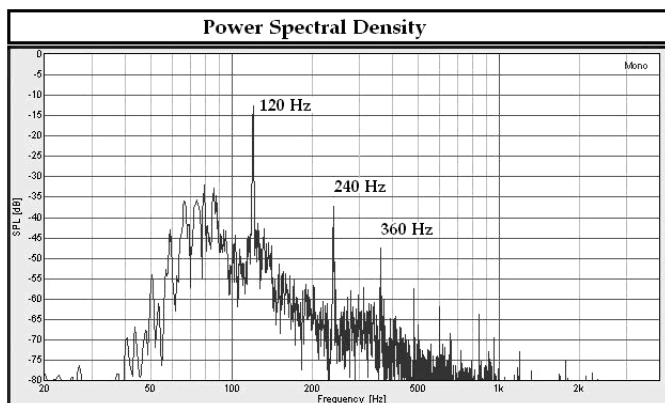


Figure 1: An example of the frequency power spectrum of the noise in a turbo-propeller airplane (ATR 74-500) during its fast climbing after take-off

noise. An example of frequency spectrum of the noise in a larger turboprop airliner is shown in Fig. 1. The most prominent spectral component at 120 Hz is the fundamental harmonics of the propeller noise. The basic spectral component at 120 Hz corresponds to a six-blade propeller rotating at 1200 r.p.min.

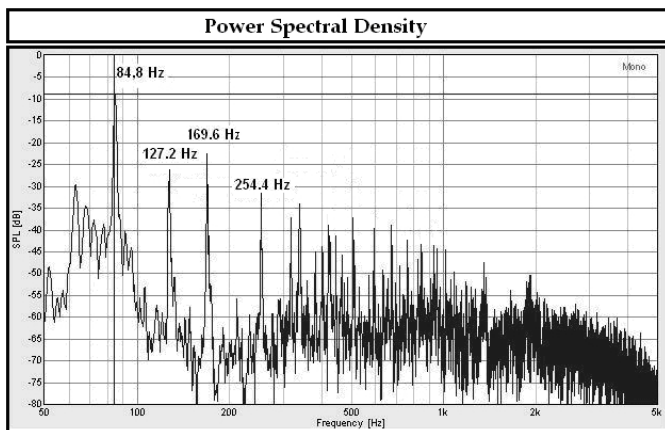


Figure 2: Frequency spectrum of the noise of an older "two-seater" (Zlin Z-226 with an add-on exhaust muffler) flyover approx. 50 m above the measuring point

In Fig. 2, there is an example of a more complex frequency spectrum, of the exterior noise of an older propeller airplane, the two-blade propeller of which is driven by a six-cylinder piston engine. Most prominent again are the basic harmonics of the propeller noise at about 85 Hz. Next, at approximately 127 Hz there is the basic frequency of the engine exhaust noise. The two frequencies are in the relation of 2:3, which corresponds to a two-blade propeller and a six-cylinder four-stroke in-line engine. The propeller was evidently rotating at 2544 r.p.min.

In both the examples in Figs. 1 and 2, the low-frequency propeller noise components are strongly dominant over the remaining noise. However, the propeller noise need not in-

variably be manifest as dominant, as it could be e.g. in the cabin of a "high-end" business turboprop with advanced low-noise propellers and well-tuned interior noise control both passive and active.

### 3. SPECTRAL ANALYSIS AND SPECTRAL DECOMPOSITION

High-resolution spectral analysis is already a well-known tool in noise abatement. It is very helpful in the rapid identification and tracing of prominent spectral components, or also in determining their possible sources. Time-dependent phenomena are usually represented by 3-D spectrograms. Two examples of such 3-D spectrograms are in Figs. 3 and 4.

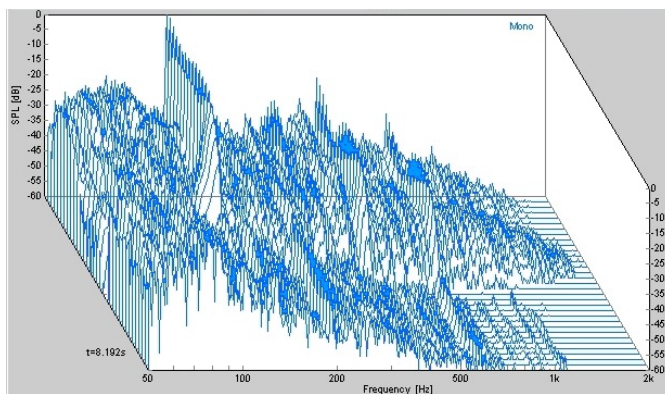


Figure 3: An example of a 3-D spectrogram of the noise in a turboprop airliner after the engines were launched to full power for take-off (time runs from the front backwards)

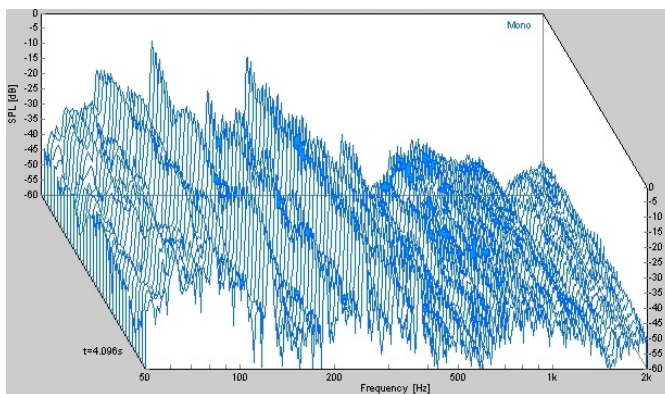


Figure 4: Spectrogram of the outer noise of an older two-engine propeller aircraft (L200, two six-cylinder engines with two-blade propellers), fly-over at the altitude of approx. 100 m

The first spectrogram shows the spectral image of the interior noise in a turboprop airliner just at the start-up of the engines to full power at the beginning of the take-off run. The second shows a more complex spectral structure

of the noise from the fly-over of an older two-engine propeller aircraft L 200–Morava. In these spectrograms, time runs “from the front backwards”.

As can be seen from the two examples in Figs. 3 and 4, high-resolution spectrograms of aircraft noise usually show many details, many of which need not be perceptible individually and therefore not even relevant in the perceived noise and its level. Small changes in spectrograms often may not be distinctly visible in high-resolution spectrograms. Another quite substantial drawback can be that an accurate detailed “hand-made” evaluation of spectrograms can be quite time-consuming.

Spectral decomposition can often be taken as a tool for quick evaluation of spectrograms, making it possible to separate dominant or selected spectral components from the overall noise, and to evaluate the properties or changes of the decomposed components independently, accurately and very fast on contemporary computers. However, spectral decomposition is capable of even more. For testing the spectral decomposition in practice, an experimental software pack SPAD (Spectral Analysis and Decomposition) was developed and tested within the framework of the CLKV II research program.

### 3.1. Spectral decomposition and program SPAD

The basic concept of the computing program SPAD was already explained in [19], while its first operational version 0.7 was described in [20]. The last working version 0.8 of SPAD software was used for most of the examples in this paper and is described in detail in [21] (in Czech, with demo CD). In this paper, the basic functions of the SPAD software pack are hence described only very briefly.

The basic routine of the program SPAD repeatedly and continuously computes short-time high-resolution spectra of the analyzed signal, basically in the same way as for spectrograms. Next, it detects and traces the most salient narrow spectral components and finds the discrete spectral component sets, which can form an equidistant frequency series, and could eventually be created by one or more particular periodic processes.

The discrete spectral components belonging to the series with the highest overall effective sound pressure level are then decomposed from the primary spectrum. Finally, the program determines or computes the following basic values:

- fundamental frequency of the extracted set of harmonic spectral components (Hz)
- effective sound pressure level of the set of extracted spectral components (dB)
- effective sound pressure level of the rest (dB)
- level difference of the previous two values (dB)

The results of the decomposition can be displayed in a graphical window, an example of which is shown in Fig. 5.

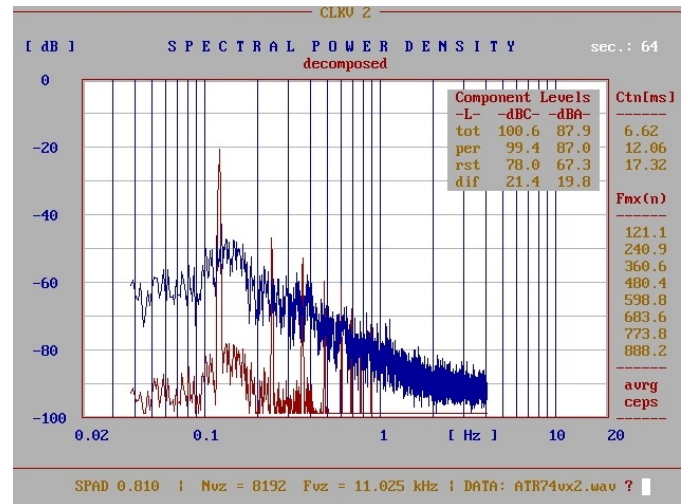


Figure 5: The SPAD basic “one second” evaluation window with the decomposed spectral components and basic partial numeric results

In this window, the decomposed spectral components (red or light curve), and the rest of the noise spectrum (blue or dark curve) are plotted. In the right upper corner, there are also partial basic numeric results. On the right side is a table of central frequencies of the extracted components (Fmx) in Hz, and additional data or setting indicators.

The partial results in the right upper corner of the graph in Fig. 5 are (from the top down):

1. total effective sound pressure level (tot)
2. effective sound pressure level of the decomposed periodic components (per)
3. effective sound pressure level of the rest of the signal (rst)
4. difference of the two former pressure levels (dif)

In Fig. 6 is an example of the SPAD basic evaluation of a longer noise record. The recording was acquired during the take-off and ongoing flight phases of a regular flight in a regional category two-engine turbo-propeller airplane (again, ATR 74-500). The total length of the processed noise recording is 6 minutes. In Fig. 6 are plotted (from the top down):

1. fundamental frequency of the propeller noise –  $F_1$  (Hz)
2. effective total sound pressure level of the processed noise –  $L_{tot}$  (dB)
3. effective sound pressure level of the extracted propeller noise –  $L_{prop}$  (dB)
4. effective sound pressure level of the rest noise –  $L_{rst}$  (dB)
5. level difference  $L_{prop} - L_{rst}$  (dB)

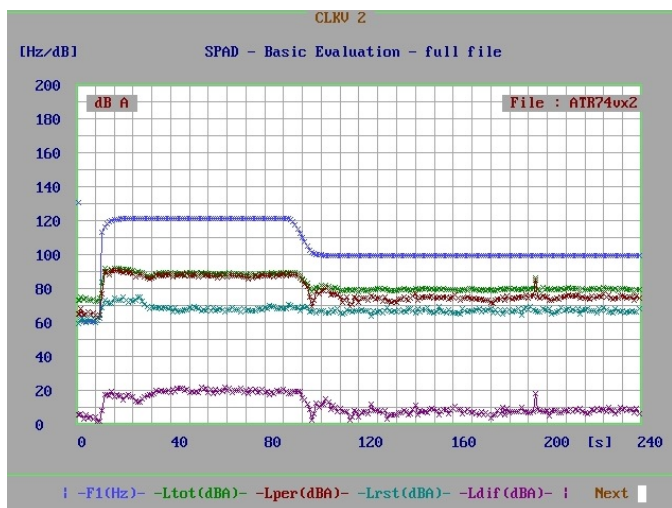


Figure 6: An example of SPAD basic evaluation of the interior noise in a regional two-engine turbo-propeller airplane (ATR 74-500) during its take-off and ongoing flight phases

In this window all the sound pressure levels are plotted with frequency weighting A, which is displayed in the left upper corner. Other possible frequency weightings are C and D.

Well visible in Fig. 6 is the moment of launching the engines to full power and the beginning of the take-off run. After some twenty seconds, the airplane loses contact with the runway. Approximately in the ninetieth second, the airplane ends the full power climbing phase and transitions to climbing with reduced power. Finally, at the end of the record, the slow climbing ends, and the airplane proceeds to the steady *horizontal* flight.

In the program SPAD, all relevant partial and final output data are stored for further use or further processing. An example of the stored output data used for further pre-

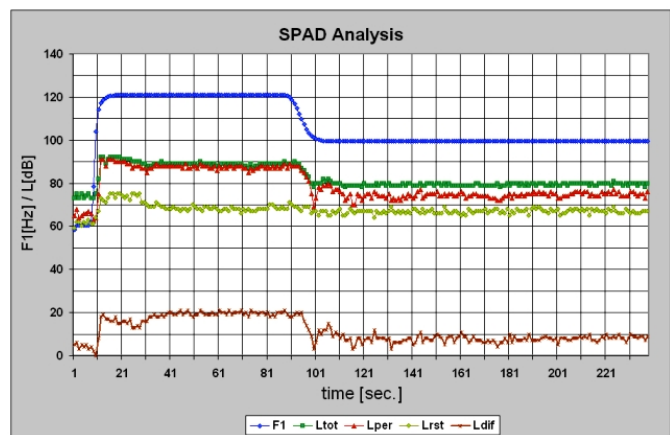


Figure 7: SPAD analysis of the interior noise in the same airplane during the flight phases on a seat near to the left propeller; post-processed external graphics presentation

sentation by external graphics is shown in Fig. 7. Output data are displayed from the SPAD analysis of the noise recorded in the same airplane under the same conditions as for Fig. 7.

From the examples of the SPAD analysis in Figs. 6 and 7, it is e.g. highly visible that during the fast climbing the propeller noise was about 20 dB(A) above the noise of all the other noise sources. In the next phase, propeller noise decreases to a bit less than 10 dB(A) above the remaining noise. Let us note that 20% drop in the propellers speed with about a 30% drop in engine power resulted in a drop to nearly one-tenth of the acoustic power radiated by propellers.

Another example of the SPAD analysis result is in Fig. 8. Plotted in this case are (from the top down) the fundamental frequency of the propeller noise ( $F_1$ ), the total sound pressure level of the interior noise ( $L_{tot}$ ) and the sound pressure levels of the first three harmonic components of the propeller noise ( $L_1-L_3$ ). A slightly increased level of the second and third harmonics is highly visible during the take-off run, when the propellers were producing maximal thrust.

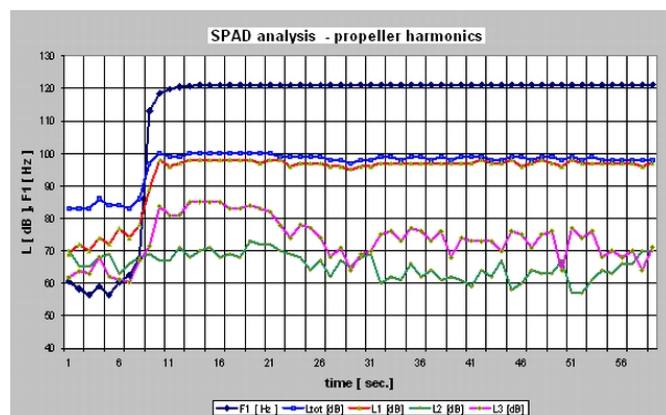


Figure 8: SPAD harmonic analysis of the propeller noise; (from top down): fundamental frequency ( $F_1$ ), total noise level ( $L_{tot}$ ), levels of harmonic components ( $L_1, L_2, L_3$ )

For comparison with the shown SPAD analysis results, two additional high-resolution spectrograms are shown in Figs. 9 and 10. The first one is a high-resolution spectral view of the interior noise in the same airplane during the first 50 seconds after the engines were launched to full power and to take-off. The second one shows the same time interval, but during the transition from full power to reduced power climbing. Again, the spectrograms show a wide range of details that cannot be perceived individually.

### 3.2. SPAD analysis of propeller aircraft interior noise

For the first examples of SPAD analysis, interior noise in a well-known regional category turboprop airliner, ATR 74-500, was chosen. For comparison, in Fig. 11 is an example

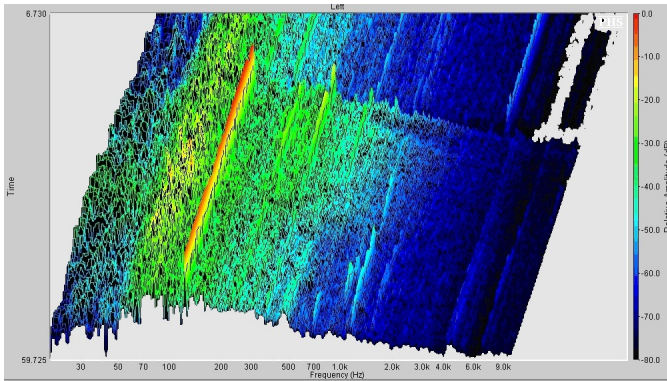


Figure 9: An example of another type of high-resolution 3-D spectrogram, in this case of the interior noise in the same airplane during the same time interval as in Fig. 8

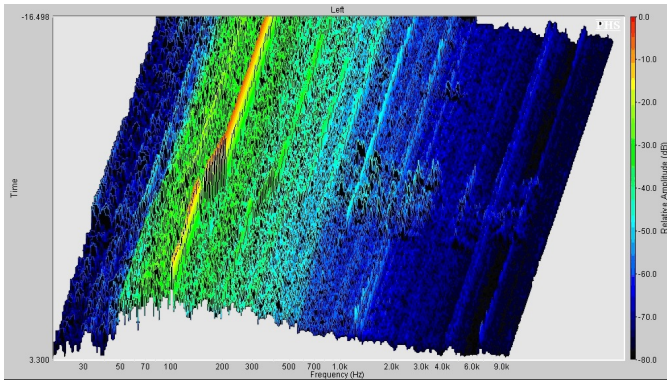


Figure 10: High-resolution 3-D spectrogram of the interior noise in the same airplane during the transition from full power to reduced-power climbing after the start

of SPAD basic analysis of the noise in the cabin of the formerly successful Czech two-engine turboprop TURBOLET L410; again during its take-off and fast climbing flight phase.

The analyzed noise sample was recorded in an airplane with five-blade propellers. Also, in this airplane, the propeller noise dominates very strongly over all the other noise sources, a factor both distinctly perceptible and well-known about this airplane. SPAD analysis shows clearly and accurately how much the propeller noise dominates above all other noise sources during the first minute of the take-off in this case.

Another example of using spectral decomposition and SPAD analysis is in Fig. 12. In this case, analysis has focused on the noise in the cabin of an ultra-light two-seat EuroStar during some of its flight maneuvers. The airplane was equipped with a three-blade propeller, driven by a four-cylinder four-stroke Rotax 912 “boxer” engine, with the standard exhaust muffler.

From the  $F_1$  values, it can be determined or recognized that the traced and decomposed spectral components belong to the propeller noise. During the descending flight

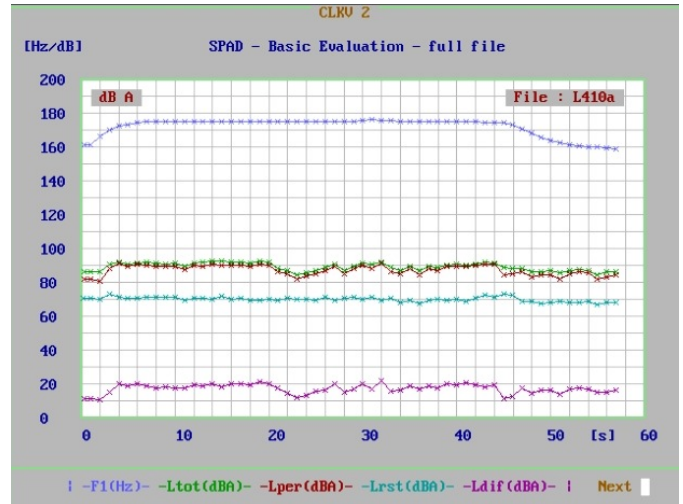


Figure 11: An example of the SPAD analysis of the noise in Czech turboprop TURBOLET L410 (with five-blade propeller) during its start-up and fast climbing flight phase

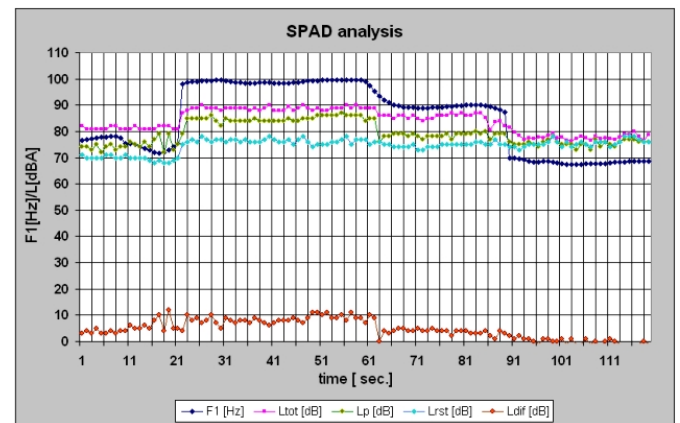


Figure 12: SPAD analysis example of the noise in the cabin of the Czech ultralight two-seater EURO-STAR, as recorded during its different flight maneuvers

phase, at the end of the recording, propeller noise drops below the level of the other noise sources, as the result of considerably decreased rotational speed and nearly zero aerodynamic load of the propeller.

### 3.3. SPAD analysis of propeller aircraft exterior noise

Spectral decomposition and SPAD analysis can as-well be used for rapid evaluation of the external noise of the propeller airplanes. In this case, however, it should be considered that measured or perceived noise can be influenced strongly by its propagation over larger distances. Direct comparison should, then, only be performed on the measurements or noise records that have been done under the same conditions, which means at least with the same flight



height and regime and also with the same location of the measuring point or recording microphone.

The first example of the SPAD analysis of airplane external noise is in Fig. 13. In this case there was analyzed the noise from a small propeller airplane flying at a height of approx. 100m around the measuring point. The recording begins about 15 seconds before the airplane just passed the nearest position to the recording point.

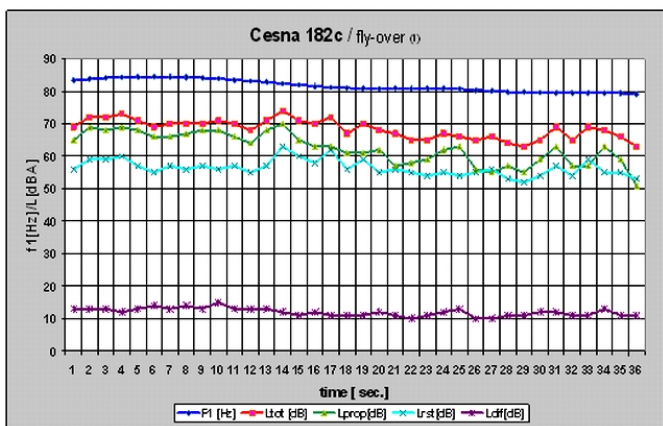


Figure 13: SPAD analysis of the noise from the fly-over of a small propeller airplane (Cesna 182c flying-around in the height approx. 100m above the measuring point)

Noticeable in this case are fluctuations of the noise level. They are caused by sound reflections changing with the position of the airplane and also by the changing multi-path sound propagation conditions. This airplane also had the engine equipped with an efficient exhaust muffler and a two-blade propeller. The propeller noise is about 12 dB(A) above the level of the rest noise.

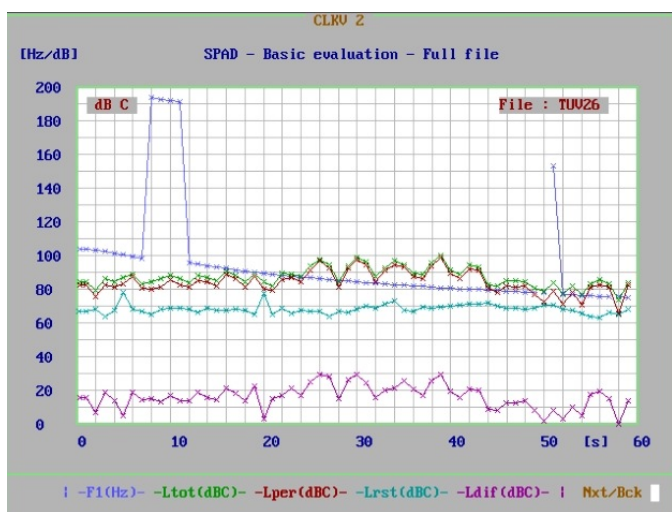


Figure 14: An example of the SPAD analysis of the noise of a large turbopropeller aircraft from its flyover above the recording point about 2 km from the airport, from which it took off

In Fig. 14 is an example of one possible result of SPAD analysis of the noise from a large turboprop flying over at a much larger height and distance from the measuring point. The nearly regular fluctuations of the noise level are caused again by the sound reflections, which change with the position of the airplane and the changing multi-path sound propagation in a non-homogenous atmosphere.

The dominant propeller noise consists of discrete spectral components; therefore its level fluctuates most distinctively. Some discrete spectral components may even drop nearly to zero for a short time, which is why the plotted fundamental frequency suddenly jumped to the second harmonics of the propeller noise for a few seconds. In the broad-band remainder noise these effects align and therefore nearly no fluctuations are visible.

### 3.4. Propeller airplanes with piston engines and frequency merging

Spectral decomposition in its basic form cannot be used if the discrete spectral components of different cyclic processes merge in frequency. This may be the case of small propeller airplanes with piston engines, without a gearbox, e.g. the case of an airplane with a six-cylinder, four-stroke, in-line engine and two-blade propeller, many of which are still in operation in Czech aviation clubs.

In case of six-cylinder, four-stroke, in-line engine and two-blade propellers, the fundamental frequencies of the propeller and engine exhaust noise are in the ratio of 2:3. The first frequency merging occurs in this case at the third harmonics of the propeller noise, and the second harmonics of the engine exhaust. An example of such partial frequency merging is shown in Fig. 15. However, in this case the engines had no exhaust mufflers, only very short pooling pipes.

Dominant in this case is clearly the exhaust noise, as also show the SPAD analysis results in the next Fig. 16.

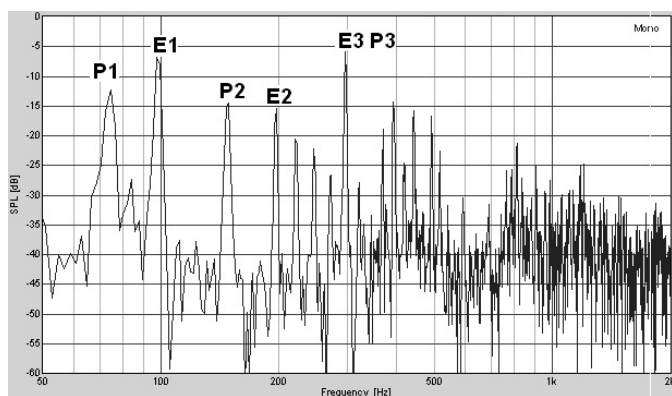


Figure 15: An example of frequency merging in a noise spectrum; airplane L-200 Morava, two six-cylinder in-line engines, two-blade propellers) fly-over about 50m above the measuring point; Pn – propeller spectral components, En-engine spectral components

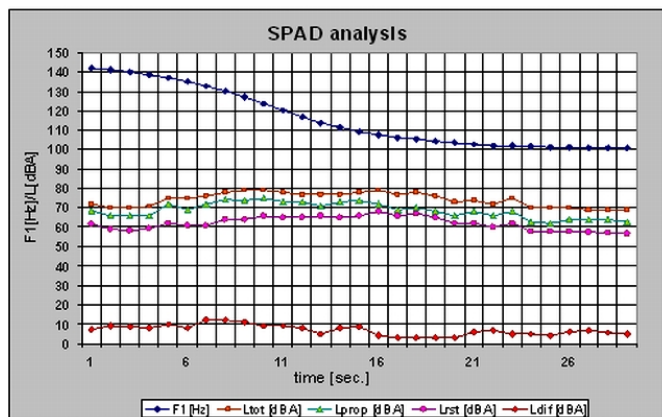


Figure 16: SPAD analysis (first cycle) of the noise from the fly-over of the airplane L-200; the program traced as dominant the exhaust noise, which can be recognized from the  $F_1$  values

In this case, the SPAD program has clearly found as dominant the exhaust noise components. This is evident again from the basic frequencies  $F_1$  values of the decomposed spectral components (in the first decomposition cycle).

Total frequency merging would happen if the older two-blade propeller were replaced by a three-blade one, which, however, would result in not much audible effect unless an efficient exhaust muffler is used. SPAD analysis may still be helpful even in this case, though not in as straightforward a way. One solution can be in comparing the SPAD analysis results with and without an exhaust muffler, under the same conditions otherwise. A relatively simple arithmetic operation on the particular sound pressure levels can yield sufficient results to assess the share of the propeller and engine noise on the overall noise of an airplane.

#### 4. SUMMARY

High-resolution spectral analysis is a well-known tool in noise abatement. The only drawback of high-resolution spectral analysis is that it mostly shows too many details, the majority of which are not perceptible individually and therefore not relevant to the perceived noise. Another drawback is that accurate detailed “hand-made” evaluation of spectrograms can be quite time-consuming.

Spectral decomposition basically makes it possible to separate and extract significant noise components from complex noise signals. In comparison with other similarly aimed methods, spectral decomposition needs no special instrumentation, and can run in real time or faster on any contemporary computer. It has proved very useful in accurate evaluation of different discrete noise components in complex noise signals.

In application to propeller aircraft, spectral decomposition makes it possible to separate or extract first of all the propeller or engine noise from the remaining noise compo-

nents. The decomposed components can be evaluated independently and therefore more accurately. With spectral decomposition, it is also possible continuously to trace and separately evaluate the propeller noise in the overall noise during changing flight conditions or flight maneuvers.

The spectral decomposition concept is quite transparent, and the method of how the noise is analyzed and evaluated is easily understandable. Both spectral analysis and spectral decomposition need no unique instrumentation, merely a high-quality digital sound capturing or recording facility and a computer with suitable software. The SPAD (Spectral Analysis and Decomposition) experimental software pack is only one of several relatively new tools for noise analysis and control of propeller-driven airplanes.

#### Reference

- [1] Fahy, F. J., *Sound Intensity* 2nd ed., E & FN Spon, London, 1995.
- [2] Gade, S., Ginn, K. B., Cornu, P.: Sound intensity measurements inside aircraft, Brüel & Kjær Application Notes, 2005.
- [3] Jacobsen, F., deBree, H.: A comparison of two different sound intensity measurement principles, *Journ. Acoust. Soc. America.*, Vol. 118, No. 3, Pt. 1, September 2005.
- [4] Microflown technology E-book [www.microflown.com/r&d\_books\_Ebook\_Microflown.htm]
- [5] Maynard, J. D., Williams, E. G. and Lee, Y.: Near-field acoustic holography: I. Theory of generalized holography and the development of NAH, *Journ. Acoust. Soc. America*, Vol. 78, pp. 1395–1413, 1985.
- [6] CREDO (Cabin Noise Reduction by Experimental and Numerical Design Optimisation); Dissemination Meeting Program, Praha, 17. 4. 2009 [http://mm.univpm.it/credo]
- [7] Sawada, H., Mukai, R., Araki, S. and Makino, S.: Multiple source localization using independent component analysis, *Proc. APSURI*, 2005.
- [8] Lombard, A., Rosenkranz, T., Buchner, H., Kellermann, W.: Multidimensional localization of multiple sound sources using averaged directivity patterns of blind source separation systems, *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 233–236, Taipei, Taiwan, Apr. 2009.
- [9] Hubbard, H. H. (edit.) : *Aeroacoustics of flight vehicles, theory and practice*, Vol. 1, 2; NASA Reference Publication 1258, Washington, D.C. [Springfield, National Technical Information Service, 1994]

- [10] Farassat, F., Brentner, K. S.: The Acoustic Analogy and the Prediction of the Noise of Rotating Blades, Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Volume 10, Numbers 1–4, January, 1998.
- [11] Farassat, F.: Derivation of Formulations 1 and 1A of Farassat, NASA/TM-2007-214853, Langley Research Center, Hampton, Virginia, March, 2007.
- [12] Campos, L. M., Lau, F. J.: On Propeller Acoustics Design Synthesis Using Source Distributions Along Blade Span; 12th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (27th AIAA Aeroacoustics Conference), 8–10 May 2006, Cambridge, Massachusetts
- [13] Kallergis, M.: Possibility of active propeller-noise suppression in piston-engine aircraft by changing the phase relation between the propeller and exhaust signals; *Journal d'Acoustique* (ISSN 0988-4319), vol. 2, Dec. 1989, p. 401–406.
- [14] Gardonio, P.: Review of Active Techniques for Aerospace Vibro-Acoustic Control; *Journ Aircraft*, Vol. 39, No. 2, March–April 2002.
- [15] Elliot, S. J., Gardonio P., et al.: Active vibroacoustic control with multiple local feedback loops, *Journ. Acoust. Soc. America*, Vol. 111(2), pp. 908–915, 2002.
- [16] Colin, R.: Active Control of interior Noise in Aircraft. (Ultra Electronics, UK); 9th CEAS-ASC Workshop “Active Control of Aircraft Noise: Concept to Reality”, 10–11 November 2005, KTH Stockholm, Sweden.
- [17] Preumont, A.: Vibration Control of Active Structures, an Introduction; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2002.
- [18] González, D., Cr.: Active structural acoustic control smart panel with small scale proof mass actuators, *Doctoral Thesis*, Univ. of Southampton, 2007.
- [19] Salava, T., Šloufová, M.: Spectral Decomposition in Noise Abatement of Propeller Driven Airplanes; *Czech Aerospace Proc.*, No. 3, pp. 22–25, 2005.
- [20] Salava, T.: Program SPAD and its Use in Noise Abatement of Propeller Driven Airplanes, *Czech Aerospace Proc.*, No. 3., pp. 14–18, 2006.
- [21] Salava, T.: Program SPAD pro analýzu hluku vrtulových letadel (verze 0.8), zpráva VZLÚ č. R-4421, 2008.

# Oslabení okluzí v promluvách pacientů s Parkinsonovou chorobou

Roman Čmejla<sup>a</sup>, Jan Rusz<sup>a, b</sup> a Hana Ružičková<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Katedra teorie obvodů, ČVUT–FEL, Technická 2, 166 27 Praha 6

<sup>b</sup>Univerzita Karlova v Praze, Laboratoř biokybernetiky a počítačové podpory výuky,

Ústav patologické fyziologie 1. LF UK, U Nemocnice 5, 128 53 Praha 2

<sup>c</sup>Univerzita Karlova v Praze, Neurologická klinika 1. LF UK a VFN, Kateřinská 30, 128 21 Praha 2

e-mail: [ruszj1;mejla]@fel.cvut.cz, hruzi@email.cz

This paper deals with the analysis of occlusive weakening in the repeated utterances /pa-ta-ka/, which arise as a result of inaccurate articulation in patients with Parkinson's disease (PD) and compares them with the utterances of participants in the healthy control group (HC). From the perspective of the acoustic analysis the noise is present during occlusive, which can be seen in the signal histogram, in energy waveform and difference of energy, and in longtime spectrum. This work provides simple robust statistical parameters that are selected with regard to the diversity of talk PD and HC and can be obtained without labeling. For all eleven parameters are obtained statistical significance  $p < 0.001$ . The study thus complements the previously published acoustic analysis of patients with Parkinson's disease.

## 1. Úvod

Explozivních spojení /pa-ta-ka/ je ve foniatričké praxi často používáno pro posouzení motorických schopností artikulačního ústrojí, kdy je pacient požádán, aby opakoval nejvyšší možnou rychlostí trojici slabik /pa/, /ta/ a /ka/. Takováto kombinace souhlásek rovnoměrně zatěžuje hlasový trakt od artikulace oboustranné explozivní /p/ přes předodásňové /t/ až po měkkopatrové /k/. Řada publikovaných prací se zaměřuje na hodnocení časové, případně rytmické složky promluvy (tzv. diadochokinezi a její rozptyl) a opomíjí skutečnost, že podstatné informace o artikulaci jsou obsaženy také ve změnách intenzity a ve spektru signálu, např. [1].

V článku [2] jsou popsány významné rozdíly v intenzitě promluv mezi skupinou s výskytem Parkinsonovy nemoci (PN) a kontrolní skupinou (KS). V článku [3] jsou pak uváděny nové míry artikulace založené na průběhu druhého formantu a na rozložení spektrálních změn.

Práce [4] si všímá omezených schopností artikulace okluzí pacientů s PN při vyslovování opakovaných explozivních spojení a studie [5] se zabývá analýzou tzv. oslabení při produkci exploziv, kdy veškeré hodnotící míry v práci byly získány na základě detailního studia časových průběhů, širokopásmových spektrogramů a poslechem v programovém prostředí Praat. Uvedená měření jsou spojena s nesmírně časově náročným a pracným subjektivním stanovením hranic jednotlivých měřených intervalů při labelování databází explozivních kontextů, což také bývá zdrojem chyb.

Tato studie si všímá akustických projevů oslabení okluzí vlivem nepřesné artikulace a možnostmi jejich popisu pomocí robustních statistických parametrů bez nutnosti segmentace a labelování promluv. Doplnuje tak akustické analýzy promluv pacientů s Parkinsonovou nemocí

publikované v předcházejících vydáních Akustických listů [2, 3, 6].

## 2. Databáze

Této studii se účastnilo 19 českých pacientů (17 mužů a 2 ženy) s dosud farmakologicky neléčenou PN, ve srovnání s 20 osobami KS (13 mužů a 7 žen). Všichni účastníci studie byli požádáni o rychlé opakování kombinace slabik /pa-ta-ka/. Z důvodu větší přesnosti výsledků byli požádáni o opakování této promluvy, přičemž bylo pořízeno 50 promluv od pacientů s PN a 66 promluv KS.

Nahrávky pro všechny pacienty s PN byly pořízeny v odhlučněné místnosti (< 45 dB) Neurologické kliniky 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze ve vysoké kvalitě s vzorkovací frekvencí 48 kHz.

Pro zpracování přehledové kapitoly 3.1 byla použita pouze část databáze. V kapitolách 3.2 a 4 bylo použito rozšířené databáze promluv.

## 3. Explozivy a jejich charakteristiky

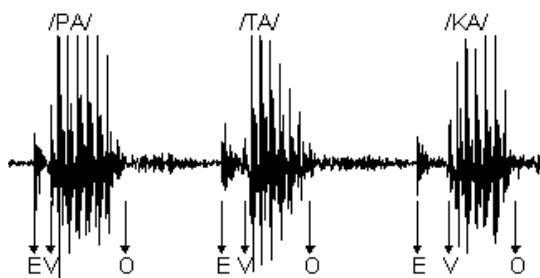
Společným artikulačním rysem explozivních souhlásek, neznelých (/p/, /t/, /t̥/, /k/) i znelých (/b/, /d/, /d̥/, /g/), je vytvoření úplné překážky výdechovému proudu vzduchu, během kterého dochází ke zvětšení tlaku vzduchu pod místem uzavření (okluze) a k následnému uvolnění, které je doprovázeno produkcí charakteristického šumu (exploze). Dále dochází k ovlivnění následující hlásky, tzv. přechodu neboli tranzientu. Celá tato struktura, *okluze-exploze-tranzient*, je typická pro všechny výše uvedené hlásky a je nezávislá na mluvčím. V důsledku nevýrazné a zjednodušené artikulace dochází ke značné variabilitě exploziv.

Explozivy se třídí podle artikulačního místa vytvoření překážky: i) bilabiální (retné) /p/ a /b/, ii) alveolární (dásňové) /t/ a /d/, iii) palatální (předopatrové); iv) velární (zadopatrové) /k/ a /g/. Rozdělení exploziv na znělé a neznělé je z akustického pohledu podle přítomnosti či nepřítomnosti základního hlasivkového tónu během okluze.

Následující kapitola 3.1 přináší souhrn popisu akustických vlastností neznělých exploziv [7–10], v kapitole 3.2 jsou uvedeny původní výsledky akustické analýzy promluv /pa-ta-ka/ se zaměřením na charakteristiky zvýrazňující rozdílnost promluv PN a KS.

### 3.1. Popis exploziv

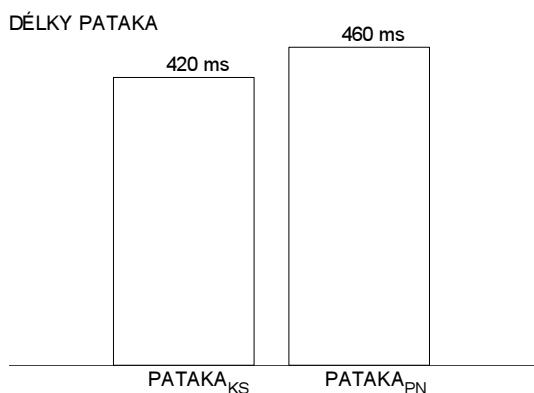
Na obrázku 1 je zobrazen typický průběh explozivního spojení /pa-ta-ka/ s vyznačením počátků jednotlivých segmentů. „E“ představuje časový okamžik počátku exploze, „V“ počátek samohlásky a „O“ počátek okluze.



Obrázek 1: Časový průběh promluvy /pa-ta-ka/ od účastníka z KS

#### Délka promluvy /pa-ta-ka/

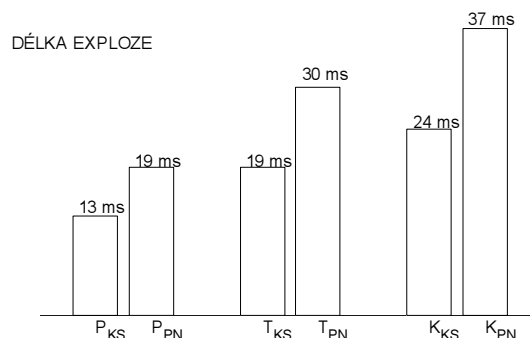
Průměrná délka jedné promluvy /pa-ta-ka/ koresponduje s rychlostí promluvy, které byla věnována studie v [2]. Na obrázku 2 vidíme, že průměrná délka promluvy PN je asi o 10 % delší oproti délce promluvy KS.



Obrázek 2: Průměrná délka promluvy /pa-ta-ka/. Pro vykreslení grafu byly použity hodnoty z [10] od 11 PN a 11 KS

#### Exploze

Kontextová exploze bývá nejčastěji popisována v časové oblasti jako vzdálenost od vzorku „E“ ke vzorku „V“, viz obrázek 1. Na obrázku 3 můžeme sledovat postupně narůstající délku exploze  $l$ , kdy  $l/pa/ < l/ta/ < l/ka/$ , přičemž délky jsou vždy kratší ve skupině KS. V literatuře bývá také uváděna délka intervalu VOT (Voice Onset Time), tedy doba od počátku exploze až do vzniku základního hlasivkového tónu, která u neznělých exploziv koreluje s délkou exploze.

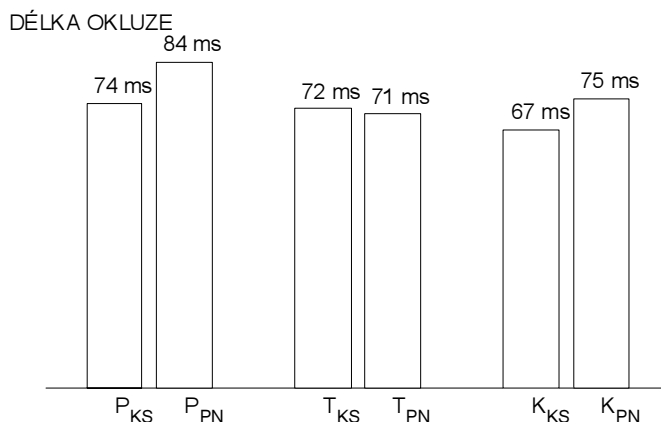


Obrázek 3: Průměrná délka neznělých okluzí pro KS a PN. Pro výpočet grafu bylo použito pět opakování promluvy /pa-ta-ka/ od 19 pacientů s PN a 21 účastníků KS

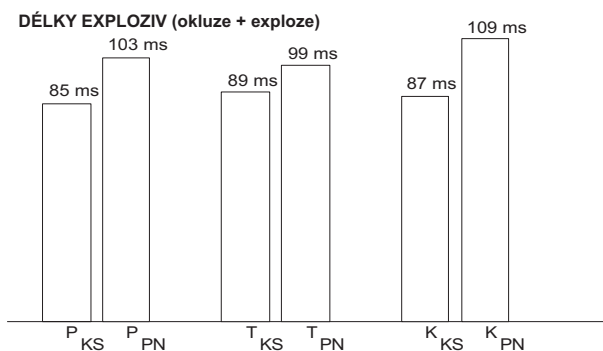
V řadě prací se také uvádí popis exploze pomocí spektra [7–9, 11, 12], kdy bilabiální explozivy jsou popisovány pomocí spektrálního modelu s vrcholem na nízkých frekvencích do 2 kHz, alveolární s vrcholem nad 4 kHz a velární s vrcholem mezi 2 až 4 kHz. Nicméně, automatická (ale i ruční) detekce explozí, vhodných pro spektrální analýzu, je zvláště v promluvách PN prakticky nemožná.

#### Okluze

V obrázku 1 je délka okluze měřena jako časový úsek od vzorku „O“ ke vzorku „E“. Přesné určení počátku okluze



Obrázek 4: Průměrná délka neznělých okluzí pro KS a PN od 11 pacientů PN a 11 osob KS. Pro vykreslení grafu byly použity hodnoty z [10]



Obrázek 5: Průměrná délka neznělých exploziv (okluzí a explozí) pro KS a PN od 11 PN a 11 KS. Pro vykreslení grafu byly použity hodnoty z [10]

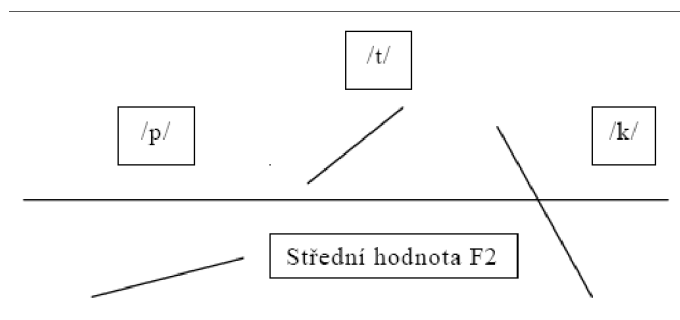
může být velmi obtížné. Při jeho ručním odečítání pečlivě porovnávané časový průběh se širokopásmovým spektrogramem, sledujeme průběh intenzity a okamžité frekvence hlasivkového tónu. Při automatické detekci počátku okluze lze použít diference energetického průběhu, kdy se počátky okluzí určují jako lokální minimum mezi samohláskou a explozí [9, 10].

Obrázek 4 ilustruje průměrnou délku okluzí všech exploziv ve skupinách PN i KS. Vidíme, že délky jsou podobné, přičemž nezáleží na místě artikulace, ani na skupině PN či KS. Uvažujeme-li délku celé souhlásky (součet okluze a exploze), viz obrázek 5, pak opět vyniká rozdíl mezi skupinami PN a KS, rozdíl pro jednotlivé souhlásky je však minimální.

Rozdíly mezi délkou exploziv na obr. 5 a součtem explozí z obr. 3 a okluzí z obr. 4 v řádu jednotek ms vznikly ve způsobu odečítání počátku okluze, jejíž hodnoty byly kvantovány velikostí překrytí okna při výpočtu energie.

### Tranzienty

Pro určení místa artikulace exploziv jsou významné přechody formantových kmitočtů od exploze do samohlásky, tzv. tranzienty. Směrnice tranzientů se zpravidla určují z velikostí formantů na počátku samohlásky a v pevně da-



Obrázek 6: Schéma vzorů tranzientu druhého formantu u promluvy /pa-ta-ka/ ve skupině od 21 KS (obrázek je převzat z práce [15])

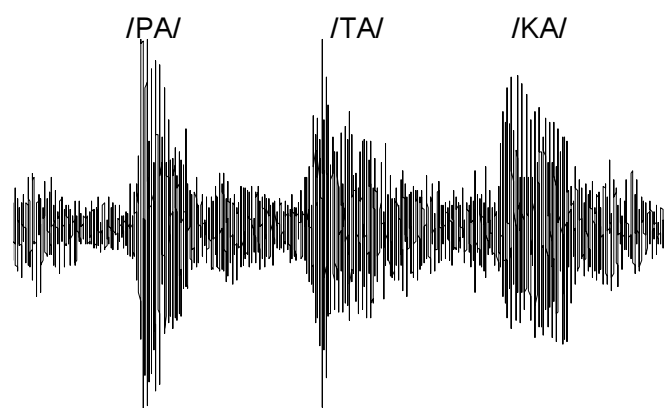
ném čase. Vzhledem k velmi rychlému sledu slabik /pa-ta-ka/, a tedy výskytu velmi krátkých samohlásek, byla jako kompromisní hodnota při ručních i automatických analýzách uvažována délka tranzientů 30 ms (od vzorku „V“).

V literatuře jsou často publikovány tranzienty izolovaných slabik /pa/, /ta/ a /ka/, např. [14, 15], kdy směrnice tranzientů /pa/ jsou kladné a /ta/ a /ka/ záporné.

V důsledku velmi rychlé artikulace a vzájemného ovlivňování okolních slabik však dochází k jevu, při kterém tranzient /ta/ změní směrnici ze záporné na kladnou. Obrázek 6 byl vytvořen na základě ručního i automatického hodnocení směrnic tranzientů ve skupině KS a vztažen ke střední hodnotě druhého formantu promluvy [15]. V obrázku vidíme, že kladné směrnice tranzientu druhého formantu slabik /pa/ a /ta/ jsou následovány tranzientem /ka/ s vyšší zápornou strmostí. Druhý formant, který koreluje se změnami uvnitř dutiny ústní (s pohybem jazyka), tak v opakovaných promluvách vytváří periodický střídavý průběh kolem hodnoty F2. Z hodnocení této periodicity, kterou skupina PN není schopna vytvořit, vycházela původní metoda hodnotící artikulaci [3].

### 3.2. Analýza promluv /pa-ta-ka/

Automatické hodnocení individuálních charakteristik exploziv pro účely diagnostiky je relativně obtížné, neboť do hodnocení jsou zanášeny chyby vznikající při detekci hranic jednotlivých segmentů (exploze, okluze, vokál). Použijeme-li však opakovaných promluv /pa-ta-ka/, získáme signál, který je velmi vhodný k diagnostice dysartrických promluv s použitím jednoduchých, a přitom dostatečně robustních statistik.



Obrázek 7: Příklad promluvy /pa-ta-ka/ ve skupině PN. V těchto promluvách bývá velmi problematická jednoznačná segmentace okluze-exploze-vokál

### Oslabení okluzí

V opakovaných promluvách /pa-ta-ka/ lze v promluvách parkinsoniků sledovat artikulaci změny projevující se existencí tzv. oslabených okluzí, při kterých nedochází během okluze při rychlém opakování k takovému uzavření

vokálního traktu, jaké bývá pozorováno u zdravých osob, viz obrázky 1 a 7.

Z akustického pohledu je během oslabené okluze přítomen šum, který lze sledovat v histogramech průběhů signálů (obr. 8) v průběhu energie (obr. 9) a její difference (obr. 10) a v průměrovaných dlouhodobých periodogramech (obr. 11).

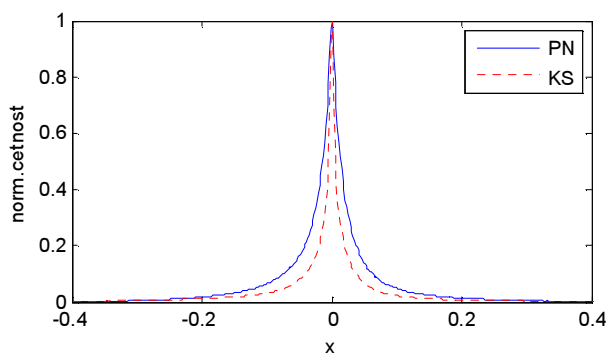
Z uvedených vlastností vyplývají jednoduché robustní charakteristiky, které popisují oslabenou okluzi z různých pohledů.

### Histogram

V časovém průběhu signálu je v signálech KS větší množství dokonalých závěrů, a tudíž i více signálových vzorků s hodnotami blízko nuly, což vytváří užší histogram. Naopak, nárůst šumu během okluze ve skupině PN histogram rozšiřuje, což je ilustrováno na obrázku 8.

Parametrem, kterým lze snadno uvedený jev popsat, je směrodatná odchylka (rozptyl) signálu

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(x - \mu_x)^2}{N}}. \quad (1)$$



Obrázek 8: Histogramy promluv /pa-ta-ka/ pro PN a KS

### Energie

Energie promluv je počítaná klouzavými průměry v okně o délce  $L$  vzorků

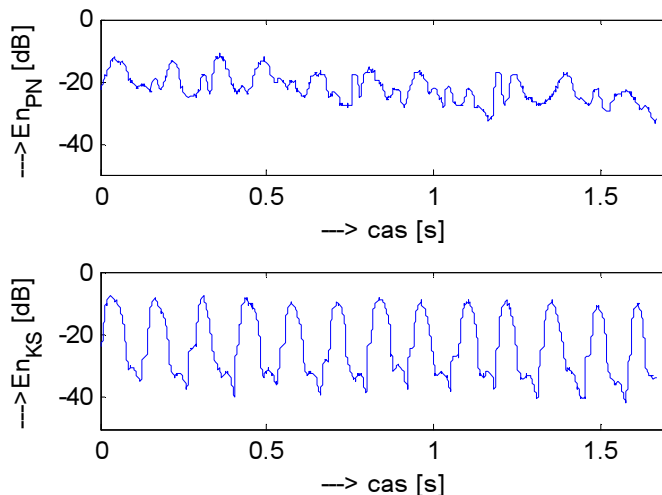
$$En[n] = 10 \log(x^2[n] + \dots + x^2[n - L + 1]) / L \quad (2)$$

a její průběh pro skupiny PN a KS je vyneseno v obrázku číslo 9.

Nárůst energií během okluzí, tedy přítomnost oslabené okluze, způsobí významný rozdíl mezi minimální a maximální energií promluvy, přičemž minima jsou určena energií během okluze a maxima energií během trvání vokálu.

Hledaný rozkmit energií lze popsat pomocí směrodatné odchylky  $\sigma_{En}$  nebo rozdílem špičkových hodnot ve stanoveném úseku, např. o délce 0,5 sekundy

$$R_{En} = \max(En) - \min(En). \quad (3)$$



Obrázek 9: Horní obrázek zobrazuje časový průběh energie opakované promluvy /pa-ta-ka/ od pacienta PN, spodní obrázek je od účastníka KS

### Diference signálu

Diference signálu představuje průchod signálu horní propustí

$$x_{\text{diff}}[n] = x[n + 1] - x[n]. \quad (4)$$

K použití této filtrace nás motivuje skutečnost, že podstatná informace o oslabení okluze je obsažena ve vyšších složkách frekvenčního spektra. Použijeme-li takto filtrovaný signál, získáváme další jednoduché statistické parametry pro popis promluvy.

Energie diferencovaného signálu je

$$En_{\text{diff}}[n] = 10 \log(x_{\text{diff}}^2[n] + \dots + x_{\text{diff}}^2[n - L + 1]) / L, \quad (5)$$

směrodatná odchylka diferencovaného signálu  $\sigma_{En-\text{diff}}$  a rozkmit energie diferencovaného signálu

$$R_{En-\text{diff}} = \max(En_{\text{diff}}) - \min(En_{\text{diff}}). \quad (6)$$

### Diference energie

Popis pomocí difference energie v sobě zahrnuje vliv artikulační rychlosti, viz obr. 10

$$dEn[n] = En[n + 1] - En[n]. \quad (7)$$

Průběh difference energie vykazuje rovněž nižších hodnot v promluvách PN v důsledku menší dynamiky.

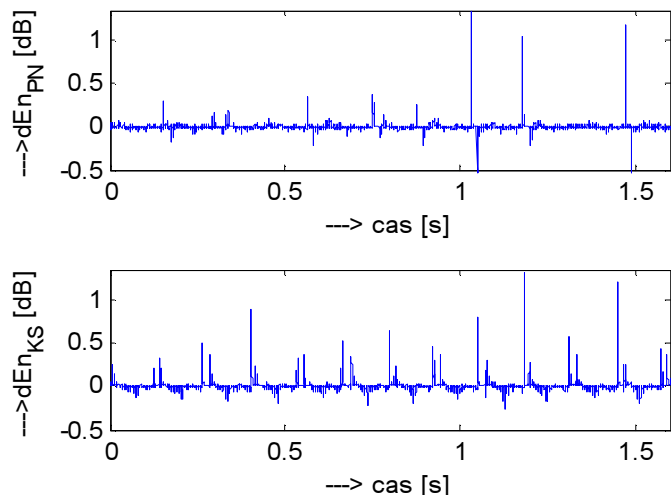
Rozdílnost průběhů můžeme hodnotit pomocí střední hodnoty difference energie signálu

$$\mu_{dEn} = \frac{1}{N} \sum |dEn|, \quad (8)$$

a směrodatné odchylky difference energie signálu  $\sigma_{dEn}$ .

S použitím difference energie diferencovaného signálu

$$dEn_{\text{diff}}[n] = En_{\text{diff}}[n + 1] - En_{\text{diff}}[n] \quad (9)$$



Obrázek 10: Horní obrázek zobrazuje časový průběh difference energie opakované promluvy /pa-ta-ka/ od pacienta PN, spodní obrázek je od účastníka KS

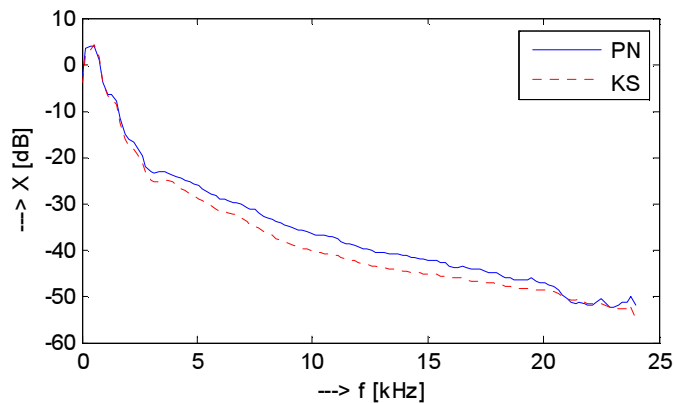
získáváme další parametry, jakými jsou střední hodnota difference energie diferencovaného signálu

$$\mu_{dEn-diff} = \frac{1}{N} \sum |dEn_{diff}| \quad (10)$$

a směrodatná odchylka difference energie diferencovaného signálu  $\sigma_{dEn-diff}$ .

### Dlouhodobé spektrogramy

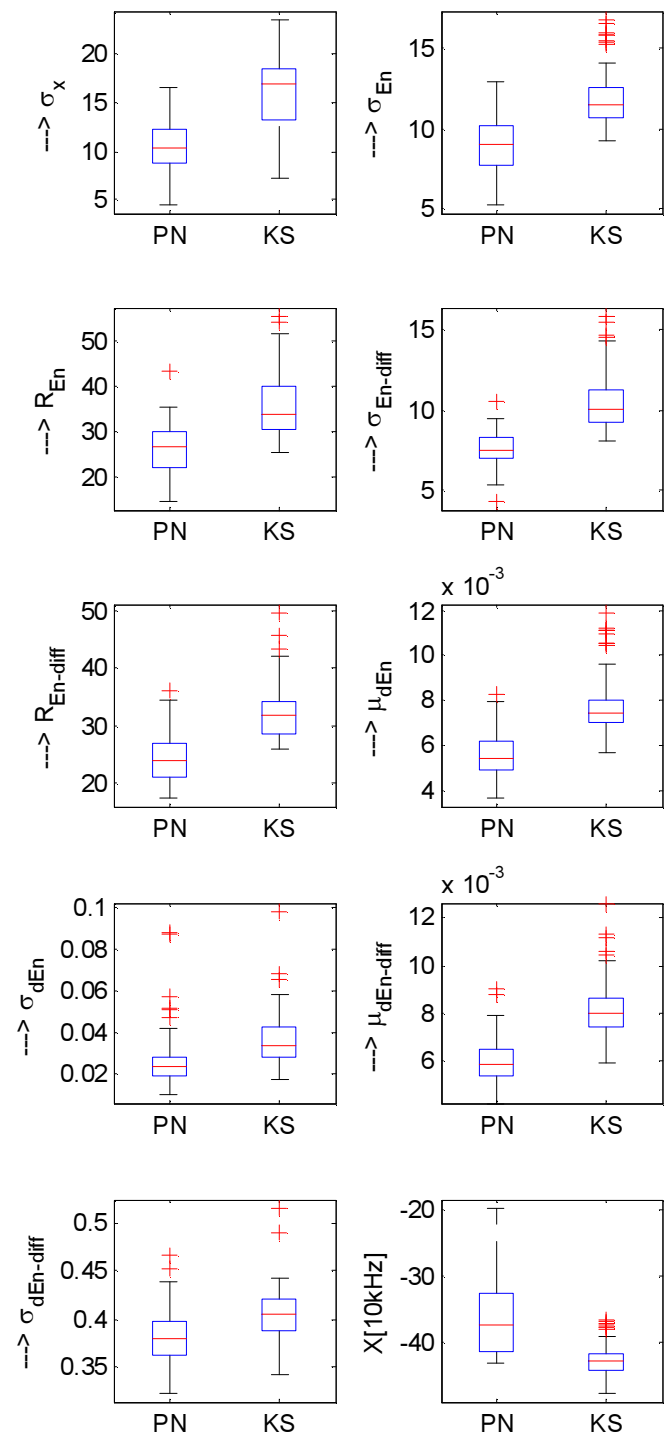
V dlouhodobém spektru se oslabené okluze projevují nárůstem šumu na vyšších frekvencích nad 1 kHz, viz obrázek 11. Pro hodnocení oslabení okluze byla odečtena spektrální čára na kmitočtu 10 kHz z průměrovaného dlouhodobého FFT spektra (parametr  $X$  [10 kHz]) a v případě spektra diferencovaného signálu byl odečten parametr  $XD$  [10 kHz].



Obrázek 11: Průměrovaná dlouhodobá FFT spektra ve skupinách PN a KS

### 4. Experimentální výsledky

Při zpracování signálů bylo použito různých délek oken. Parametry  $\sigma_{En}$ ,  $R_{En}$ ,  $\sigma_{En-diff}$ ,  $R_{En-diff}$ ,  $X$  [10 kHz] a  $XD$  [10 kHz] byly analyzovány v okně o délce 512 vzorků (10,7 ms) a parametry  $\mu_{dEn}$ ,  $\sigma_{dEn}$ ,  $\mu_{dEn-diff}$  a  $\sigma_{dEn-diff}$  v okně o délce 2048 vzorků (42,7 ms).



Obrázek 12: Statistické vyhodnocení parametrů promluvy /pa-ta-ka/ ve skupinách PN a KS



Výsledky experimentů shrnuje tabulka 1 a obrázek 12. Pro všechna měření byla stanovena střední hodnota a směrodatná odchylka a výsledky byly ověřeny statistickými  $t$ -testy. U všech parametrů byla dosažena statistická významnost  $p < 0,001$ . Na obrázku 12 chybí statistické vyhodnocení parametru  $XD$  [10 kHz], neboť jeho grafické znázornění je identické s parametrem  $X$  [10 kHz], což naznačuje i poslední řádek v tabulce 1.

	$\mu_{PN}$	$\sigma_{PN}$	$\mu_{KS}$	$\sigma_{KS}$
$\sigma_x$	10,56	2,67	15,56	4,41
$\sigma_{En}$	8,86	1,57	11,9	1,82
$R_{En}$	26,4	5,61	35,8	7,08
$\sigma_{En-diff}$	7,57	1,18	10,4	1,77
$R_{En-diff}$	24,4	4,44	32,5	4,91
$\mu_{dEn} \cdot 10^3$	5,5	1,1	7,8	1,4
$\sigma_{dEn} \cdot 10^2$	2,8	1,6	3,7	1,4
$\mu_{dEn-diff} \cdot 10^3$	6,0	1,0	8,1	1,4
$\sigma_{dEn-diff} \cdot 10^2$	38,0	2,8	41,0	2,8
$X$ [10 kHz]	-35,9	6,31	-42,6	2,56
$XD$ [10 kHz]	-34,5	6,31	-41,2	2,56

Tabulka 1: Střední hodnoty a směrodatné odchylky hodnocených parametrů pro skupiny PN a KS

Vyšší vzájemnou míru korelace ( $R > 0,8$ ) vykazují mezi sebou pouze charakteristiky  $\sigma_{En}$ ,  $\sigma_{En-diff}$ ,  $\mu_{dEn}$  a  $\mu_{dEn-diff}$ . Uvedené čtyři charakteristiky vykazují rovněž nepatrně vyšší míru korelace s klasifikací zdravý/nemocný.

## 5. Závěr

První část článku uvádí přehled akustických charakteristik neznělých exploziv s ilustracemi typických hodnot v promluvách PN a KS. Pořízení těchto charakteristik však vyžaduje nutnost velmi přesné segmentace promluv, která je v případě ruční analýzy často velmi subjektivní a v případě automatické detekce zatížena chybami.

Předložená studie, uvedená ve druhé části článku, přináší jedenáct jednoduchých robustních statistických parametrů, které vedou k objektivizaci a jsou velmi vhodné pro hodnocení opakovaných promluv /pa-ta-ka/. Parametry jsou založeny na existenci oslabené okluze, která je pozorována u pacientů s PN. Z akustického pohledu je pro tyto okluze významný šum v oblasti nad 1000 Hz, který je pozorovatelný v histogramech, dlouhodobých periodogramech a v energii signálů.

Testované promluvy jednoznačně vystihují významné rozdíly v artikulaci explozivních spojení mezi skupinami PN a KS, kdy všechny dosahují statistické významnosti  $p < 0,001$ .

Použité parametry jsou implementačně nenáročné, nevyžadují labelování ani přesnou detekci jednotlivých segmentů promluvy a jeví se jako velmi perspektivní pro realizaci možných systémů hodnocení dysartrie v reálném čase.

## Poděkování

Tato práce je podporována z výzkumných záměrů „Transdisciplinární výzkum v oblasti biomedicínského inženýrství“ (MSM 6840770012), „Neuropsychiatrické aspekty neurodegenerativních onemocnění“ (MSM 0021620849) a (MSM 0021620806), grantů „Analýza a modelování biologických a řečových signálů“ (GAČR 102/08/H008) a Rozpoznávání mluvené řeči v reálných podmínkách (GAČR 102/08/0707), projektů „Non-motorické projevy Parkinsonovy nemoci“ (IGA MZČR NR9220) a (MSM 2C06031), a firmou Creative Connection, s. r. o.

Autoři děkují MUDr. Janě Picmausové, MUDr. Veronice Majerové, MUDr. Jirému Klempířovi, Ph.D., a doc. MUDr. Janu Rothovi, CSc., za poskytnutí souboru klinických dat a prof. MUDr. Evženu Růžičkovi, DrSc., za koncepci a vedení klinické studie a za připomínky k rukopisu.

## Reference

- [1] D'Alatri, L., Paludetti, G., Contarino, M. F., Galla, S., Marchese, M. R., Bentivoglio, A. R.: *Effects of bilateral subthalamic nucleus stimulation and medication on parkinsonian speech impairment*. J. Voice. 2008 May; 22(3), 365–72.
- [2] Rusz, J., Čmejla, R.: *Analýza rychlosti řeči a intenzity u Parkinsonovy nemoci*, Akustické listy, 2008, 14(2–4), s. 13–16.
- [3] Rusz, J., Čmejla, R., Růžičková, H.: *Formantová analýza a nové metody pro hodnocení míry artikulace u Parkinsonovy nemoci*, Akustické listy, 2009, 15(2), s. 3–8.
- [4] Ackerman, H., Ziegler, W.: *Articulatory deficits in Parkinsonian dysarthria: an acoustic analysis*, Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry; 54: 1093–1098, 1991.
- [5] Duez, D.: *Acoustic analysis of occlusive weakening in Parkinsonian French speech*, Proc. International Congress of Phonetic Sciences, 4p., Saarbrücken, Germany (2007).
- [6] Rusz, J., Čmejla, R., Růžičková, H.: *Analýza základní frekvence, amplitudového a frekvenčního kolísání hlasivek u Parkinsonovy nemoci*, Akustické listy, 2009, 15(1), s. 13–18.
- [7] Stevens, K.: *Acoustic Phonetics*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999.
- [8] Blumstein, S. E., Stevens, K. N.: *Acoustic invariance in speech production: Evidence from measurements of the spectral characteristics of stop consonants*, J. Acoust. Soc. Am. 66, 1979, s. 1001–1017.
- [9] Čmejla, R.: *Rozpoznávání exploziv v řečovém signálu*, kandidátská disertační práce, ČVUT Praha, 1992.

- [10] Kropelnický, R.: *Analýza řeči pacientů s Parkinsonovou chorobou*, Diplomová práce, ČVUT FEL, Praha, 2008.
- [11] Sönmez, M. K., Plauche, M., Shriberg, E., Franco, H.: *Consonant Discrimination in elicited and Spontaneous Speech: A Case for Signal-adaptive Front Ends in ASR*, Proc. of ICSLP 2000, Beijing, China, October 2000.
- [12] Plauche, M., Sönmez, M. K.: *Machine Learning Techniques for Identification of Cues for Stop Place*, Proc. of ICSLP 2000, Beijing, China, October 2000.
- [13] Barzagli, L., Madureira, S.: *Production and perception of stop consonants by a hearing-impaired Brazilian subject*, In: *Phonetics and Phonology, 2005, Iberia*. Phonetics and Phonology in Iberia, 2005.
- [14] Harrington, J., Cassidy, S.: *Techniques in Speech Acoustics* (Text, Speech & Language Technology), Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, 1999.
- [15] Miškovský, J.: *Hodnocení tranzientů v řečovém signálu*, Diplomová práce, ČVUT FEL, Praha, 2009.



