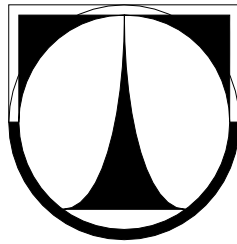


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2010

**Radek Lacina**

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802R022 – Informatika a logistika

## **Vyhodnocení pohybu bodu odtržení proudění při kmitání hlasivek**

## **Quantification of the flow separation point movement in vocal fold vibration**

### ***Bakalářská práce***

Autor: **Radek Lacina**

Vedoucí práce: Ing. Petr Šidlof, Ph.D.

**V Liberci 4. 1. 2010**

# Zadání bakalářské práce

Jméno a příjmení studenta: Radek Lacina

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 stran

Název práce český:

Vyhodnocení pohybu bodu odtržení proudění při kmitání hlasivek

Název práce anglický:

Quantification of the flow separation point movement in vocal fold vibration

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou proudění v uzavřených kanálech, konfuzorech a difuzorech, se základy fyziologie a funkce lidských hlasivek (zejména z hlediska proudění).
2. Seznamte se se základními principy metody PIV (Particle Image Velocimetry).
3. Pomocí vhodného softwaru na poloautomatickou analýzu obrazu (například Olympus i-Speed2) kvantifikujte souřadnice bodu odtržení proudění na kmitajícím modelu hlasivek. Data naměřená metodou PIV budou dodána. Při vyhodnocení vycházejte přímo z dvojsnímků rychlostní kamery, které poskytují vyšší prostorové rozlišení než vypočítaná vektorová pole.
4. Vyhodnoťte pohyb bodu odtržení během kmitání hlasivky pro různé náběžné rychlosti proudění.

Seznam odborné literatury:

[1] Ježek, Váradiová, Adamec: Mechanika tekutin. Skripta FS ČVUT

[2] Titze, I.R., Principles of Voice Production, National Center for Voice and Speech, Denver, 2000. ISBN 0-87414-122-2

Vedoucí BP: Ing. Petr Šidlof, Ph.D.



# Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval (a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych nejvíce poděkovat panu Ing. Petru Šidlofovi, Ph.D, který mě celou dobu vedl a držel při psaní. Samozřejmě i za jeho ochotu poskytovat mi důležité informace a za trpělivost, kterou se mnou měl.

Nakonec rodičům a přítelkyni, kteří mi poskytovali příjemné prostředí pro psaní bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá vyhodnocením pohybu bodu odtržení proudění při kmitání modelu hlasivek. S tím bylo spojeno seznámení s vlastnostmi konfuzoru, difuzoru, hlasivek a sblížíme se s metodou PIV. Pro kvantifikaci pohybu bodu odtržení byl použit program Olympus i-Speed 2. Naměřené hodnoty se posléze vyhodnocovaly a ze získaných dat se vytvářely grafy bodů odtržení.

**Klíčová slova:** proudění, hlasivky, PIV, bod odtržení

## **Abstract**

Bachelor working deals with the evaluation of the secession movement point flow model of vocal chords. With that has been associated familiarization with the characteristics contraction, diffuser, vocal chords and show the method of piv. To quantify movement point secession was used olympus i-speed2. Then measured values were evaluated and from obtained data had been created grahps breakaway points.

**Keywords:** circulation, vocal chords, PIV, breakaway point

# Obsah

Prohlášení.....	- 3 -
Poděkování.....	- 4 -
Abstrakt.....	- 5 -
Abstract.....	- 5 -
Obsah .....	- 6 -
Seznam obrázků.....	- 8 -
Seznam grafů .....	- 9 -
Seznam tabulek .....	- 10 -
Úvod.....	- 11 -
1. Teoretická část .....	- 12 -
1.1 Laminární a turbulentní proudění .....	- 12 -
1.1.1 Laminární proudění.....	- 13 -
1.1.2 Vznik turbulentního proudění .....	- 13 -
1.1.2.1 Charakteristické vlastnosti turbulentního proudění .....	- 13 -
1.2 Mezní vrstva .....	- 14 -
1.3 Proudění v konfuzorech a difuzorech .....	- 14 -
1.3.1 Konfuzory .....	- 14 -
1.3.2 Difuzory .....	- 15 -
1.4 Proudění v lidských hlasivkách .....	- 16 -
2. Metoda PIV.....	- 18 -
2.1 Základní principy PIV .....	- 18 -
2.1.1 Záznam PIV obrazů .....	- 20 -
2.1.2 Analýza PIV obrazů.....	- 20 -
3. Praktická část .....	- 21 -
3.1 Měření na kmitajícím modelu hlasivek .....	- 22 -
3.2 Program Olympus i-Speed 2.....	- 23 -



3.3 Možnosti programu i-Speed2.....	- 23 -
3.3.1 Změření souřadnic bodů .....	- 24 -
4. Vyhodnocování .....	- 24 -
4.1 Vyhodnocení bodů odtržení.....	- 24 -
4.2 Samotný výpočet.....	- 26 -
Závěr .....	- 31 -
Použitá literatura .....	- 32 -
Příloha 1: Vyhodnocení měření 002b .....	- 33 -
Příloha 2: Vyhodnocení měření 002c .....	- 35 -
Příloha 3: Vyhodnocení měření 012s.....	- 37 -
Příloha 4: Vyhodnocení měření 012v .....	- 39 -
Příloha 5: Vyhodnocené měření 017c.....	- 41 -
Příloha 6: Vyhodnocené měření 027a.....	- 43 -

## Seznam obrázků

Obr. 1 - Názorný tvar konfuzor .....	- 15 -
Obr. 2 – Názorný tvar difuzoru.....	- 15 -
Obr. 3 – Detail hrtanu .....	- 16 -
Obr. 4 – Pole rychlostí proudění vzduchu kolem samobuzeně kmitajícího fyzikálního modelu hlasivek .....	- 17 -
Obr. 5 – Uspořádání metody PIV .....	- 19 -
Obr. 6 – Zobrazuje model hlasivek v kanále a potřebnou techniku .....	- 19 -
Obr. 7 – Vektorové pole rychlosti změřené metodou PIV .....	- 21 -
Obr. 8 – Profil modelu hlasivek.....	- 22 -
Obr. 9 – Pohled na model hlasivek ze směru proudění .....	- 22 -
Obr. 10 – Pracovní plocha s označenými body .....	- 23 -
Obr. 11 – Názorný snímek s vyhodnocenými body a indexy pro počítání.....	- 25 -
Obr. 12 – Lomení proudu – dolu-032c .....	- 25 -
Obr. 13 – Lomení proudu – nahoru-012v .....	- 26 -

## Seznam grafů

Graf 1 – KBO – dolní .....	- 29 -
Graf 2 – KBO – horní .....	- 29 -
Graf 3 – KBO – dolní .....	- 34 -
Graf 4 – KBO – horní .....	- 34 -
Graf 5 – KBO – dolní .....	- 36 -
Graf 6 – KBO – horní .....	- 36 -
Graf 7 – KBO – dolní .....	- 38 -
Graf 8 – KBO – horní .....	- 38 -
Graf 9 – KBO – dolní .....	- 40 -
Graf 10 – KBO – horní .....	- 40 -
Graf 11 – KBO – dolní .....	- 42 -
Graf 12 – KBO – horní .....	- 42 -
Graf 13 – KBO – dolní .....	- 44 -
Graf 14 – KBO – horní .....	- 44 -

## Seznam tabulek

Tab. 1 - Měření 032c.....	- 28 -
Tab. 1a – Parametry měření 032c .....	- 30 -
Tab. 2 – Měření 002b.....	- 33 -
Tab. 2b – Parametry měření 002b.....	- 34 -
Tab. 3 – Měření 002c.....	- 35 -
Tab. 3c – Parametry měření 002c .....	- 36 -
Tab. 4 – Měření 012s .....	- 37 -
Tab. 4d – Parametry měření 012s .....	- 38 -
Tab. 5 – Měření 012v.....	- 39 -
Tab. 5e – Parametry měření 012v .....	- 40 -
Tab. 6 – Měření 017c.....	- 41 -
Tab. 6f – Parametry měření 017c.....	- 42 -
Tab. 7 – Měření 027a.....	- 43 -
Tab. 7g – Parametry měření 027a.....	- 44 -

# Úvod

V bakalářské práci vyhodnocuji pohyby bodů odtržení proudění při kmitání hlasivek. Nejdříve kvantifikuji naměřená data a potom vytvářím tabulky a grafy. Nakonec vyhodnocuji z grafů výsledky práce.

Je důležité vědět, jak se proudění chová v různých kanálech. Odlišně tomu je v konfuzoru i difuzoru.

Pokračuji s nejzákladnějšími vlastnostmi hlasivek. Měření na modelech hlasivek má velký význam na tom, aby se vůbec vědělo, k čemu dochází v lidských hlasivkách. Dosud není jasné, jak přesně dochází k odtržení proudění v lidských hlasivkách. Informace se získávají z měření na modelech hlasivek.

Ve třetí kapitole je uvedena metoda PIV. Její princip měření, na kterém je metoda založena a na obrázcích znázorněna potřebná technika.

Pokračuji s přiblížením praktické části. Např.: odkud jsou naměřená data, seznámení s použitým programem a jak se kvantifikovaly body odtržení.

Dále se věnuji vyhodnocením bodů odtržení od proudění. Kvantifikovaná data jsou uložena do tabulek a z nich se vytvářejí grafy, z kterých se vyhodnocuje průběh celého proudění.

V závěru porovnávám vyhodnocené grafy s teoriemi.

# 1. Teoretická část

## 1.1 Laminární a turbulentní proudění

Profesor na univerzitě v Manchesteru, Osbourne Reynolds (1842-1912), v roce 1883 zviditelňoval proudění ve skleněné trubici kruhového průřezu vpouštěním barvy.

Zjistil, že při ustáleném průtoku nižších rychlostí pramének barvy zachovává svou vlastnost. Pokud dochází ke zvyšování rychlosti, barva se začne rozpouštět a roztok zaplní celý průřez trubice. Když je trubice prosvícena elektrickou jiskrou, lze v rozpouštějící se barvě rozpoznat individuální víry. Typ proudění, které zachovává svou individualitu, nazval laminární a druhý turbulentní.

V experimentech pokračoval dál a přišel na fakt, že laminární proudění přechází do turbulentního, když bezrozměrová skupina  $[(c \cdot D) / \nu]$  dosahuje hodnoty přibližně 2300. Daná skupina se dnes nazývá Reynoldsovo číslo a značí se  $Re$ .  $Re$  je bezrozměrovým parametrem charakterizující proudění vazké tekutiny.

$$Re_{krit} = \left( \frac{c \cdot D}{\nu} \right)_{krit} \cong 2300 \quad (1),$$

kde  $c$  (nebo  $U$ ) je rychlost proudění,  $D$  je průměr trubice a  $\nu$  (řecké  $\nu$ ) je kinematická viskozita.

Též zjistil, že k přechodu laminárního proudění do turbulentního nedochází hned, ale v jistém rozmezí Reynoldsových čísel. Počátku rozmezí odpovídá tzv. dolnímu kritickému Reynoldsovu číslu  $Re_{krit_d}$ , jeho konci hornímu  $Re_{krit_h}$ . Jeho experimenty započaly éru výzkumu turbulence (není dosud zdaleka ukončena).

Zatímco laminární proudění je ovlivněno vazkostí, je turbulence neuspořádaný pohyb makroskopických částic tekutiny, který vzniká při jejím smýkání po pevné nepropustné stěně nebo na hranici s proudem tekutiny jiné rychlosti. Turbulentní smyková napětí bývají značně větší, než v laminárním případě.[2]

### 1.1.1 Laminární proudění

Tlak se ztrácí kvůli laminárnímu tření a to v závislosti lineárně na rychlosti. Další důležitá věc, která byla mnohokrát ověřena na pokusech, je, že ztráta není závislá na drsnosti stěny trubice.

V přírodě i v technice je laminární proudění celkem ojedinělé. Může se vyskytovat jedině při průtoku vazkých tekutin úzkými kanály nebo při obtékání malých objektů pomalou rychlostí.

Např. obvykle uváděné hodnotě kritického Reynoldsova čísla  $Re_{krit} = 2300$  v trubici kruhového průřezu odpovídá proudění vody - ( $\nu = 10^{-6} m^2s^{-1}$ ) rychlostí  $c = 0,023 ms^{-1}$ , trubicí o vnitřním průměru  $D = 0,1 m$ .

### 1.1.2 Vznik turbulentního proudění

Děj, který se odehrává při přechodu laminárního proudění do turbulentního, je stále nevyřešený problém. Pokud je Reynoldsovo číslo menší než  $Re$  kritické, je nestabilita viskozitou tekutiny snížena na nulu. V opačném případě, když se zvyšuje rychlost proudění v potrubí, kdy dochází ke zvyšování Reynoldsova čísla, se změna proudění neobjeví hned, ale skokem. Dochází k tomu v malém rozsahu Reynoldsových čísel – v potrubí kruhového průřezu asi od 2000 do 4000.

#### 1.1.2.1 Charakteristické vlastnosti turbulentního proudění

- Vznikají náhodné, časově proměnné odchylky rychlosti, tlaku a případně dalších veličin,
- vzniklé víry, které mají odlišné rozměry, největší mohou mít i stejnou velikost jakou je proud tekutiny (poloměr potrubí), některé se deformují a promíchávají až do velikosti mála setin mm, vzniklé víry jsou

omezovány viskozitou tekutiny a kinetická energie se mění ve vnitřní tepelnou energii,

- samobuzení je děj, který po vzniku turbulentního proudění, tvoří samovolně nové víry a tyto víry zastupují staré, které zanikají kvůli viskozitě,
- promíchávání (difuzivita) je silnější než při laminárním proudění, jelikož turbulentní proudění je zapříčiněno velkými víry pohybujícími do vzdálenosti tří směrů, které jsou větší než střední dráha molekul.

## 1.2 Mezní vrstva

Když narůstá číslo  $Re$ , viskozita se objevuje v oblasti proudu, která se dotýká povrchu tělesa. Kolmo k povrchu tělesa má vzniklá oblast malý průřez ve srovnání s délkou a nazývá se mezní vrstva. Mimo mezní vrstvu je víření proudu zanedbatelné a na základě hypotézy lze považovat proud za potenciální. Uvnitř se rychlost proudění mění směrem od povrchu tělesa do vnější hranice mezní vrstvy. U povrchu tělesa je rychlost proudu nulová a pak roste do rychlosti potenciálního proudu. Jelikož je šířka vrstvy malá, dosahují v oblasti gradienty rychlosti velkých hodnot a proudění je značně vířivé. Na typu proudění v mezní vrstvě závisí odpor obtékaných těles. V mezní vrstvě může být pohyb tekutiny laminární nebo turbulentní.

## 1.3 Proudění v konfuzorech a difuzorech

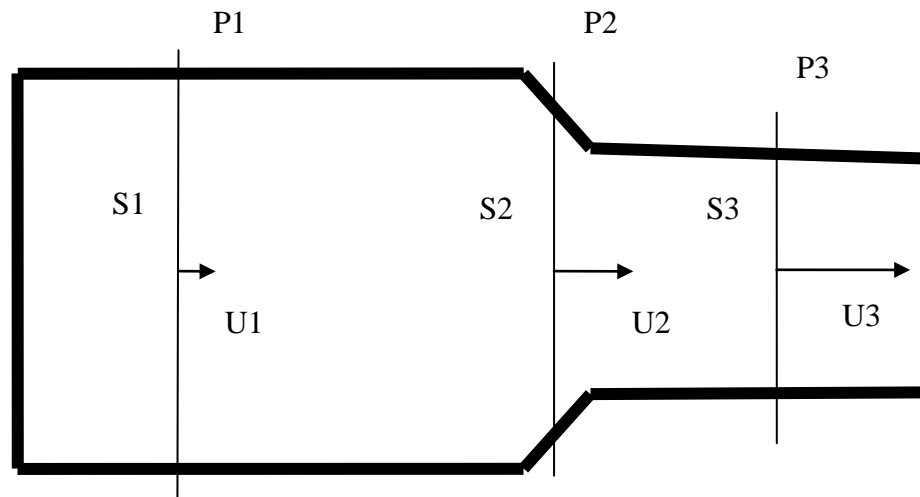
### 1.3.1 Konfuzory

Konfuzor je trubice zužujícího se průřezu, jejímž úkolem je transformovat vnitřní a tlakovou energii stlačitelné tekutiny v energii kinetickou.

Níže na obr. 1 je vidět tvar konfuzoru. Tlak při procházení užším místem konfuzoru se snižuje. Má za důsledek Bernoulliho rovnice. Podle obrázku může rovnice vypadat následovně:  $\frac{1}{2} \rho U_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho U_3 + P_3$ . U rychlosti, tomu je naopak.

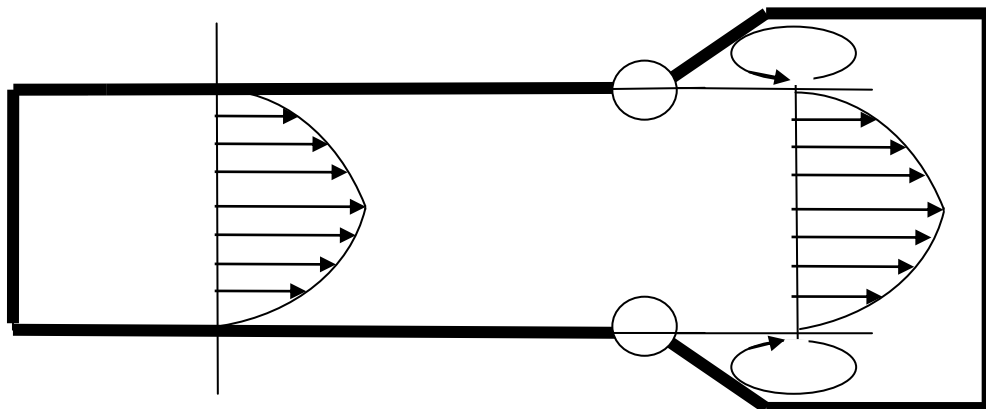


V užším průřezu se zvyšuje. To má za důsledek rovnice kontinuity:  $S_1 * U_1 = S_3 * U_3$ .  
Podle výše uvedených rovnic lze z obr. 1 říci, že tlak P2 je menší než tlak P1.



Obr. 1 - Názorný tvar konfuzoru

### 1.3.2 Difuzory



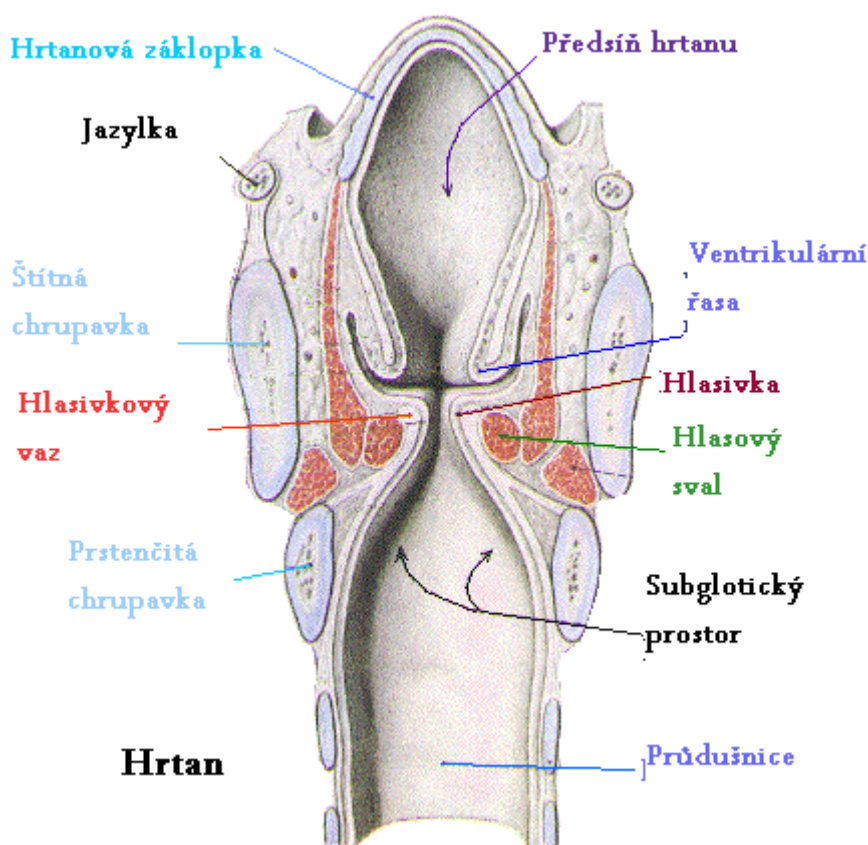
Obr. 2 – Názorný tvar difuzoru

Difuzor má opačné vlastnosti než konfuzor. Difuzor je trubice, v níž se přeměňuje kinetická energie proudu stlačitelné tekutiny ve vnitřní a tlakovou energii. Znamená, že proudící tekutina se zpomaluje.

Proudění plynu v difuzoru je charakterizováno kladným tlakovým gradientem, který vytváří podmínky pro intenzivní narůstání mezní vrstvy a má v mnoha případech za následek i odtržení proudu od stěn.[4]

Dvě smyčky, které jsou nakresleny na obr. 2, znázorňují recirkulaci. Pokud je  $Re$  velmi malé, k recirkulaci nedochází, protože vnější kapalina probíhá i po okrajích zlomu difuzoru. Kruhová znázornění značí, kde odhadem vznikají body odtržení. Záleží na úhlu otevření nádoby.

## 1.4 Proudění v lidských hlasivkách



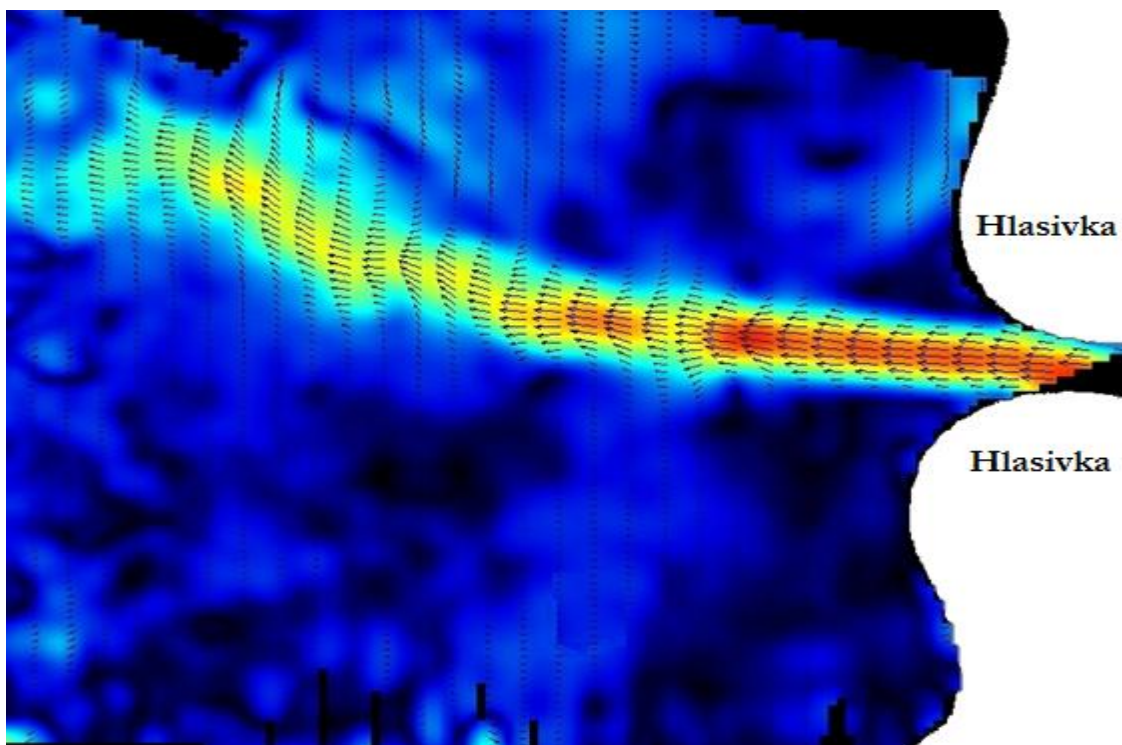
Obr. 3 – Detail hrtanu  
Zdroj [5]

Po rozkmitání hlasivek, vznikne akustický signál a ten vytváří lidský hlas. Signál procházejícími rezonančními dutinami, se frekvenčně modifikuje. Kvalita hlasu závisí na hlasivkách, ale i na rezonančních dutinách dýchacích cest. Odborně se část mezi hlasivkami a ústním otvorem nazývá vokální trakt.[1]

Výška, pravidelnost a intenzita hlasu jsou dány především kmity hlasivek rozechvívaných vzduchem přicházejícím z plic. Velikostí a tvarem hlasového traktu jsou pak ovlivněny rezonanční frekvence různých hlásek, jež dotvářejí výslednou barvu hlasu. Proto jsou užitečné jak modely hlasivek a prostoru nad hlasivkami, tak modely komplexní, zahrnující i akustické prostory pod hlasivkami. Na obr. 3 je detail lidských hlasivek

Za důležitou informaci bereme detailní strukturu proměnlivého proudového pole v oblasti hlasivek. Ze začátku se hlasivky zužují, mají charakter konfuzoru. Poté se rozšiřují a mají vlastnosti difuzoru. Sice mají vlastnosti kanálů, ale hlasivky navíc ještě kmitají. Tudíž se proudění občas chová jinak. Proto se provádějí měření na modelu hlasivek, protože teorie na kmitajících kanálech není.

Experimentálně lze najít pole rychlostí proudění vzduchu kolem samobuzeně kmitajícího fyzikálního modelu hlasivek. Na obr. 4 jsou vidět vektory udávající směr proudění. Rozmanitost barev je zapříčiněna rychlostí proudu. Čím je teplejší barva, tím je rychlost proudu větší.



Obr. 4 – Pole rychlostí proudění vzduchu kolem samobuzeně kmitajícího fyzikálního modelu hlasivek

## 2. Metoda PIV

PIV (Particle image velocimetry) je moderní metoda experimentální mechaniky tekutin, která pracuje na opto-elektronickém principu. Do této skupiny metod patří i metoda LDA, PDA, L2F, zmiňovaná PIV a 3D-PIV. Metodám se celkově říká laserové anemometrie, protože využívají laserové světlo. V práci se blíže seznámíme jen s metodou PIV.

PIV patří mezi bezdotykové metody. Měří rychlost tekutiny pomocí mikročástic v ní obsažené. Získané rychlosti nejsou závislé na vnějších vlivech, např.: teplota, tlak a vlhkost. Hlavní rozvoj se uskutečnil po roce 1995.

Laserová dopplerovská anemometrie, měří rychlost proudění jen v jednom bodě. Na rozdíl od ní metoda PIV umožňuje pokusně studovat složitá proudová pole v určené rovině prostoru. Pokud je k použití výkonná vyhodnocovací technika, zaznamená se průběh v čase.

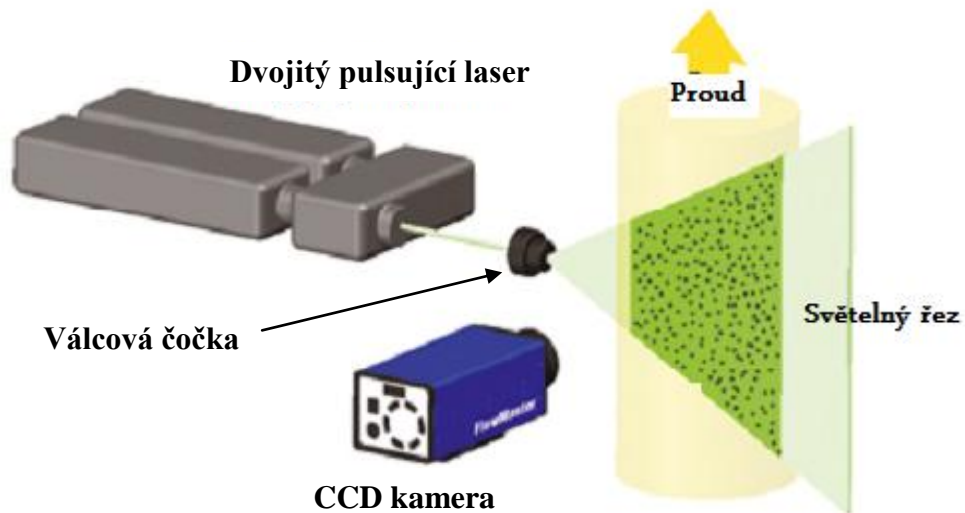
### 2.1 Základní principy PIV

Princip měření rychlosti proudícího media metodou PIV spočívá v zaznamenání posunutí malých částic, které jsou obsaženy v mediu a v zaznamenaném posunu částic. Sledované částice v proudovém poli jsou osvětlovány dvěma krátkými laserovými pulsy. Laserové pulsy se generují s definovaným časovým odstupem. Laserový paprsek je speciální optikou vytvarován do osvětlující roviny. Polohy částic jsou v této rovině zaznamenány na médium citlivé na světlo. Lze pořídit na fotografický film nebo CCD/CMOS detektor kamery. Vyhodnocení pořízených záznamů je založeno na rovnici:

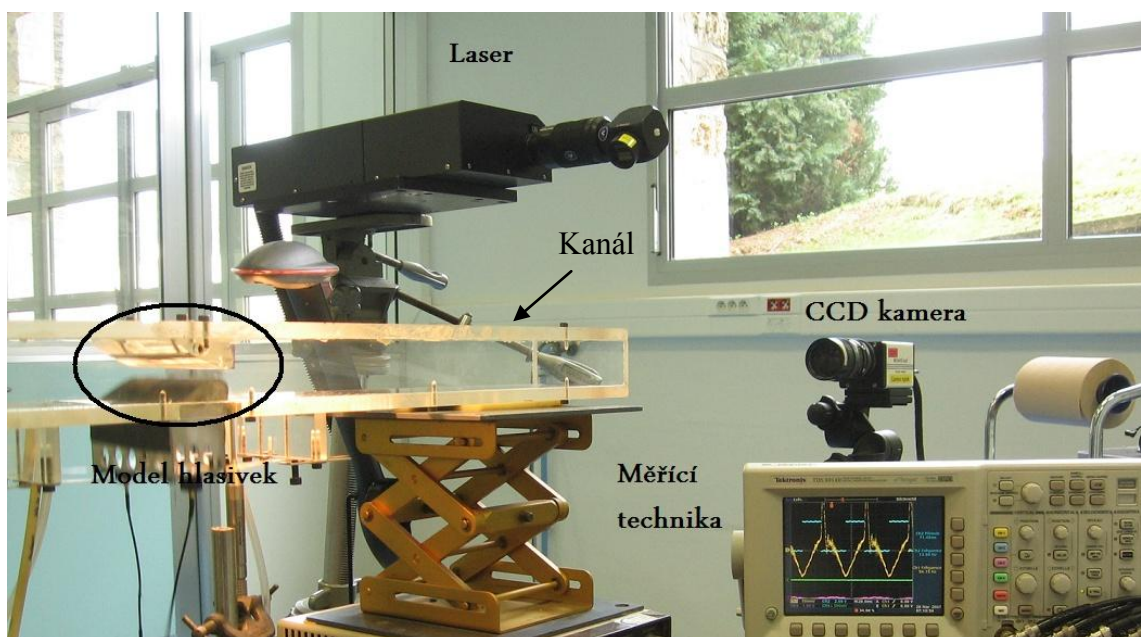
$$\text{rychlost} = \frac{\text{vzdálenost}}{\text{čas}} \quad (2);$$

vzdálenost určuje posuv částic v proudící tekutině za určitý časový interval.

Na obr. 5 je základní uspořádání metody PIV. Laser generuje paprsek, který válcová čočka upravuje do světelného řezu. Pro zaznamenání měření je použita CCD kamera. Na snímek se ukládají osvětlené částice, proudící v kapalině. Snímky jsou poté použity pro vyhodnocování. Na obr. 6 je vidět technika a model hlasivek, které byly použity při vytváření dat.



Obr. 5 – Uspořádání metody PIV



Obr. 6 – Zobrazuje model hlasivek v kanále a potřebnou techniku

### 2.1.1 Záznam PIV obrazů

Používaný laserový paprsek se upravuje do laserového řezu. Světlo vyzařované laserem se odráží od částic v tekutině do objektivu kamery nebo fotoaparátu. Na vytvořeném záznamu kamery nebo fotoaparátu jsou částice jako světlé skvrny na tmavém pozadí. Laser nesvítí neustále, kvůli možnosti zaznamenávat okamžitou polohu částic v definovaném čase. Toto se řeší pomocí pulzních laserů. Pro měření se pořizují minimálně dva záznamy s konkrétním časovým odstupem. Na prvním záznamu je zachycena počáteční poloha částic a na druhém konečná. Jsou dva způsoby záznamu PIV obrazu – dvojnásobná expozice a jednotlivé expozice.

Dvojnásobná expozice – první i druhý záznam polohy částic v laserovém řezu je exponován do jednoho obrazu. Na výsledném obrazu jsou pak zachyceny jak počáteční, tak koncové polohy částic. Vhodná metoda pro určení průměrného posunutí částic ve vyhodnocované oblasti je autokorelace.[6]

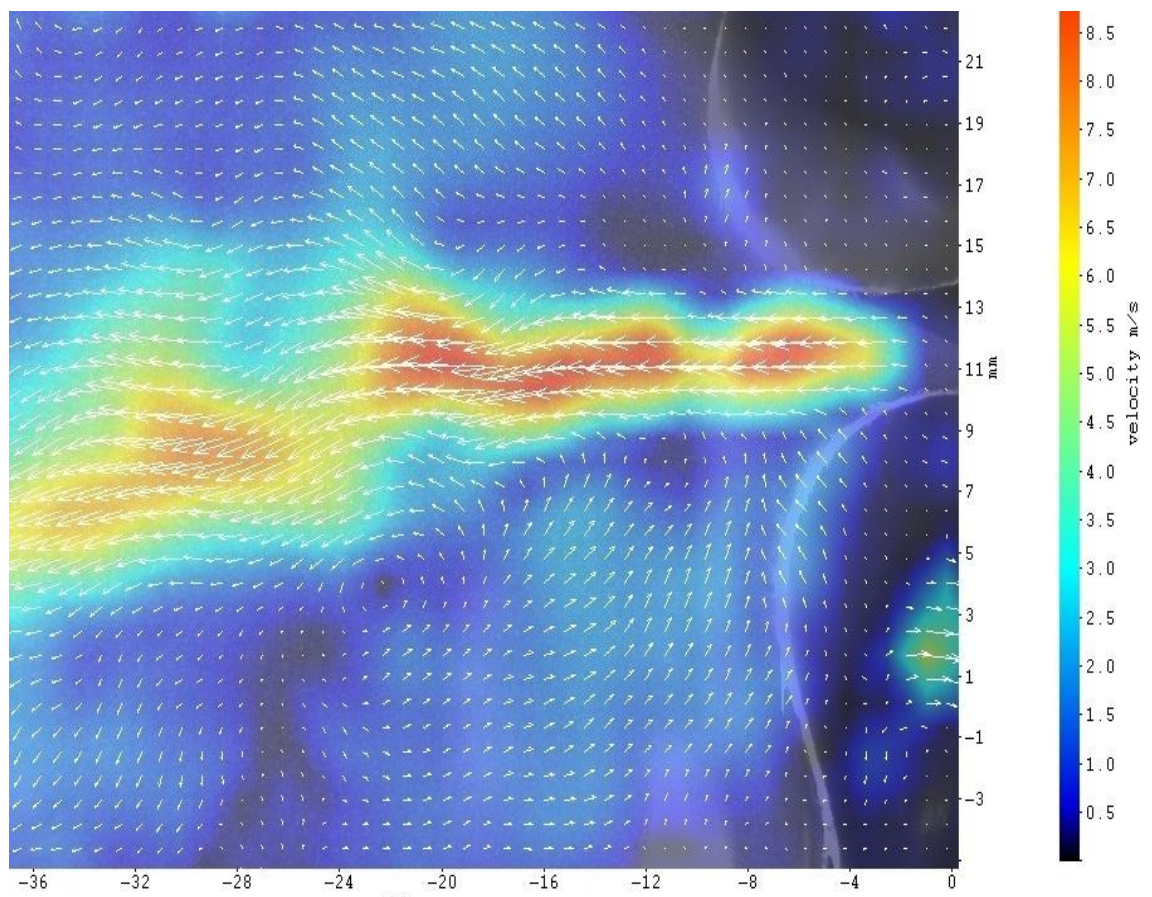
Jednotlivé expozice – každý záznam polohy částic v laserovém řezu je exponován do samostatného obrazu. Na prvním obrazu jsou pak zachyceny počáteční polohy částic a na druhém koncové polohy částic. Vhodná metoda pro určení průměrného posunutí částic ve vyhodnocované oblasti je vzájemná korelace.[6]

### 2.1.2 Analýza PIV obrazů

Výsledný obraz vytvořený dvěma záznamy se rozdělí na množinu vyhodnocovaných oblastí. Cílem vyhodnocení PIV záznamu je nalezení průměrného posunutí částic v každé vyhodnocované oblasti. Pro přiřazení vektorů rychlostí v každé vyhodnocované oblasti je zapotřebí, aby se v nich nacházely obrazy částic. Na přesnost měření je důležité, aby v měřeném proudu byl dostatečný počet částic.

### 3. Praktická část

V bakalářské práci se vyhodnocovaly body odtržení proudění na kmitajícím modelu hlasivek. Celé měření, ze kterého byly použity materiály, bylo naměřeno ve Francii. Měření bylo naměřeno metodou PIV. Názorná ukázka, jak vypadá obrázek pořízený PIV je na obr 7. Touto metodou bylo naměřeno několik měření a v každém měření bylo pořízeno 80 snímků. Použitelných snímků pro další vyhodnocování je jen 40, protože jeden záběr je vyfocený 2x. Z celku bylo vybráno 7 měření, které se pomocí programu Olympus i-Speed 2 analyzovaly. Měření bylo dodáno od pana Ing. Petra Šidlofa, Ph.D. Označovaly se body odtržení od modelu hlasivek. V následujících řádcích je ukázáno, jak celý postup probíhal.

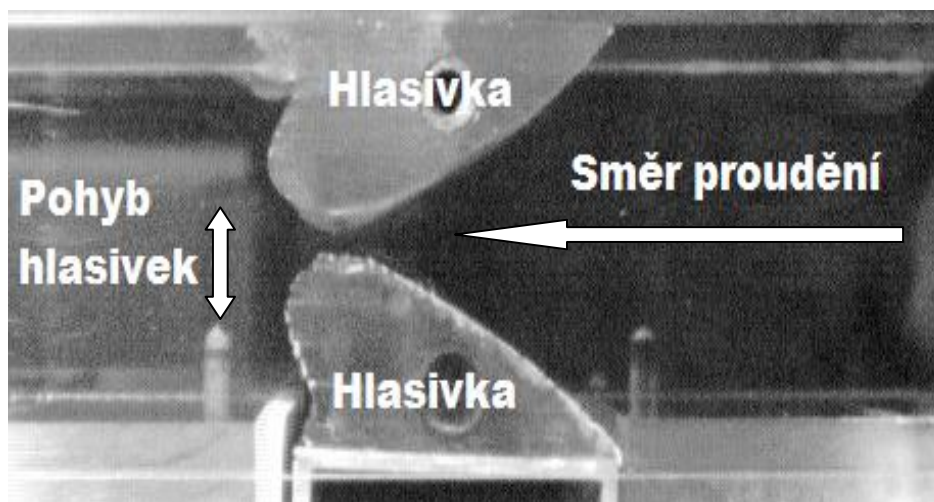


Obr. 7 – Vektorové pole rychlostí změřené metodou PIV

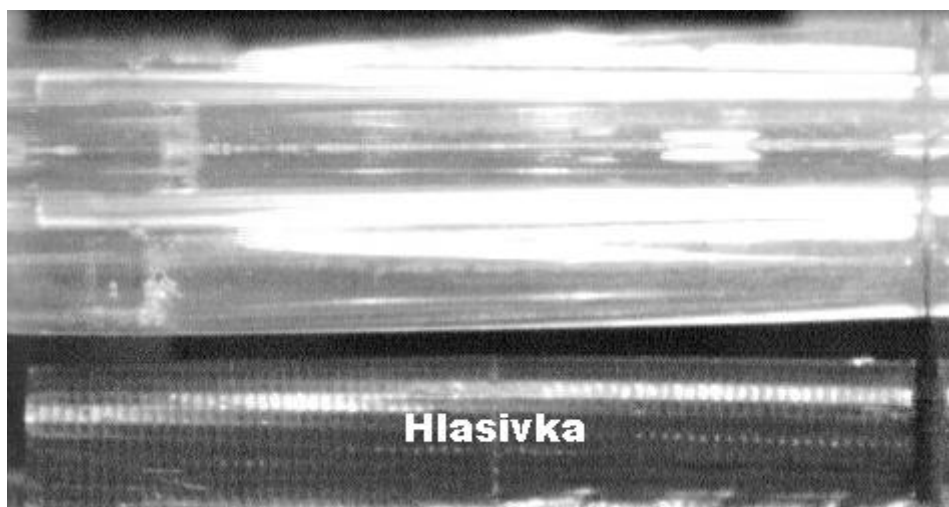
### 3.1 Měření na kmitajícím modelu hlasivek

Měření probíhalo na fyzikálním modelu hlasivek. Model je oproti hlasívkám 4x zvětšený. Při zachování Reynoldsova čísla  $Re$  budou rychlosti proudění na modelu 4x menší oproti reálným hlasívkám. Názorně se může vidět rychlost na obr. 7, kde je maximální okolo  $9 \text{ ms}^{-1}$ . Frekvence kmitání hlasivek je u muže 100 až 800 Hz a u ženy 200 až 1600 Hz. Větší číslo u muže i ženy udává frekvenci, ke které dochází u zpívání. Model hlasivek je zvětšený pro lepší dostupnost měření.

Daný model je ukázán níže na obr. 8 a obr. 9. Hlasivky jsou uloženy v uměle vytvořeném kanále, jak ukazuje výše obr. 6.



Obr. 8 – Profil modelu hlasivek



Obr. 9 – Pohled na model hlasivek ze směru proudění



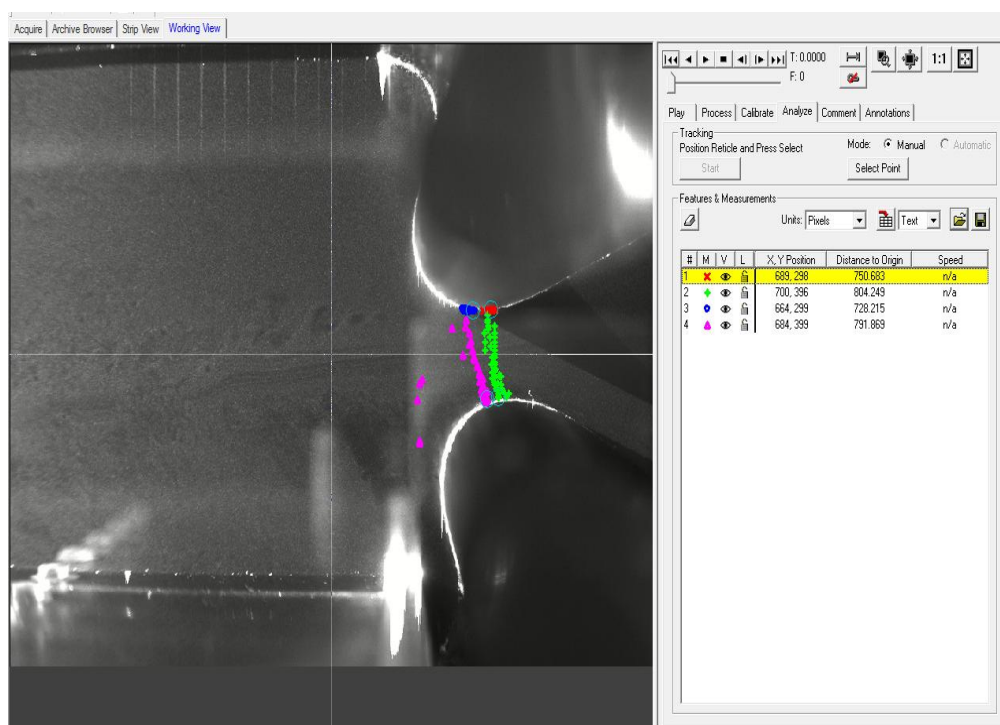
## 3.2 Program Olympus i-Speed 2

Člověk pomocí očí zaregistruje málo z toho, co všechno se kolem něj odehrává. Zvláště při rychle probíhajících událostí, které lidské oko zaznamená jen z části. Tyto lidské nedostatky dokonale nahrazuje technika. Pro tento problém je například vhodný software Olympus i-Speed 2. Software se používá na poloautomatickou analýzu obrazu. Zachycená událost uložená na harddisk či paměť se dá posléze dobře analyzovat.

Fotky nebo video se přehrávají v nižších rychlostech. Díky tomu lze záznamy rozebírat snímek po snímku. Uživatel může např.: měřit vzdálenosti i rychlosti a nastavovat jas a kontrast.

## 3.3 Možnosti programu i-Speed2

Konkrétní měření se vybere v záložce Archive Browser. Vytvoří se nová záložka s názvem Working View a zde se vyhodnocují body odtržení. Jak je vidět na obr. 10.



Obr. 10 – Pracovní plocha s označenými body

V sekci *Calibrate* se kalibrují rozměry obrázku. K použití jsou dva body, které se použijí na přední a zadní stranu obrázku. Tím budou pro další použití nastaveny souřadnice. V záložce *Comment* se píše komentáře. V *Annotations* se vytváří úsečka, která změří vzdálenost nebo úhel. Ale nejdůležitější pro měření bodu odtržení je *Analyze*. V ní se vytváří aktivační okno pro označování bodů. Vybírají se zde jednotky a do čeho se budou hodnoty ukládat.

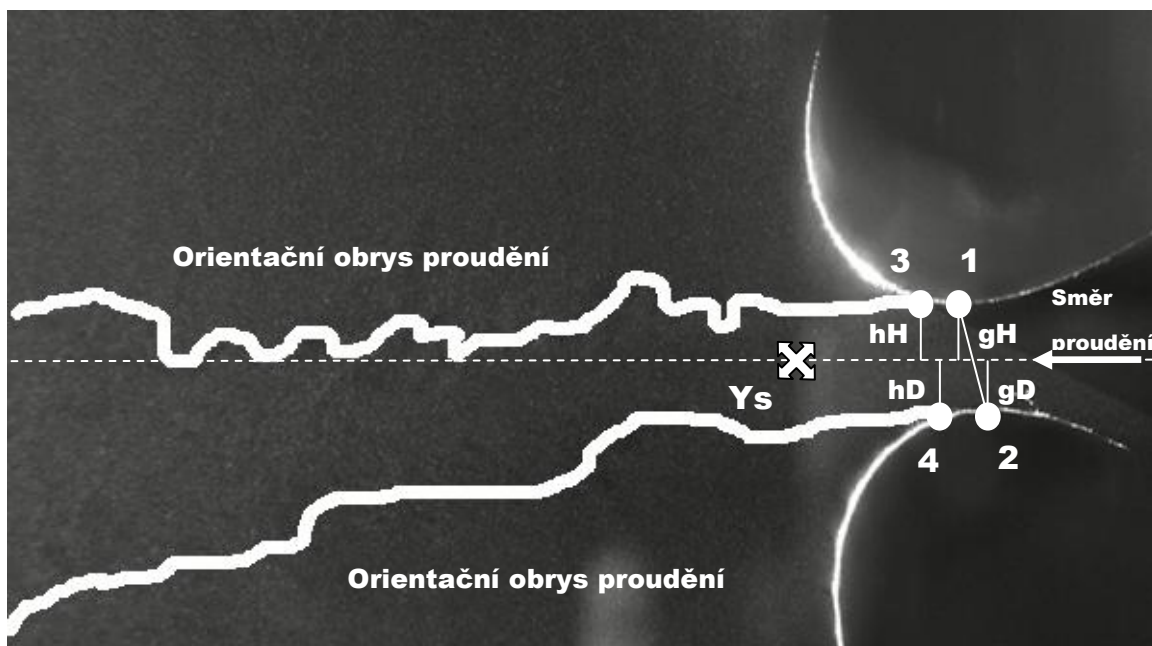
### **3.3.1 Změření souřadnic bodů**

Pro vyhodnocení polohy odtržení proudění bylo nutné v každém časovém okamžiku zaměřit čtyři body. Červený křížek byl použit na vrcholu horní hlasivky a zelené znaménko plus na vrcholu dolní hlasivky. Oba dva body se volí tak, aby mezi nimi byla vytvořena nejmenší vzdálenost. Modrý kruh označoval horní a fialový trojúhelník dolní bod odtržení od hlasivek. V některých případech byly body odtržení proudění obtížně rozeznatelné. Jelikož ve výpočtu vycházely příliš vysoké hodnoty, byly pro lepší orientaci v grafu zvoleny nulové hodnoty.

## **4. Vyhodnocování**

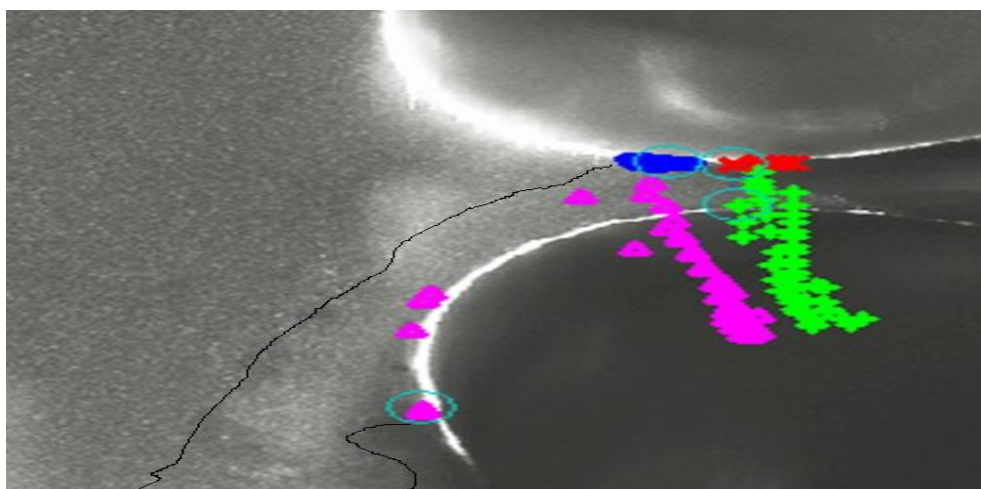
### **4.1 Vyhodnocení bodů odtržení**

Když už jsou všechny body na snímcích označeny, nejlepší možností je uložit data do Excelu. Dají se uložit i do poznámkového bloku. Ale v něm by vyhodnocování bylo pracnější. Grafy se vytvářejí z dat, pro které je lepší použití Excelu. Měření 032c je dopodrobna rozebráno níže. Ostatní měření se nachází v příloze.

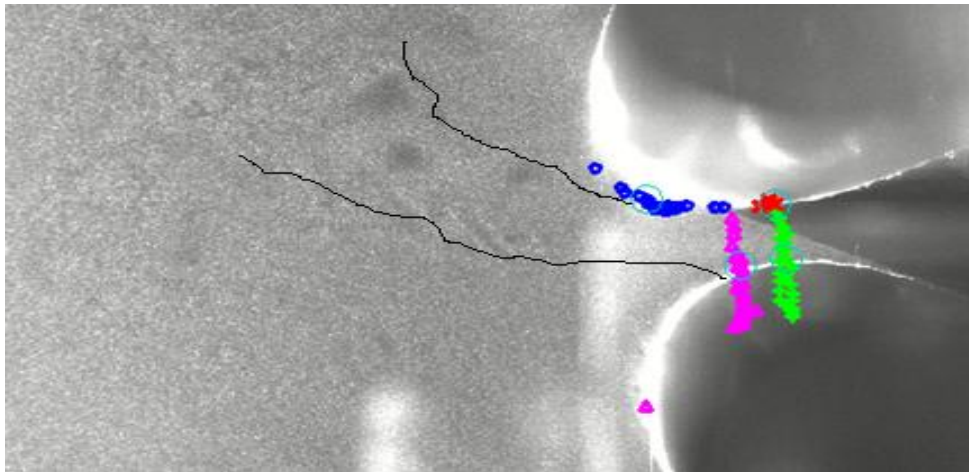


Obr. 11 – Názorný snímek s vyhodnocenými body a indexy pro počítání

Na obr. 11 jsou názorně ukázány vyhodnocené body. Body 1 a 2 označují nejužší místo mezi hlasivkami. Body 3 a 4 znázorňují odtržení proudění od modelu hlasivek. Indexy  $gH$  a  $gD$  znázorňují vzdálenost od bodu 1 nebo 2 k vedené rovině. Jelikož je rovina uprostřed bodů, mají stejnou velikost. Index  $hH$  znázorňuje vzdálenost od roviny do bodu 3 a index  $hD$ , znázorňuje vzdálenost od roviny do bodu 4. Dále je na obrázku zvýrazněn směr a orientační obrys proudu. Orientační obrys proudění je použit kvůli lepšímu zobrazení proudu (není dobře vidět šedý proud na šedém pozadí). Uprostřed bodů 1 a 2 je vedena rovina, na které je vytvořen bod  $Y_s$ .



Obr. 12 – Lomení proudu – dolu-032c



**Obr. 13 – Lomení proudu – nahoru-012v**

Při otevírání nebo zavírání hlasivek dochází k lomení proudu nahoru nebo dolů. Proto některé hodnoty KBO dolní a horní vychází ve velkých číslech. Nejčastěji k tomu dochází právě před a po otevření hlasivek. Na obr. 12 je příklad lomení dolu a na obr. 13 lomení nahoru. Podrobnější informace jsou v příloze.

## 4.2 Samotný výpočet

Pro názorný výpočet byly použity data z grafu 1, konkrétně první řádek. Hodnoty v tabulkách jsou zaokrouhleny.

Bod  $Y_s$  je vytvořený na rovině, která je vedena středem bodů 1 a 2. Vypočítáme ho sečtením  $y$  souřadnic bodu 1 a 2. Potom součet podělíme 2.

$$Y_s = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (3)$$

$$Y_s = \frac{299 + 394}{2} \quad Y_s = \frac{693}{2} \quad Y_s = 346,5 \text{ px}$$

Indexy  $g_H$  a  $g_D$  vypočteme odečtením souřadnic 1 bodu -  $y_1$  nebo 2 bodu -  $y_2$  od hodnoty  $Y_s$ . Aby výsledek vyšel kladný je použita souřadnice  $y_1$ .

$$g_H = g_D = Y_s - y_1 \quad (4)$$

$$gH = gD = 346,5 - 299 \quad gH = gD = 47,5 \text{ px}$$

Hodnota hD se vypočítá, že od souřadnice 4 bodu - y4 odečteme Ys. Provádíme postup, aby nevyšlo záporné číslo.

$$hD = y4 - Ys \quad (5)$$

$$hD = 398 - 346,5 \quad hD = 51,5 \text{ px}$$

Hodnota hH se vypočítá, že od Ys odečteme souřadnici 3 bodu - y3.

$$hH = Ys - y3 \quad (6)$$

$$hH = 346,5 - 300 \quad hH = 46,5 \text{ px}$$

Koeficient odtržení proudění pro dolní hlasivku  $KBO_d$  se vypočte, že hodnota hD je vydělena hodnotou gD.

$$KBO_d = \frac{hD}{gD} \quad (7)$$

$$KBO_d = \frac{51,5}{47,5} \quad KBO_d = 1,084$$

Koeficient odtržení proudění pro horní hlasivku  $KBO_h$  se vypočte, že hodnota hH je vydělena hodnotou gH.

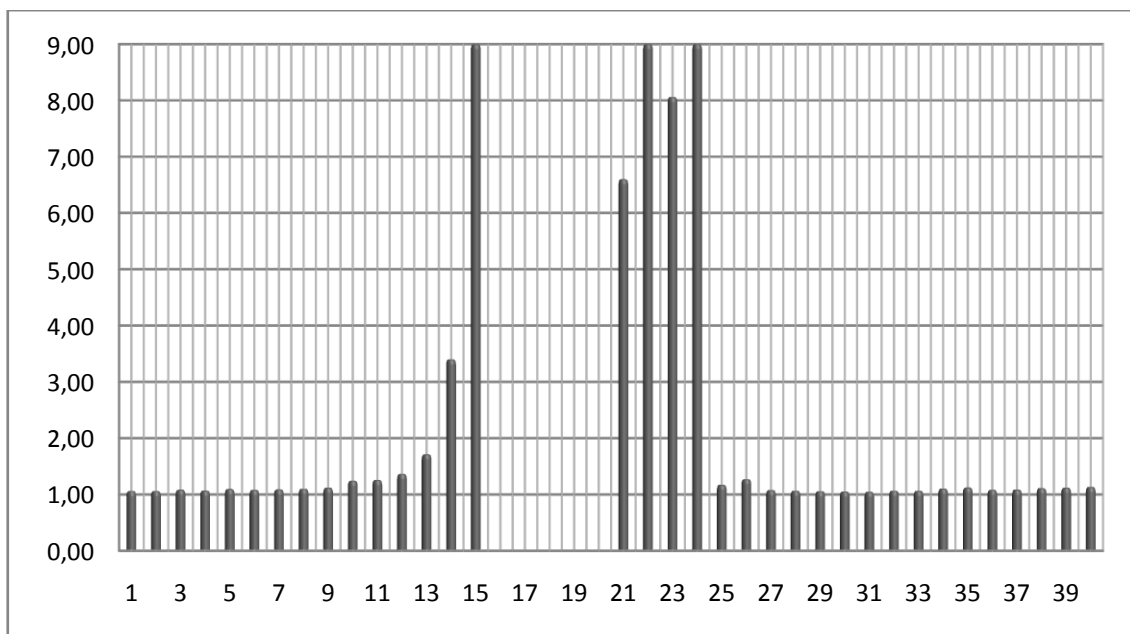
$$KBO_h = \frac{hH}{gH} \quad (8)$$

$$KBO_h = \frac{46,5}{47,5} \quad KBO_h = 0,979$$

Uvedené výpočty se prováděly pro každý snímek a měření.

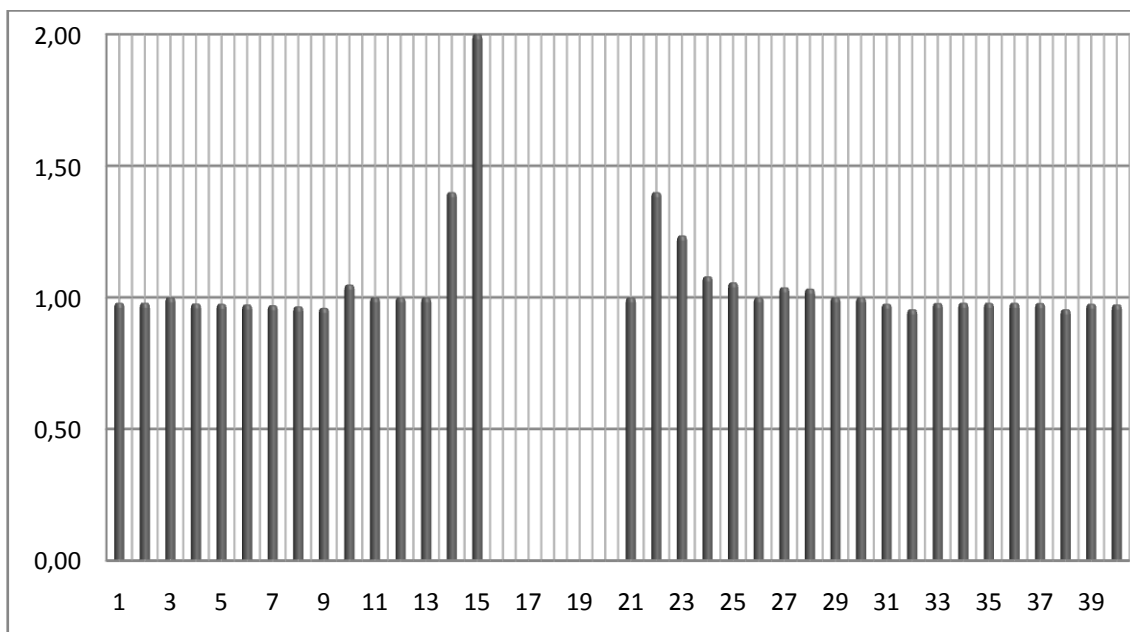
**Tab. 1 - Měření 032c**

Počet snímků	Souřadnice bodu 1 [pix]		Souřadnice bodu 2 [pix]		Souřadnice bodu 3 [pix]		Souřadnice bodu 4 [pix]		Ys	gH gD	hD	hH	KBOd	KBOh
	x	y	x	y	x	y	x	y						
0	689	298	700	396	664	299	684	399	347,0	49,0	52,0	48,0	1,06	0,98
2	686	298	700	396	664	299	683	399	347,0	49,0	52,0	48,0	1,06	0,98
4	689	298	700	392	651	298	680	396	345,0	47,0	51,0	47,0	1,09	1,00
6	695	298	704	386	657	299	684	389	342,0	44,0	47,0	43,0	1,07	0,98
8	689	298	698	380	655	299	677	384	339,0	41,0	45,0	40,0	1,10	0,98
10	695	298	701	372	653	299	677	375	335,0	37,0	40,0	36,0	1,08	0,97
12	691	298	695	365	657	299	673	368	331,5	33,5	36,5	32,5	1,09	0,97
14	689	298	694	357	655	299	669	360	327,5	29,5	32,5	28,5	1,10	0,97
16	689	298	694	348	651	299	665	351	323,0	25,0	28,0	24,0	1,12	0,96
18	686	298	688	339	648	297	662	344	318,5	20,5	25,5	21,5	1,24	1,05
20	686	298	687	329	649	298	660	333	313,5	15,5	19,5	15,5	1,26	1,00
22	684	298	685	320	649	298	658	324	309,0	11,0	15,0	11,0	1,36	1,00
24	684	298	684	312	651	298	652	317	305,0	7,0	12,0	7,0	1,71	1,00
26	684	299	684	304	655	298	653	310	301,5	2,5	8,5	3,5	3,40	1,40
28	686	298	684	300	653	297	584	398	299,0	1,0	99,0	2,0	99,00	2,00
30	686	298	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
32	686	298	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
34	686	298	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
36	686	298	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
38	686	298	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
40	684	299	684	304	666	299	633	318	301,5	2,5	17	2,5	6,60	1,00
42	684	299	684	309	649	297	587	380	304,0	5,0	76	7,0	15,20	1,40
44	684	299	685	316	653	297	590	376	307,5	8,5	69	10,5	8,06	1,24
46	678	299	679	324	659	298	587	445	311,5	12,5	134	13,5	10,68	1,08
48	678	299	680	334	651	298	658	337	316,5	17,5	21	18,5	1,17	1,06
50	678	299	680	343	654	299	649	349	321,0	22,0	28,0	22,0	1,27	1,00
52	684	299	690	351	652	298	665	353	325,0	26,0	28,0	27,0	1,08	1,04
54	684	299	689	359	651	298	669	361	329,0	30,0	32,0	31,0	1,07	1,03
56	684	299	690	368	661	299	672	370	333,5	34,5	36,5	34,5	1,06	1,00
58	684	299	691	375	655	299	674	377	337,0	38,0	40,0	38,0	1,05	1,00
60	695	298	703	382	654	299	678	384	340,0	42,0	44,0	41,0	1,05	0,98
62	695	298	704	387	658	300	680	390	342,5	44,5	47,5	42,5	1,07	0,96
64	695	298	709	392	655	299	682	395	345,0	47,0	50,0	46,0	1,06	0,98
66	695	298	711	395	656	299	680	400	346,5	48,5	53,5	47,5	1,10	0,98
68	695	298	711	395	655	299	682	401	346,5	48,5	54,5	47,5	1,12	0,98
70	695	298	711	395	655	299	682	399	346,5	48,5	52,5	47,5	1,08	0,98
72	695	298	714	392	650	299	678	396	345,0	47,0	51,0	46,0	1,09	0,98
74	691	298	704	387	654	300	676	392	342,5	44,5	49,5	42,5	1,11	0,96
76	691	298	703	382	652	299	675	387	340,0	42,0	47,0	41,0	1,12	0,98
78	691	298	703	373	653	299	673	378	335,5	37,5	42,5	36,5	1,13	0,97



**Graf 1 – KBO – dolní**

Podle grafu 1 lze vidět, že jsou hlasivky uzavřené od 16 do 20 snímku, podle nulové hodnoty. Dále lze z grafu vyčíst, že chvíli před uzavřením a po otevření koeficient  $KBO_d$  prudce roste. Je to zapříčiněno lomením proudu. V rozmezí od 1 do 40 snímku, kromě vysokých  $KBO_d$ , je hodnota ostatních kolem 1. Graf je upraven, hodnoty 15, 22 a 24 přesahují rámeček maximální hodnoty.



**Graf 2 – KBO – horní**

Podle grafu 2 je patrné, že do 15 snímku jsou hlasivky otevřené a horní body odtrhnutí ve středu hlasivek. Před uzavřením, na 15 snímku, koeficient opět prudce

roste. Od 14 do 20 snímku jsou hlasivky uzavřené, proto mají nulovou hodnotu. Od 21 do 40 snímku probíhá odtrhávání normálně, nedochází k lomení proudění nahoru ani dolů. Koeficient  $KBO_h$  vychází blízko hodnoty 1.

**Tab. 1a – Parametry měření 032c**

Číslo měření	Tlak [Pa]	Frekvence kmitání [Hz]	Maximální Rychlost [ $ms^{-1}$ ]
032c	520	13,5	40

U měření 032c již je příliš vysoká maximální rychlost proudění (odpovídá  $160ms^{-1}$  v realitě), což překračuje fyzické vlastnosti lidských hlasivek.



## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou odtrhávání bodů proudění na modelu hlasivek, kvantifikovat body proudění, posléze je vyhodnocovat a vytvářet grafy odtržených bodů.

Před psaním jsem si nastudoval vlastnosti proudění v kanálech. Metodu PIV a naučil se v programu Olympus i-Speed 2. Pomocí programu jsem kvantifikoval naměřená data a ukládal je do tabulek. Z kvantifikovaných bodů jsem vypočítal body odtržení proudění. Ty jsem znázorňoval v grafech.

Vyhodnocoval jsem odlišné typy měření. Byly různé např.: rychlosti proudění, frekvence kmitání, rozdílný tlak nebo modely hlasivek, které se neuzavíraly.

Z teorií je známo, že při proudění v difuzorech s úhlem rozevírání větším než 5-10 stupňů se proudění odtrhne od stěny. Z měřených modelů se ví, že u hlasivek se bude proudění odtrhávat okolo místa, kde je koeficient okolo 1.1 (různě se udává hodnota 1.05 až 1.4).

Z vyhodnocených výsledků plyne, že po většinu měření tomu opravdu je. U některých hodnot vychází číslo hodně nad zmíněný koeficient. V tomto případě se proudění ohýbá nahoru nebo dolů, při uzavírání nebo otevírání. Většinou tak odtržení vzniká až na čele modelu hlasivky. Ale například u měření 012s po otevření hlasivek u několika snímků vychází u  $KBO_h$  malé koeficienty. Zapříčiněno malou vzdáleností od bodu 1. U měření 002b vznikl případ, kde graf připomíná hodně sinusoidu a to v obou bodech odtržení. Když hodnota roste na maximální hodnotu, hlasivky se blíží k uzavření.

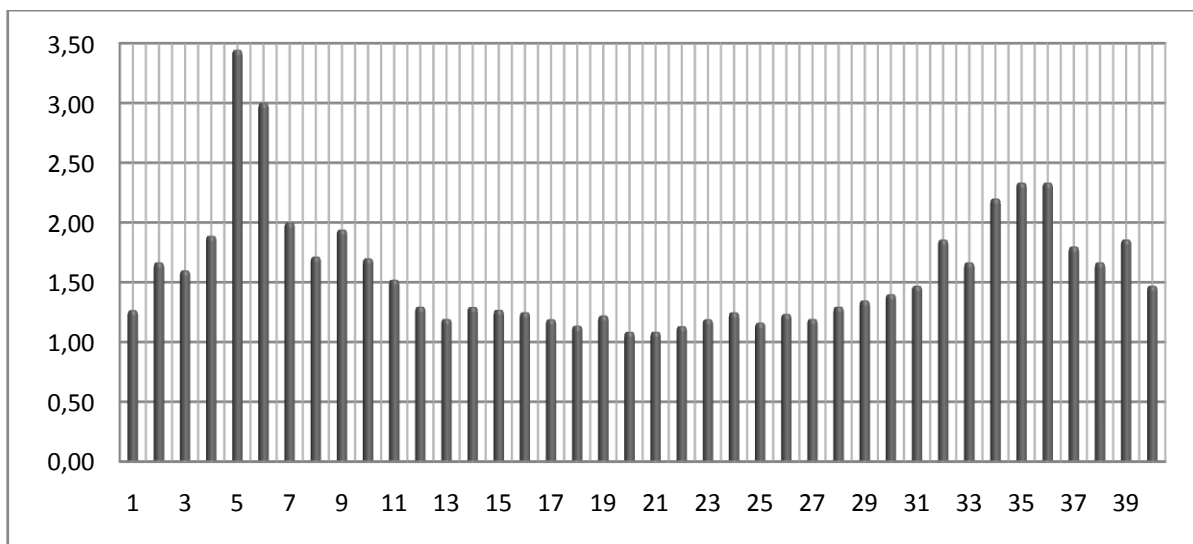
## Použitá literatura

- [1] Jaromír Horáček, Jan Švec, *Modelování lidského hlasu* [online], 2008/12, URL: <http://www.vesmir.cz/clanky/clanek/id/8074>
- [2] Prof. Ing. Jiří Nožička, CSc., *Mechanika tekutin*, vyd. ČVUT, v září 2006, 165 s., ISBN 80-01-02865-8
- [3] Ježek, Váradiová, Adamec, *Mechanika tekutin* [online], 2000, vyd. ČVUT, URL: [http://www.strojar.com/upload/skripta/3rocnik/Mechanika\\_Tekutin\\_skripta\\_2000.pdf](http://www.strojar.com/upload/skripta/3rocnik/Mechanika_Tekutin_skripta_2000.pdf)
- [4] Ing. Dr. Josef Malický, CSc., *Technická dynamika plynů*, .vyd. SNTL, 1967,
- [5] Anatomy, [online], URL: <http://www.singingvoice.net/images/larynx.gif>
- [6] Václav Kopecký, *Laserová anemometrie v mechanice tekutin*, vyd. Tribun EU, únor 2008, 204 s., ISBN 978-80-7399.357-3

# Příloha1: Vyhodnocení měření 002b

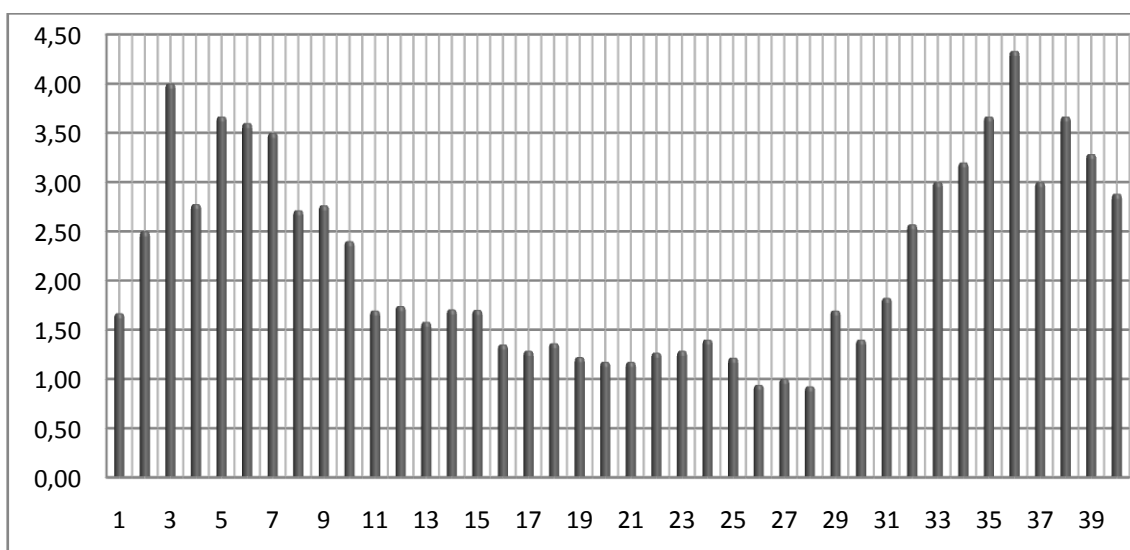
Tab. 2 – Měření 002b

Počet snímků	Souřadnice bodu 1 [px]		Souřadnice bodu 2 [px]		Souřadnice bodu 3 [px]		Souřadnice bodu 4 [px]		Ys	gH gD	hD	hH	KBOd	KBOh
	x	y	x	y	x	y	x	y						
0	693	298	697	313	635	293	681	315	306	7,5	9,5	12,5	1,27	1,67
2	695	298	697	310	621	289	677	314	304	6,0	10,0	15,0	1,67	2,50
4	695	298	697	308	613	283	677	311	303	5,0	8,0	20,0	1,60	4,00
6	695	298	697	307	625	290	678	311	303	4,5	8,5	12,5	1,89	2,78
8	695	298	697	307	617	286	657	318	303	4,5	15,5	16,5	3,44	3,67
10	696	298	697	308	614	285	657	318	303	5,0	15,0	18,0	3,00	3,60
12	695	298	697	310	611	283	664	316	304	6,0	12,0	21,0	2,00	3,50
14	695	298	697	312	614	286	667	317	305	7,0	12,0	19,0	1,71	2,71
16	695	298	697	315	611	283	660	323	307	8,5	16,5	23,5	1,94	2,76
18	696	298	698	318	611	284	662	325	308	10,0	17,0	24,0	1,70	2,40
20	695	298	697	321	622	290	666	327	310	11,5	17,5	19,5	1,52	1,70
22	693	298	696	325	618	288	671	329	312	13,5	17,5	23,5	1,30	1,74
24	693	298	697	329	622	289	676	332	314	15,5	18,5	24,5	1,19	1,58
26	693	298	698	332	614	286	676	337	315	17,0	22,0	29,0	1,29	1,71
28	696	298	700	335	611	285	674	340	317	18,5	23,5	31,5	1,27	1,70
30	695	298	700	338	622	291	676	343	318	20,0	25,0	27,0	1,25	1,35
32	698	298	703	340	628	292	681	344	319	21,0	25,0	27,0	1,19	1,29
34	698	298	703	342	620	290	683	345	320	22,0	25,0	30,0	1,14	1,36
36	701	297	706	342	625	292	677	347	320	22,5	27,5	27,5	1,22	1,22
38	700	297	705	343	625	293	683	345	320	23,0	25,0	27,0	1,09	1,17
40	699	297	705	343	625	292	683	345	320	23,0	25,0	28,0	1,09	1,22
42	699	297	705	342	620	291	683	345	320	22,5	25,5	28,5	1,13	1,27
44	698	298	703	340	622	292	679	344	319	21,0	25,0	27,0	1,19	1,29
46	696	298	700	338	619	290	676	343	318	20,0	25,0	28,0	1,25	1,40
48	692	298	700	335	628	294	682	338	317	18,5	21,5	22,5	1,16	1,22
50	695	298	698	332	660	299	676	336	315	17,0	21,0	16,0	1,24	0,94
52	695	298	697	329	655	298	677	332	314	15,5	18,5	15,5	1,19	1,00
54	693	298	696	325	665	299	674	329	312	13,5	17,5	12,5	1,30	0,93
56	695	298	697	321	618	290	677	325	310	11,5	15,5	19,5	1,35	1,70
58	697	298	698	318	631	294	674	322	308	10,0	14,0	14,0	1,40	1,40
60	696	298	697	315	621	291	672	319	307	8,5	12,5	15,5	1,47	1,82
62	697	298	697	312	615	287	665	318	305	7,0	13,0	18,0	1,86	2,57
64	697	298	697	310	612	286	671	314	304	6,0	10,0	18,0	1,67	3,00
66	697	298	697	308	615	287	666	314	303	5,0	11,0	16,0	2,20	3,20
68	697	298	697	307	615	286	668	313	303	4,5	10,5	16,5	2,33	3,67
70	697	298	697	307	609	283	671	313	303	4,5	10,5	19,5	2,33	4,33
72	697	298	697	308	621	290	674	312	303	5,0	9,0	13,0	1,80	2,60
74	696	298	697	310	610	282	674	314	304	6,0	10,0	22,0	1,67	3,67
76	696	298	697	312	608	282	669	318	305	7,0	13,0	23,0	1,86	3,29
78	696	298	697	315	608	282	674	319	307	8,5	12,5	24,5	1,47	2,88



**Graf 3 – KBO – dolní**

Hlasivky se během měření ani jednou nezavřou. Snímek 5 má nejvyšší koeficient na grafu a znamená, že se hlasivky blíží nejvíce k uzavření.



**Graf 4 – KBO – horní**

Proudění se láme směrem vzhůru a horní body odtržení vznikají vysoko na horní hlasivce. Opět když se hodnota  $KBO_h$  narůstá tak se model hlasivek blíží k uzavření.

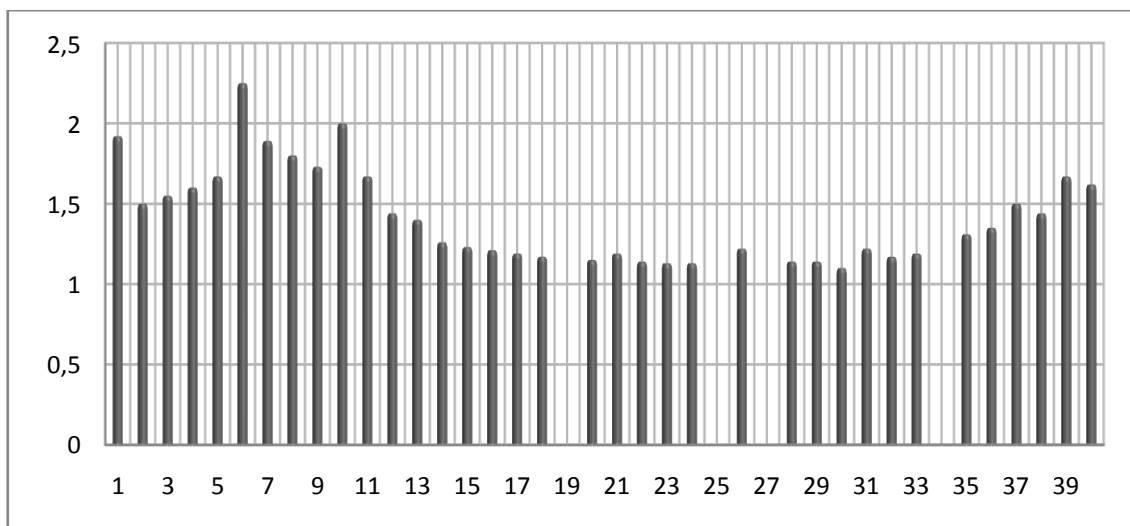
**Tab. 2b – Parametry měření 002b**

Číslo měření	Tlak [Pa]	Frekvence kmitání [Hz]	Maximální Rychlost [ $ms^{-1}$ ]
002b	45	10,9	10

## Příloha 2: Vyhodnocení měření 002c

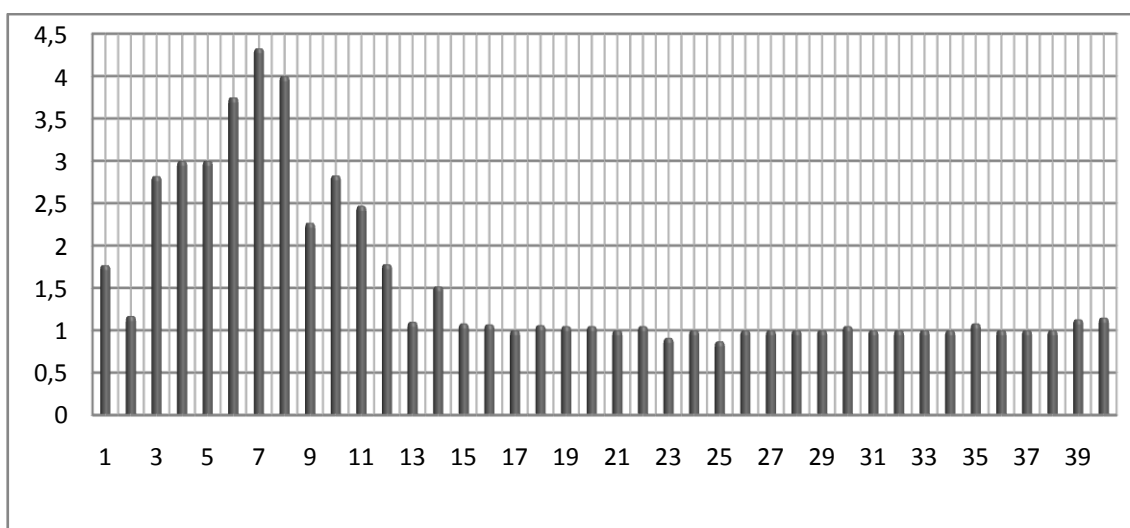
Tab. 3 – Měření 002c

Počet snímků	Souřadnice bodu 1 [px]		Souřadnice bodu 2 [px]		Souřadnice bodu 3 [px]		Souřadnice bodu 4 [px]		Ys	gH gD	hD	hH	KBod	KBOh
	x	y	x	y	x	y	x	y						
0	696	297	697	310	630	292	677	316	304	6,5	12,5	11,5	1,92	1,77
2	696	297	697	309	649	296	680	312	303	6,0	9,0	7,0	1,50	1,17
4	696	297	697	308	617	287	679	311	303	5,5	8,5	15,5	1,55	2,82
6	696	297	697	307	617	287	678	310	302	5,0	8,0	15,0	1,60	3,00
8	696	297	697	306	619	288	677	309	302	4,5	7,5	13,5	1,67	3,00
10	696	297	697	305	614	286	675	310	301	4,0	9,0	15,0	2,25	3,75
12	696	297	697	306	608	282	674	310	302	4,5	8,5	19,5	1,89	4,33
14	696	297	697	307	608	282	674	311	302	5,0	9,0	20,0	1,80	4,00
16	696	297	697	308	622	290	674	312	303	5,5	9,5	12,5	1,73	2,27
18	696	297	697	309	613	286	675	315	303	6,0	12,0	17,0	2,00	2,83
20	696	297	697	312	614	286	674	317	305	7,5	12,5	18,5	1,67	2,47
22	696	297	697	315	623	290	676	319	306	9,0	13,0	16,0	1,44	1,78
24	696	297	697	317	645	296	676	321	307	10,0	14,0	11,0	1,40	1,10
26	696	297	697	320	623	291	680	323	309	11,5	14,5	17,5	1,26	1,52
28	696	297	698	323	647	296	682	326	310	13,0	16,0	14,0	1,23	1,08
30	696	297	698	326	648	296	683	329	312	14,5	17,5	15,5	1,21	1,07
32	696	297	698	329	651	297	683	332	313	16,0	19,0	16,0	1,19	1,00
34	696	297	699	332	648	296	683	335	315	17,5	20,5	18,5	1,17	1,06
36	696	297	700	334	646	296	0	0	316	18,5	0,0	19,5	0,00	1,05
38	696	297	700	337	648	296	684	340	317	20,0	23,0	21,0	1,15	1,05
40	696	297	700	339	651	297	684	343	318	21,0	25,0	21,0	1,19	1,00
42	696	297	700	341	648	296	684	344	319	22,0	25,0	23,0	1,14	1,05
44	698	297	702	342	665	299	684	345	320	22,5	25,5	20,5	1,13	0,91
46	698	297	702	343	653	297	684	346	320	23,0	26,0	23,0	1,13	1,00
48	698	297	702	343	665	300	0	0	320	23,0	0,0	20,0	0,00	0,87
50	698	297	702	343	653	297	684	348	320	23,0	28,0	23,0	1,22	1,00
52	698	297	702	342	652	297	0	0	320	22,5	0,0	22,5	0,00	1,00
54	696	297	700	341	648	297	684	344	319	22,0	25,0	22,0	1,14	1,00
56	696	297	700	339	651	297	684	342	318	21,0	24,0	21,0	1,14	1,00
58	696	297	700	337	650	296	684	339	317	20,0	22,0	21,0	1,10	1,05
60	696	297	700	334	654	297	683	338	316	18,5	22,5	18,5	1,22	1,00
62	696	297	699	332	656	297	683	335	315	17,5	20,5	17,5	1,17	1,00
64	696	297	698	329	652	297	682	332	313	16,0	19,0	16,0	1,19	1,00
66	696	297	698	326	651	297	0	0	312	14,5	0,0	14,5	0,00	1,00
68	696	297	698	323	651	296	681	327	310	13,0	17,0	14,0	1,31	1,08
70	696	297	698	320	657	297	680	324	309	11,5	15,5	11,5	1,35	1,00
72	696	297	697	317	656	297	676	322	307	10,0	15,0	10,0	1,50	1,00
74	696	297	697	315	656	297	676	319	306	9,0	13,0	9,0	1,44	1,00
76	696	297	697	312	645	296	674	317	305	7,5	12,5	8,5	1,67	1,13
78	696	297	697	310	648	296	675	314	304	6,5	10,5	7,5	1,62	1,15



Graf 5 – KBO – dolní

Snímky 19, 25, 27 a 34 mají koeficient 0, protože dolní body odtržení nebyly naměřeny.



Graf 6 – KBO – horní

Hlasivky se pohybují od úzkého sevření do ještě užšího, ale nedochází k uzavření. Poté se otevírají. Horní body odtržení vznikají hodně vysoko na horní hlasivce.

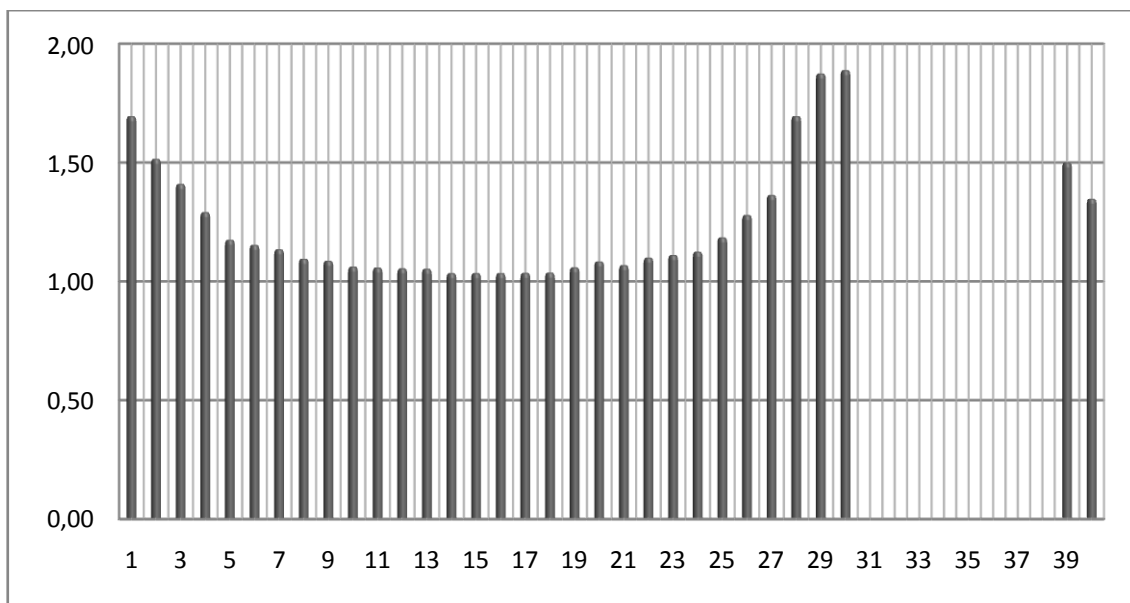
Tab. 3c – Parametry měření 002c

Číslo měření	Tlak [Pa]	Frekvence kmitání [Hz]	Maximální Rychlost [ $\text{ms}^{-1}$ ]
002c	45	10,9	10

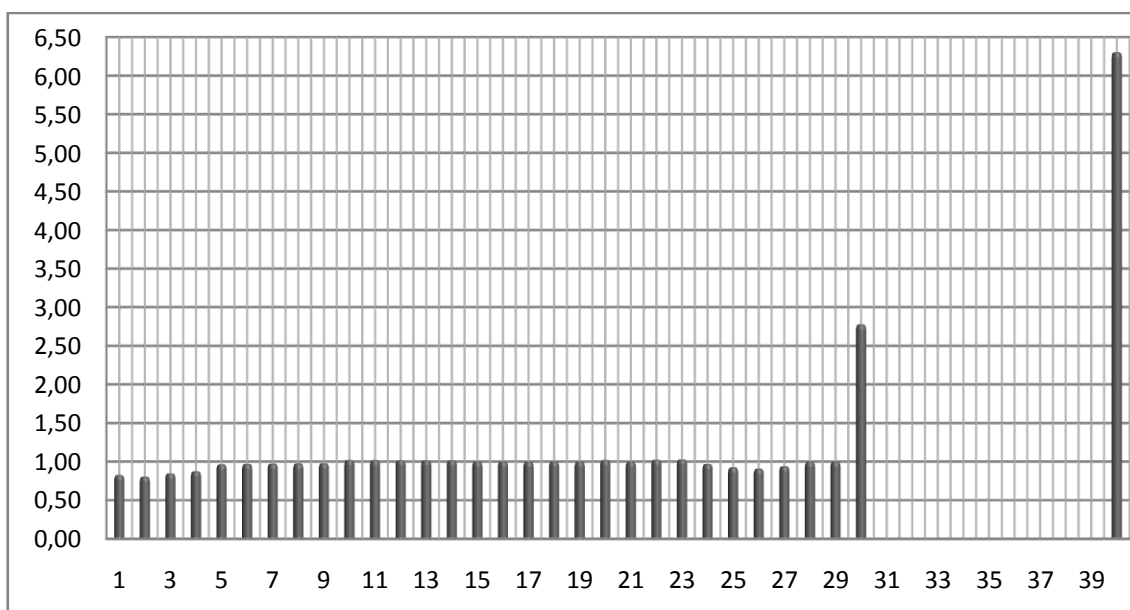
## Příloha 3: Vyhodnocení měření 012s

Tab. 4 – Měření 012s

Počet snímků	Souřadnice bodu 1 [pix]		Souřadnice bodu 2 [pix]		Souřadnice bodu 3 [pix]		Souřadnice bodu 4 [pix]		Ys	gH gD	hD	hH	KBOd	KBOh
	x	y	x	y	x	y	x	y						
0	656	253	659	276	615	255	620	284	<b>264,5</b>	<b>11,5</b>	<b>19,5</b>	<b>9,5</b>	<b>1,70</b>	<b>0,83</b>
2	656	253	660	284	618	256	621	292	<b>268,5</b>	<b>15,5</b>	<b>23,5</b>	<b>12,5</b>	<b>1,52</b>	<b>0,81</b>
4	658	253	662	292	618	256	622	300	<b>272,5</b>	<b>19,5</b>	<b>27,5</b>	<b>16,5</b>	<b>1,41</b>	<b>0,85</b>
6	660	253	664	301	611	256	628	308	<b>277,0</b>	<b>24,0</b>	<b>31,0</b>	<b>21,0</b>	<b>1,29</b>	<b>0,88</b>
8	660	253	664	310	596	254	633	315	<b>281,5</b>	<b>28,5</b>	<b>33,5</b>	<b>27,5</b>	<b>1,18</b>	<b>0,96</b>
10	660	253	665	318	596	254	636	323	<b>285,5</b>	<b>32,5</b>	<b>37,5</b>	<b>31,5</b>	<b>1,15</b>	<b>0,97</b>
12	658	253	666	327	596	254	637	332	<b>290,0</b>	<b>37,0</b>	<b>42,0</b>	<b>36,0</b>	<b>1,14</b>	<b>0,97</b>
14	658	253	666	337	601	254	637	341	<b>295,0</b>	<b>42,0</b>	<b>46,0</b>	<b>41,0</b>	<b>1,10</b>	<b>0,98</b>
16	656	253	664	345	595	254	640	349	<b>299,0</b>	<b>46,0</b>	<b>50,0</b>	<b>45,0</b>	<b>1,09</b>	<b>0,98</b>
18	650	255	664	351	596	254	641	354	<b>303,0</b>	<b>48,0</b>	<b>51,0</b>	<b>49,0</b>	<b>1,06</b>	<b>1,02</b>
20	650	255	663	358	595	254	642	361	<b>306,5</b>	<b>51,5</b>	<b>54,5</b>	<b>52,5</b>	<b>1,06</b>	<b>1,02</b>
22	650	255	663	364	595	254	642	367	<b>309,5</b>	<b>54,5</b>	<b>57,5</b>	<b>55,5</b>	<b>1,06</b>	<b>1,02</b>
24	650	255	664	367	595	254	642	370	<b>311,0</b>	<b>56,0</b>	<b>59,0</b>	<b>57,0</b>	<b>1,05</b>	<b>1,02</b>
26	650	255	664	369	595	254	642	371	<b>312,0</b>	<b>57,0</b>	<b>59,0</b>	<b>58,0</b>	<b>1,04</b>	<b>1,02</b>
28	650	255	664	370	596	255	642	372	<b>312,5</b>	<b>57,5</b>	<b>59,5</b>	<b>57,5</b>	<b>1,03</b>	<b>1,00</b>
30	650	255	664	369	597	255	641	371	<b>312,0</b>	<b>57,0</b>	<b>59,0</b>	<b>57,0</b>	<b>1,04</b>	<b>1,00</b>
32	650	255	663	366	596	255	642	368	<b>310,5</b>	<b>55,5</b>	<b>57,5</b>	<b>55,5</b>	<b>1,04</b>	<b>1,00</b>
34	650	255	663	362	597	255	640	364	<b>308,5</b>	<b>53,5</b>	<b>55,5</b>	<b>53,5</b>	<b>1,04</b>	<b>1,00</b>
36	650	255	663	356	599	255	641	359	<b>305,5</b>	<b>50,5</b>	<b>53,5</b>	<b>50,5</b>	<b>1,06</b>	<b>1,00</b>
38	650	255	663	350	597	254	640	354	<b>302,5</b>	<b>47,5</b>	<b>51,5</b>	<b>48,5</b>	<b>1,08</b>	<b>1,02</b>
40	650	255	663	343	600	255	638	346	<b>299,0</b>	<b>44,0</b>	<b>47</b>	<b>44,0</b>	<b>1,07</b>	<b>1,00</b>
42	650	255	663	335	594	254	638	339	<b>295,0</b>	<b>40,0</b>	<b>44</b>	<b>41,0</b>	<b>1,10</b>	<b>1,03</b>
44	650	255	663	327	594	254	636	331	<b>291,0</b>	<b>36,0</b>	<b>40</b>	<b>37,0</b>	<b>1,11</b>	<b>1,03</b>
46	656	253	662	317	595	254	633	321	<b>285,0</b>	<b>32,0</b>	<b>36</b>	<b>31,0</b>	<b>1,13</b>	<b>0,97</b>
48	656	253	662	307	595	255	630	312	<b>280,0</b>	<b>27,0</b>	<b>32</b>	<b>25,0</b>	<b>1,19</b>	<b>0,93</b>
50	656	253	661	296	596	255	622	302	<b>274,5</b>	<b>21,5</b>	<b>27,5</b>	<b>19,5</b>	<b>1,28</b>	<b>0,91</b>
52	656	253	659	286	594	254	622	292	<b>269,5</b>	<b>16,5</b>	<b>22,5</b>	<b>15,5</b>	<b>1,36</b>	<b>0,94</b>
54	658	253	659	276	592	253	621	284	<b>264,5</b>	<b>11,5</b>	<b>19,5</b>	<b>11,5</b>	<b>1,70</b>	<b>1,00</b>
56	658	253	659	269	592	253	618	276	<b>261,0</b>	<b>8,0</b>	<b>15,0</b>	<b>8,0</b>	<b>1,88</b>	<b>1,00</b>
58	658	253	658	262	558	245	616	266	<b>257,5</b>	<b>4,5</b>	<b>8,5</b>	<b>12,5</b>	<b>1,89</b>	<b>2,78</b>
60	658	253	0	0	0	0	608	261	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>134,5</b>	<b>126,5</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
62	658	253	0	0	0	0	601	258	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>131,5</b>	<b>126,5</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
64	658	252	0	0	0	0	597	256	<b>126,0</b>	<b>126,0</b>	<b>130,0</b>	<b>126,0</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
66	658	251	0	0	0	0	0	0	<b>125,5</b>	<b>125,5</b>	<b>125,5</b>	<b>125,5</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
68	658	252	0	0	0	0	0	0	<b>126,0</b>	<b>126,0</b>	<b>126,0</b>	<b>126,0</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
70	658	253	0	0	0	0	0	0	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
72	658	253	0	0	0	0	0	0	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>126,5</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
74	658	253	658	262	0	0	0	0	<b>257,5</b>	<b>4,5</b>	<b>257,5</b>	<b>257,5</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
76	658	253	659	269	0	0	630	273	<b>261,0</b>	<b>8,0</b>	<b>12,0</b>	<b>261,0</b>	<b>1,50</b>	<b>0,00</b>
78	658	253	659	276	498	192	631	280	<b>264,5</b>	<b>11,5</b>	<b>15,5</b>	<b>72,5</b>	<b>1,35</b>	<b>6,30</b>



Graf 7 – KBO – dolní



Graf 8 – KBO – horní

První čtyři hodnoty na grafu 8 jsou hodně pod 1. Ale jinak hodnoty vychází kolem hodnoty 1. Opět vzniká velká hodnota před a po uzavření modelu hlasivek. Snímek 39 má koeficient 0, protože není naměřen bod 3.

Tab. 4d – Parametry měření 012s

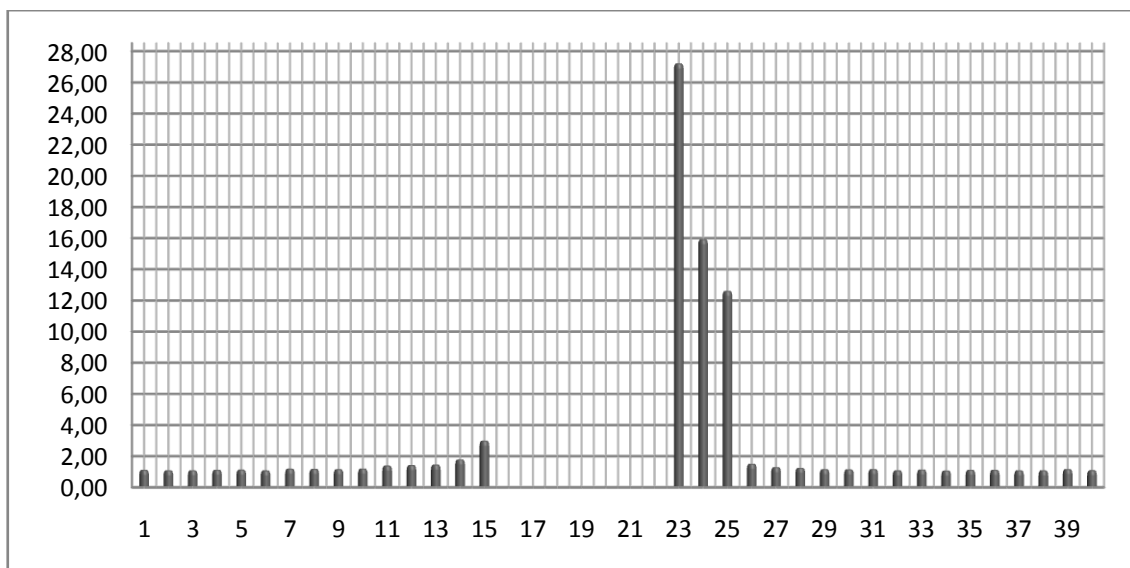
Číslo měření	Tlak [Pa]	Frekvence kmitání [Hz]	Maximální Rychlost [ $\text{ms}^{-1}$ ]
012s	150	13,32	20



## Příloha 4: Vyhodnocení měření 012v

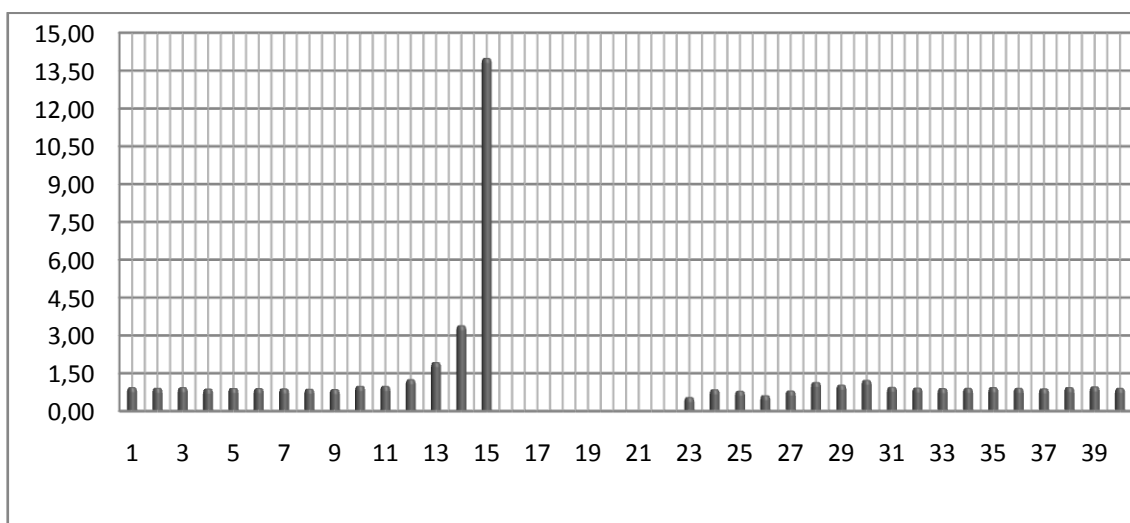
Tab. 5 – Měření 012v

Počet snímků	Souřadnice bodu 1 [px]		Souřadnice bodu 2 [px]		Souřadnice bodu 3 [px]		Souřadnice bodu 4 [px]		Ys	gH gD	hD	hH	KBOd	KBOh
	x	y	x	y	x	y	x	y						
0	690	298	706	377	658	300	671	382	338	39,5	44,5	37,5	1,13	0,95
2	693	298	706	377	629	301	672	381	338	39,5	43,5	36,5	1,10	0,92
4	690	298	706	376	658	300	674	380	337	39,0	43,0	37,0	1,10	0,95
6	693	298	706	373	629	302	674	378	336	37,5	42,5	33,5	1,13	0,89
8	690	298	701	369	626	301	674	374	334	35,5	40,5	32,5	1,14	0,92
10	686	298	698	365	620	301	675	368	332	33,5	36,5	30,5	1,09	0,91
12	686	298	698	358	619	301	675	364	328	30,0	36,0	27,0	1,20	0,90
14	686	298	698	351	619	301	671	356	325	26,5	31,5	23,5	1,19	0,89
16	685	298	697	345	624	301	672	349	322	23,5	27,5	20,5	1,17	0,87
18	685	298	698	337	640	298	671	341	318	19,5	23,5	19,5	1,21	1,00
20	690	298	698	328	629	298	670	334	313	15,0	21,0	15,0	1,40	1,00
22	690	298	698	321	616	295	667	326	310	11,5	16,5	14,5	1,43	1,26
24	694	297	699	314	601	289	669	318	306	8,5	12,5	16,5	1,47	1,94
26	690	298	696	308	599	286	669	312	303	5,0	9,0	17,0	1,80	3,40
28	692	298	695	302	582	272	667	306	300	2,0	6,0	28,0	3,00	14,00
30	693	298	0	0	0	0	0	0	149	0,0	149,0	149,0	0,00	0,00
32	691	296	0	0	0	0	0	0	148	0,0	148,0	148,0	0,00	0,00
34	691	294	0	0	0	0	0	0	147	0,0	147,0	147,0	0,00	0,00
36	691	295	0	0	0	0	0	0	148	0,0	147,5	147,5	0,00	0,00
38	691	296	0	0	0	0	0	0	148	0,0	148,0	148,0	0,00	0,00
40	693	298	0	0	0	0	0	0	149	0,0	149,0	149,0	0,00	0,00
42	694	297	695	302	0	0	0	0	300	0,0	299,5	299,5	0,00	0,00
44	693	298	697	307	0	0	0	0	303	0,0	302,5	302,5	0,00	0,00
46	693	298	700	313	657	299	0	0	306	0,0	305,5	6,5	0,00	0,00
48	695	297	702	318	663	299	613	440	308	10,5	132,5	8,5	12,62	0,81
50	694	297	701	324	626	302	0	0	311	13,5	310,5	8,5	0,00	0,63
52	695	297	701	330	623	300	673	335	314	16,5	21,5	13,5	1,30	0,82
54	695	297	702	336	615	294	673	341	317	19,5	24,5	22,5	1,26	1,15
56	695	297	705	342	615	296	675	346	320	22,5	26,5	23,5	1,18	1,04
58	693	298	701	348	610	292	675	352	323	25,0	29,0	31,0	1,16	1,24
60	693	298	704	354	626	299	675	359	326	28,0	33,0	27,0	1,18	0,96
62	693	298	705	360	635	300	675	363	329	31,0	34,0	29,0	1,10	0,94
64	693	298	706	365	633	301	674	370	332	33,5	38,5	30,5	1,15	0,91
66	692	298	705	371	633	301	673	374	335	36,5	39,5	33,5	1,08	0,92
68	693	298	706	373	623	300	674	378	336	37,5	42,5	35,5	1,13	0,95
70	692	298	706	376	622	301	673	381	337	39,0	44,0	36,0	1,13	0,92
72	693	298	706	377	626	302	673	381	338	39,5	43,5	35,5	1,10	0,90
74	692	298	706	377	632	300	675	381	338	39,5	43,5	37,5	1,10	0,95
76	693	298	706	376	631	299	669	383	337	39,0	46,0	38,0	1,18	0,97
78	693	298	706	373	630	301	675	377	336	37,5	41,5	34,5	1,11	0,92



**Graf 9 – KBO – dolní**

Sice koeficienty vychází hodně vysoko, ale naměřeny jsou správně. Proudění se u dolní hlasivky láme hodně na čele.



**Graf 10 – KBO – horní**

Na 15 snímku vychází koeficient vysoko, leží hodně na čele horní hlasivky.

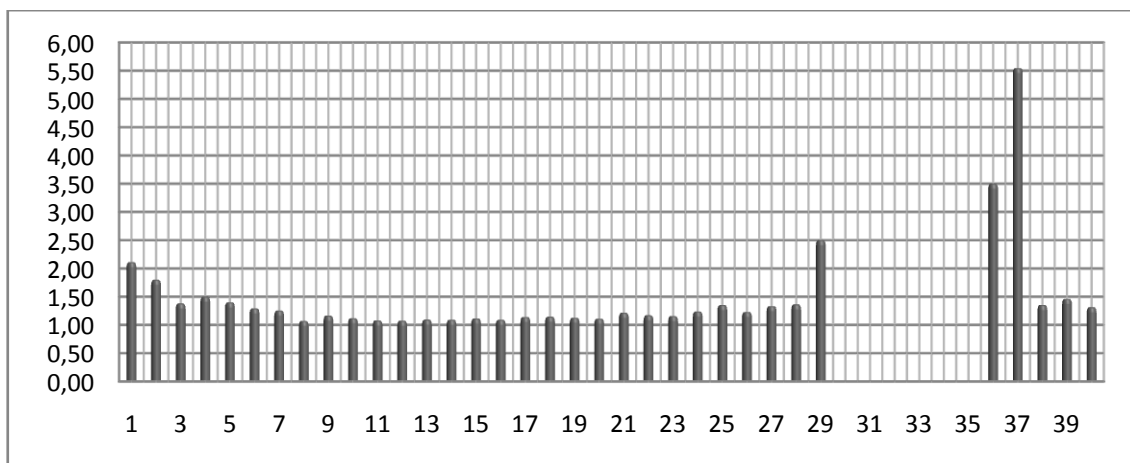
**Tab. 5e – Parametry měření 012v**

Číslo měření	Tlak [Pa]	Frekvence kmitání [Hz]	Maximální Rychlost [ $\text{ms}^{-1}$ ]
012v	150	13,32	20

## Příloha 5: Vyhodnocené měření 017c

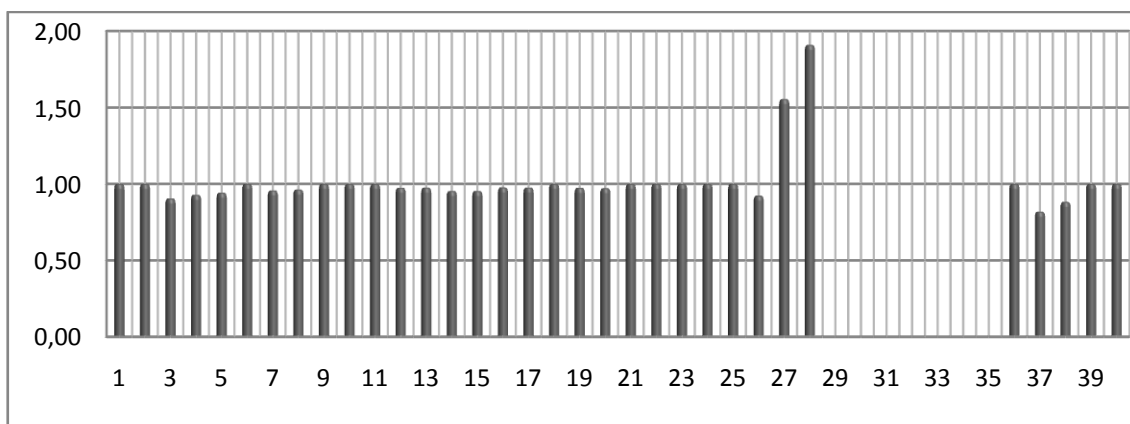
Tab. 6 – Měření 017c

Počet snímků	Souřadnice bodu 1 [px]		Souřadnice bodu 2 [px]		Souřadnice bodu 3 [px]		Souřadnice bodu 4 [px]		Ys	gH gD	hD	hH	KBod	KBOh
	x	y	x	y	x	y	x	y						
0	690	299	691	308	670	299	667	313	<b>304</b>	<b>4,5</b>	<b>9,5</b>	<b>4,5</b>	<b>2,11</b>	<b>1,00</b>
2	690	299	692	314	671	299	669	320	<b>307</b>	<b>7,5</b>	<b>14</b>	<b>7,5</b>	<b>1,80</b>	<b>1,00</b>
4	690	299	693	320	674	300	672	324	<b>310</b>	<b>10,5</b>	<b>15</b>	<b>9,5</b>	<b>1,38</b>	<b>0,90</b>
6	690	299	694	327	661	300	664	334	<b>313</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>13</b>	<b>1,50</b>	<b>0,93</b>
8	690	299	696	334	670	300	666	341	<b>317</b>	<b>17,5</b>	<b>25</b>	<b>16,5</b>	<b>1,40</b>	<b>0,94</b>
10	690	299	696	340	656	299	671	346	<b>320</b>	<b>20,5</b>	<b>27</b>	<b>20,5</b>	<b>1,29</b>	<b>1,00</b>
12	689	299	696	346	670	300	671	352	<b>323</b>	<b>23,5</b>	<b>30</b>	<b>22,5</b>	<b>1,26</b>	<b>0,96</b>
14	688	298	697	353	661	299	681	355	<b>326</b>	<b>27,5</b>	<b>30</b>	<b>26,5</b>	<b>1,07</b>	<b>0,96</b>
16	688	299	697	360	661	299	672	365	<b>330</b>	<b>30,5</b>	<b>36</b>	<b>30,5</b>	<b>1,16</b>	<b>1,00</b>
18	687	299	697	366	657	299	674	370	<b>333</b>	<b>33,5</b>	<b>38</b>	<b>33,5</b>	<b>1,12</b>	<b>1,00</b>
20	683	299	693	373	658	299	675	376	<b>336</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>37</b>	<b>1,08</b>	<b>1,00</b>
22	686	299	697	379	659	300	675	382	<b>339</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>39</b>	<b>1,08</b>	<b>0,98</b>
24	683	299	697	383	659	300	675	387	<b>341</b>	<b>42</b>	<b>46</b>	<b>41</b>	<b>1,10</b>	<b>0,98</b>
26	688	299	700	386	669	301	672	390	<b>343</b>	<b>43,5</b>	<b>48</b>	<b>41,5</b>	<b>1,09</b>	<b>0,95</b>
28	686	299	700	386	666	301	671	391	<b>343</b>	<b>43,5</b>	<b>49</b>	<b>41,5</b>	<b>1,11</b>	<b>0,95</b>
30	686	299	698	386	660	300	672	390	<b>343</b>	<b>43,5</b>	<b>48</b>	<b>42,5</b>	<b>1,09</b>	<b>0,98</b>
32	686	299	699	384	656	300	669	390	<b>342</b>	<b>42,5</b>	<b>49</b>	<b>41,5</b>	<b>1,14</b>	<b>0,98</b>
34	686	299	696	381	659	299	663	387	<b>340</b>	<b>41</b>	<b>47</b>	<b>41</b>	<b>1,15</b>	<b>1,00</b>
36	683	299	694	377	655	300	667	382	<b>338</b>	<b>39</b>	<b>44</b>	<b>38</b>	<b>1,13</b>	<b>0,97</b>
38	680	299	693	371	656	300	667	375	<b>335</b>	<b>36</b>	<b>40</b>	<b>35</b>	<b>1,11</b>	<b>0,97</b>
40	683	299	696	364	653	299	665	371	<b>332</b>	<b>32,5</b>	<b>40</b>	<b>32,5</b>	<b>1,22</b>	<b>1,00</b>
42	686	299	695	357	653	299	670	362	<b>328</b>	<b>29</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>1,17</b>	<b>1,00</b>
44	686	299	695	350	650	299	669	354	<b>325</b>	<b>25,5</b>	<b>30</b>	<b>25,5</b>	<b>1,16</b>	<b>1,00</b>
46	686	299	694	341	653	299	666	346	<b>320</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>1,24</b>	<b>1,00</b>
48	686	299	694	333	653	299	665	339	<b>316</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>1,35</b>	<b>1,00</b>
50	686	299	692	325	654	300	674	328	<b>312</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>1,23</b>	<b>0,92</b>
52	688	299	690	317	630	294	677	320	<b>308</b>	<b>9,0</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>1,33</b>	<b>1,56</b>
54	688	299	690	310	629	294	676	312	<b>305</b>	<b>5,5</b>	<b>7,5</b>	<b>10,5</b>	<b>1,36</b>	<b>1,91</b>
56	688	299	689	303	0	0	673	306	<b>301</b>	<b>2,0</b>	<b>5,0</b>	<b>301</b>	<b>2,5</b>	<b>0</b>
58	686	299	0	0	0	0	0	0	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
60	684	296	0	0	0	0	0	0	<b>148</b>	<b>148</b>	<b>148</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
62	684	296	0	0	0	0	0	0	<b>148</b>	<b>148</b>	<b>148</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
64	686	297	0	0	0	0	0	0	<b>149</b>	<b>149</b>	<b>149</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
66	686	297	0	0	0	0	0	0	<b>149</b>	<b>149</b>	<b>149</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
68	686	299	0	0	0	0	0	0	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
70	689	299	689	303	666	299	667	308	<b>301</b>	<b>2,0</b>	<b>7,0</b>	<b>2,0</b>	<b>3,50</b>	<b>1,00</b>
72	689	299	690	310	672	300	629	335	<b>305</b>	<b>5,5</b>	<b>31</b>	<b>4,5</b>	<b>5,55</b>	<b>0,82</b>
74	689	299	692	316	656	300	680	319	<b>308</b>	<b>8,5</b>	<b>12</b>	<b>7,5</b>	<b>1,35</b>	<b>0,88</b>
76	688	299	692	325	666	299	663	331	<b>312</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>1,46</b>	<b>1,00</b>
78	688	299	694	331	654	299	669	336	<b>315</b>	<b>16</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>1,31</b>	<b>1,00</b>



Graf 11 – KBO – dolní

Pohyb začíná z téměř uzavřených hlasivek. Při otevírání jde konec proudění střídavě nahoru a dolu, ale před úplným otevřením je už i konec proudění ve středu. Při opačném postupu se drží dlouho proudění ve středu, až když je úzká štěrbina tak se proudění láme nahoru a horní bod se odtrhává až na čele. Po uzavření se opět proudění láme dolu, ale netrvá dlouho a už je proudění ve středu. Opět vznikají vysoké hodnoty během uzavírání.



Graf 12 – KBO – horní

Na 29 snímku je koeficient 0, ale jen proto, že nebyl změřen bod 3. Ne že je model hlasivek uzavřen.

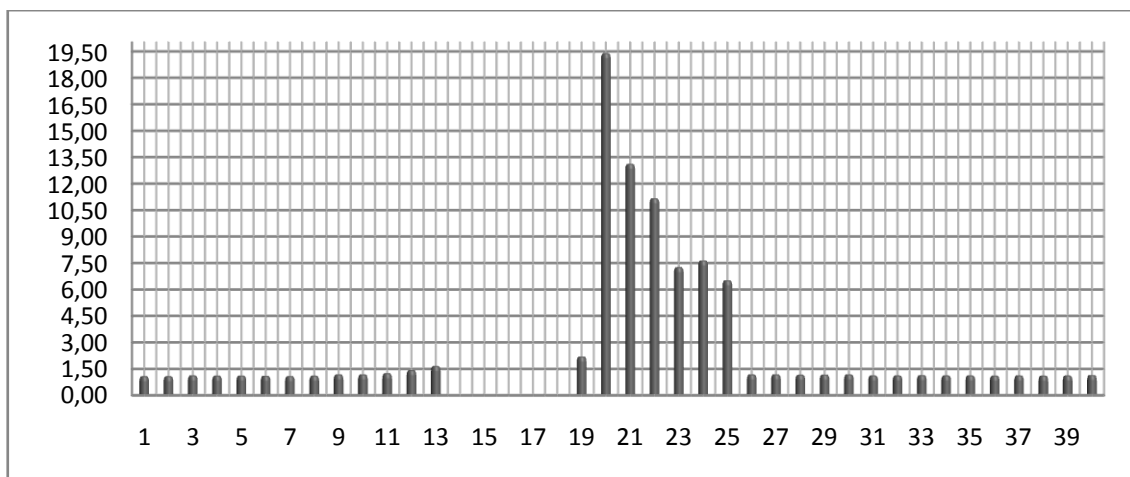
Tab. 6f – Parametry měření 017c

Číslo měření	Tlak [Pa]	Frekvence kmitání [Hz]	Maximální Rychlost [ $\text{ms}^{-1}$ ]
017c	230	13,7	25

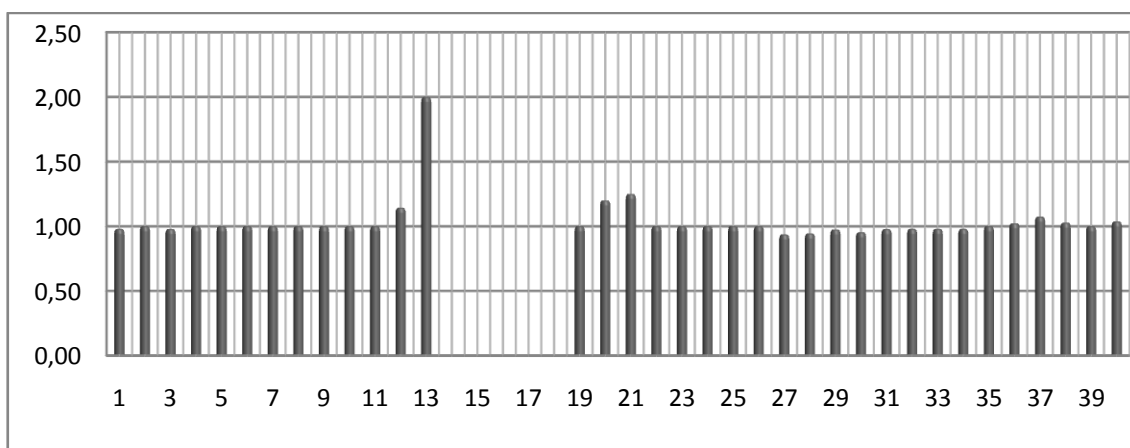
## Příloha 6: Vyhodnocené měření 027a

Tab. 7 – Měření 027a

Pořadí snímků	Souřadnice bodu 1 [px]		Souřadnice bodu 2 [px]		Souřadnice bodu 3 [px]		Souřadnice bodu 4 [px]		Ys	gH gD	hD	hH	KBOd	KBOh
	x	y	x	y	x	y	x	y						
0	683	299	701	394	664	300	681	398	347	47,5	51,5	46,5	1,08	0,98
2	683	299	698	394	658	299	681	398	347	47,5	51,5	47,5	1,08	1,00
4	683	299	696	392	654	300	669	398	346	46,5	52,5	45,5	1,13	0,98
6	683	299	694	387	659	299	668	392	343	44,0	49,0	44,0	1,11	1,00
8	680	299	689	380	652	299	665	385	340	40,5	45,5	40,5	1,12	1,00
10	680	299	687	372	651	299	665	376	336	36,5	40,5	36,5	1,11	1,00
12	671	299	680	363	653	299	663	366	331	32,0	35,0	32,0	1,09	1,00
14	676	299	678	353	651	299	661	356	326	27,0	30,0	27,0	1,11	1,00
16	685	299	691	342	652	299	658	346	321	21,5	25,5	21,5	1,19	1,00
18	683	299	687	332	650	299	657	335	316	16,5	19,5	16,5	1,18	1,00
20	680	299	682	323	653	299	655	326	311	12,0	15,0	12,0	1,25	1,00
22	680	299	682	313	653	298	658	316	306	7,0	10,0	8,0	1,43	1,14
24	680	299	681	305	635	296	657	307	302	3,0	5,0	6,0	1,67	2,00
26	680	299	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
28	680	296	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
30	680	295	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
32	680	295	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
34	680	299	680	299	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
36	680	299	681	304	659	299	657	307	302	2,5	5,5	2,5	2,20	1,00
38	680	299	681	309	653	298	585	401	304	5,0	97,0	6,0	19,40	1,20
40	680	299	681	315	645	297	585	412	307	8,0	105	10,0	13,13	1,25
42	680	299	681	322	656	299	590	439	311	11,5	129	11,5	11,17	1,00
44	680	299	683	329	658	299	591	423	314	15,0	109	15,0	7,27	1,00
46	680	299	682	336	650	299	597	459	318	18,5	142	18,5	7,65	1,00
48	685	299	690	345	662	299	602	472	322	23,0	150	23,0	6,52	1,00
50	685	299	688	354	655	299	661	359	327	27,5	32,5	27,5	1,18	1,00
52	685	299	690	362	655	301	663	368	331	31,5	37,5	29,5	1,19	0,94
54	685	299	693	371	652	301	665	377	335	36,0	42,0	34,0	1,17	0,94
56	687	299	695	379	649	300	666	386	339	40,0	47,0	39,0	1,18	0,98
58	687	299	697	385	654	301	668	393	342	43,0	51,0	41,0	1,19	0,95
60	687	299	699	391	654	300	669	397	345	46,0	52,0	45,0	1,13	0,98
62	687	299	701	394	651	300	669	400	347	47,5	53,5	46,5	1,13	0,98
64	687	299	701	395	655	300	670	402	347	48,0	55,0	47,0	1,15	0,98
66	687	299	698	394	662	300	669	400	347	47,5	53,5	46,5	1,13	0,98
68	687	299	699	391	650	299	668	397	345	46,0	52,0	46,0	1,13	1,00
70	687	299	697	385	644	298	667	390	342	43,0	48,0	44,0	1,12	1,02
72	687	299	695	379	636	296	664	384	339	40,0	45,0	43,0	1,13	1,08
74	687	299	693	371	648	298	663	375	335	36,0	40,0	37,0	1,11	1,03
76	685	299	690	362	646	299	663	366	331	31,5	35,5	31,5	1,13	1,00
78	680	299	687	352	648	298	660	356	326	26,5	30,5	27,5	1,15	1,04



Graf 13 – KBO – dolní



Graf 14 – KBO – horní

Začíná se měřit při úplném otevření, proudění se láme do středu roviny, dokud se hlasivky nezavřou, po otevření se proudění láme dolů a bod odtržení je na dolním čele hlasivky, nevydrží dlouho a při otevření se proudění opět láme ve středu. Hlasivky se uzavírají od 14 do 18 snímku. U  $KBO_h$ , kromě u 13 snímku nedochází k vysokým koeficientům.

Tab. 7g – Parametry měření 027a

Číslo měření	Tlak [Pa]	Frekvence kmitání [Hz]	Maximální Rychlost [ $ms^{-1}$ ]
027a	410	13,7	35

U měření 027a již je příliš vysoká maximální rychlost proudění (odpovídá  $140ms^{-1}$  v realitě), což překračuje fyzické vlastnosti lidských hlasivek.