

## **Software - automatické zpracování VKG obrazu**

Příloha k průběžné zprávě za rok 2016

**Číslo projektu:** TA04010877  
**Název projektu:** Automatické hodnocení videokymografických záznamů pro časnou diagnostiku a prevenci nádorových onemocnění hlasivek  
**Předkládá:** Ing. Adam Novozámský, RNDr. B. Zitová, PhD  
**Název organizace:** Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v. v. i.

## Softwarové řešení pro analýzu VKG dat - VKGanalyzer

Jedním z plánovaných výstupů řešeného grantového projektu je software pro analýzu videokymografických (VKG) dat. Tento software má za úkol automaticky hodnotit videokymografické obrazy získané vyšetřením hrtanu osob s poruchami hlasu a doplňuje hardware - již existující videokymografickou kameru. Vývoj zmíněného software se sestává ze tří částí

- pořízení a archivace dat
- návrh a implementace GUI
- analýza dat (implementace vyvinutých metod extrakce relevantních příznaků z VKG záznamů, schopných zachytit uvažované rysy kmitání hlasivek)

Jednotlivé fáze jsou navrženy a implementovány, probíhá testování a případné úpravy na základě vstupů z MH a UPOL. V první části jsme dokončili metodiku pro spolehlivé pořízení VKG záznamu. K ukládání pacientů je použit databázový systém, který je navázán na adresářovou strukturu v PC připojeném ke kameře. V této struktuře jsou uložena jednotlivá pacientova vyšetření. Program umožňuje editaci záznamů a prohlížení jednotlivých vyšetření.

V druhé části jsme navrhli na základě analýz grafické uživatelské rozhraní (GUI = Graphical User Interface). Zakomponovali jsme získané poznatky a požadavky jeho budoucích uživatelů. Je ergonomické a jednoduché na používání. Zaškolení nového uživatele je plně realizovatelné během 60-ti minut.

V třetí části prací jsme navrhli a implementovali analýzu a úpravu vstupních dat a následnou detekci základních a odvozených příznaků kmitání hlasivek. Do budoucna se budeme soustředit na jejich detailní studium z pohledu jejich významu pro stanovení diagnózy během onemocnění hlasivek. Také dále pracujeme na jejich efektivní vizualizaci, aby byly dobře interpretovatelné a čitelné a mohly tak napomáhat vyšetřujícímu lékaři v konečném rozhodnutí.

## 1. Použité technologie

Prvotní vývoj algoritmů probíhá ve výpočetním prostředí Matlab [1]. Samotný finální program je psán v jazyce C++. Pro načítání dat a jejich analýzu využíváme open-source knihovnu openCV [2] pod licencí BSD-3 [3]. Grafické uživatelské rozhraní je napsáno v multiplatformní knihovně Qt [4]. Jako vývojové prostředí jsme zvolili Visual Studio 2015 [5] s Qt Visual Studio Add-in [6]. Pro archivaci dat pacientů využíváme relační databázový systém SQLite [7], který je distribuován pod licencí public domain [8].

## 2. Požadavky na instalaci

Při vytváření programu byly využity pouze multiplatformní technologie. Výsledný software bude tedy distribuovatelný jak pro pracovní stroje běžící na systému Windows tak na systému firmy Apple. Ačkoli nepředpokládáme, že by některý z lékařů pracoval se systémem UNIX, bude možné případně realizovat i toto řešení. Hardwarové nároky pro hladký běh programu nejsou velké co se týče parametrů systému, nebude tedy problém program spustit a pracovat s ním na počítačích, kterými jsou vybaveny běžné ordinace.

## 3. Požadovaná funkčnost systému

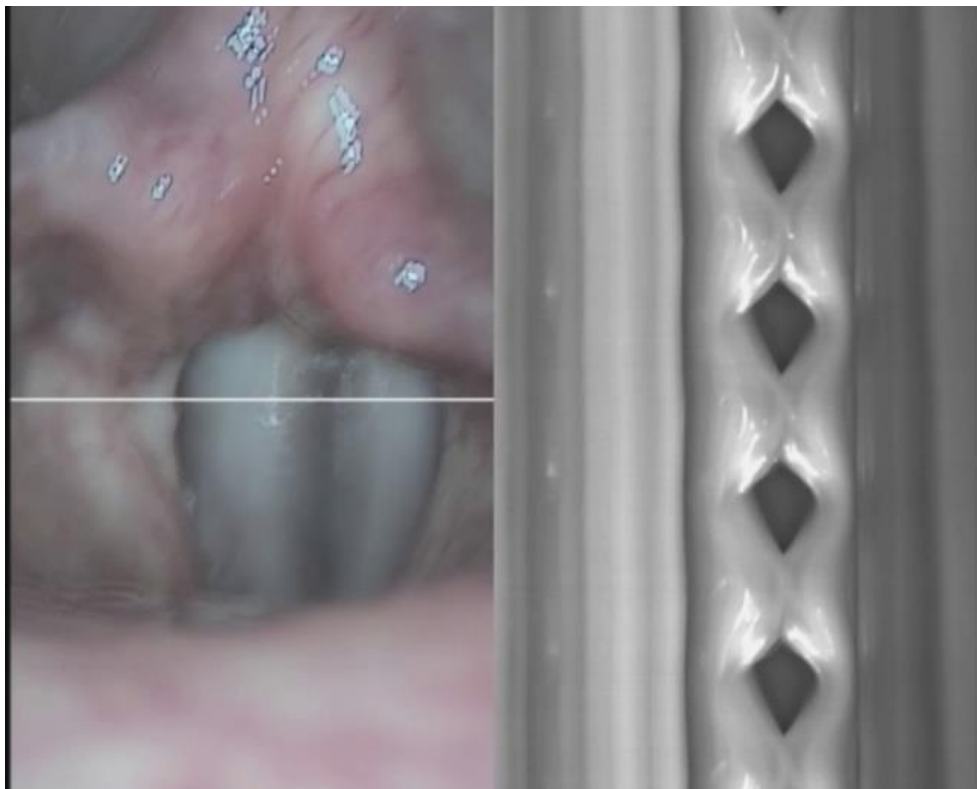
Na základě studie z roku 2014 a z diskuzí s odborníky byly stanoveny tyto požadavky na funkcionální systém:

- načítání série kymografických snímků nebo videokymografického videa pořízeného VKG kamerou. Přípustné formáty dat jsou standardní obrazové formáty jako JPG, TIFF, PNG, BMP atd., a veškeré formáty videí, které na daném počítači přehraje operační systém. Více o vstupních datech je uvedeno v části 4.
- možnost automaticky/semiautomaticky upravovat jasové hodnoty a potlačovat šum pro lepší interpretovatelnost VKG dat.

- automaticky vytvářet předvýběr snímků, na kterých probíhá kmitání pro rychlejší navigaci vyšetřujícího lékaře v nasnímaných datech.
- automaticky detekovat hranici kmitajících hlasivek. Z ní pak následně spočítat příznaky pro analýzu kmitání levé i pravé strany.
- během procházení nasnímaných dat umožnit možnost ukládání:
  - videosekvence pouze se zajímavými VKG snímky
  - jednotlivých snímků
  - jednotlivých kymogramů
  - jednotlivých kymogramů s detekovanou hranicí a body zájmu
  - detekované hranice ve formě textového souboru s výpisem souřadnic [x, y]
  - vyhodnocených příznaků
- možnost ukládat pacienty v relevantní databázové struktuře, procházet jejich záznamy a dopisovat poznámky k vyšetřením

## 4. Vstupní data

Snímky pocházející z VKG kamery [Obrázek 1] mohou být rozděleny vertikálně na dvě stejně velké poloviny. Tím získáme v levé části endoskopický snímek, podle kterého se lékař orientuje, kam umístil linii snímání VKG, v pravé části je zobrazen snímek kymografický.



*Obrázek 1 Snímek z VKG kamery. Levá část slouží mimo jiné k orientaci, pravá část odpovídá VKG snímku.*

Po konzultacích se spolupracujícími odborníky byly identifikovány tři možnosti dat, která se mohou vyskytnout na vstupu:

- I. **Live-view:** Data přicházející v průběhu vyšetření pacienta. Na vstupu bude live-view z VKG kamery. Ta poskytuje barevný analogový signál, kódovaný ve standartu PAL nebo NTSC. Ačkoli výrobce uvádí, že přístroj poskytuje i digitální výstup [9], nepovedlo se ho na daném medicínském pracovišti zprovoznit.
- II. **VKG video:** Druhý typ dat bude pocházet z předem uložených videozáznamů. Systém by měl být schopen načíst videa všech běžně používaných kompresních standardů.
- III. **Kymografické obrázky:** Posledním typem dat jsou uložené jednotlivé kymografické snímky (tedy jen pravá část obrazových dat z VKG kamery, viz Obrázek 1).

#### 4.1. Anonymizace vstupních dat

Většina dat, se kterými se v průběhu řešení projektu pracuje, pochází z Hlasového Centra Praha (HCP) - MH. Jedná se o reálná data pořizována během VKG vyšetření tamních pacientů. Byla vytvořena metodika pro anonymizaci dat pacientů, který zaslepí jména a rodná čísla pacientů pro následné experimentální použití, zároveň vyšetřující lékař má i nadále možnost dohledání daného pacienta.

Po rešerši možných řešení byl vybrán hashovací algoritmus MD5 [8]. Jeho výhodou je, že z libovolně velkého vstupního textového řetězce vytváří výstup fixní délky, který je označován jako *hash*. Navíc jen malá změna na vstupu vyvolá velikou změnu v tomto otisku, což zabezpečuje efektivní zaslepení. Pokud by bylo potřeba určitého pacienta dohledat, stačí vytvořit z databáze pacientů znova *hash* otisky a porovnat je s hledaným řetězcem. Bez databáze pacientů však není možno pacientovy data zjistit.

Pro každého pacienta je vedena složka, do které jsou ukládána jeho jednotlivá vyšetření. Zaslepování tedy probíhá ve dvou krocích. Nejprve je zašifrováno jméno složky:

$$md5(\text{"příjmení jméno rok měsíc den"}) = hash\_jméno\_složky$$

a poté název VKG videa z jednotlivých vyšetření:

$$md5(\text{"jméno_souboru"}) = hash\_jméno\_souboru$$

**Příklad použití:** Pacient Jan Novák narozen 21. července 1970

Jméno adresáře:

$$md5(\text{"Novák Jan 1970 07 21"}) = 2deee1c05de04600a0a0a71adf0062dc$$

Jméno souboru:

$$md5(\text{"file1921682108_1346284633"}) = 2d9b30de0eca2140dfd37b5fe465e242$$

## 5. Grafické uživatelské rozhraní (GUI)

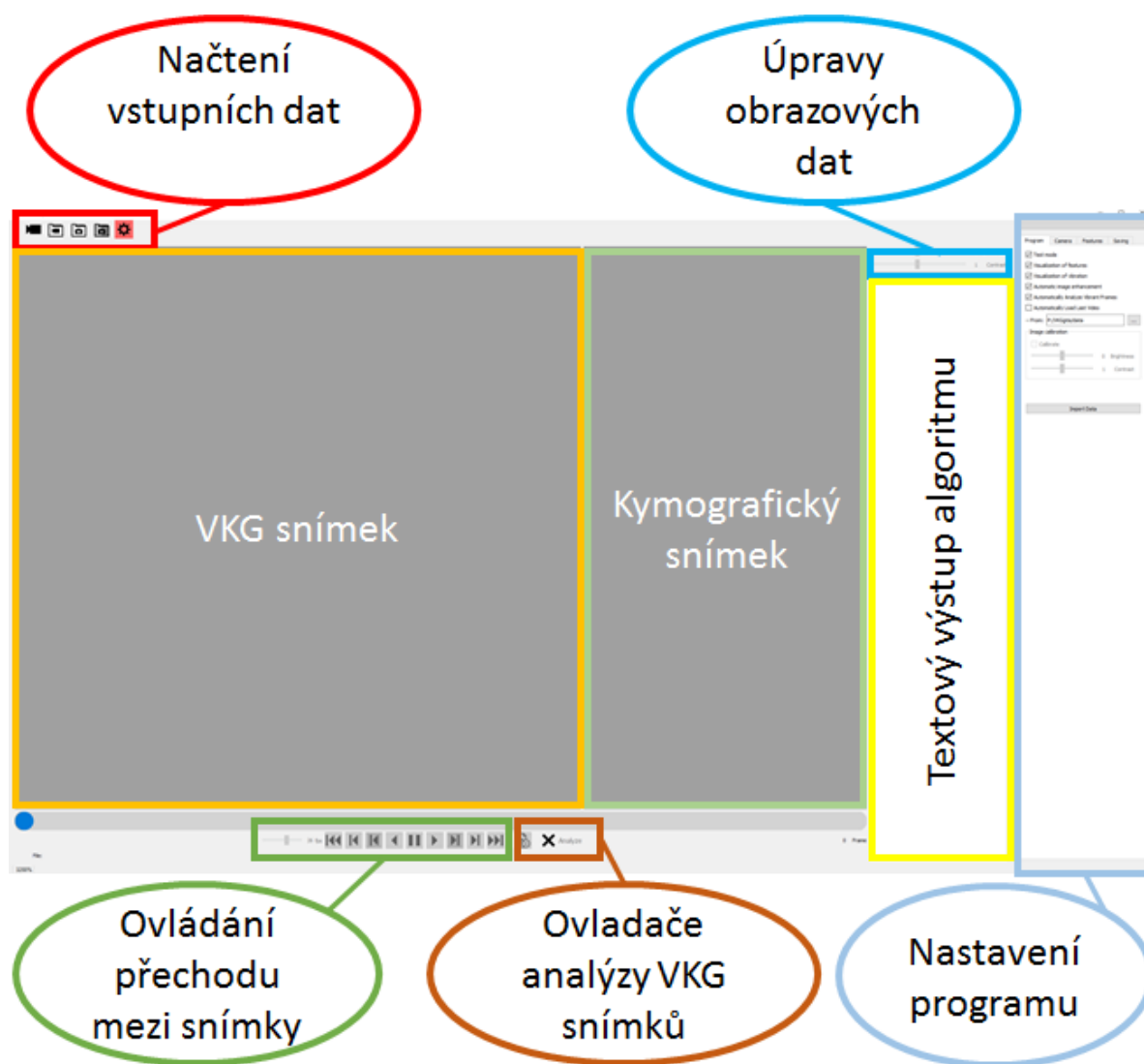
Při vytváření GUI jsme měli na mysli hlavně jednoduchost používání vyvíjeného SW. Po konzultacích s lékaři jsme se nakonec rozhodli pro řešení typu „*video přehrávač s vestavěným modulem pro úpravy obrazových dat (jas, kontrast)*“.

Předpokládáme, že se bude program používat ve dvou módech:

1. **VKGanalyzerBase** – Lékař bude mít jiný komerční software, pomocí kterého bude vyšetřovat pacienta pomocí různých typů záznamových zařízení (laryngoskop, vysokorychlostní kamera, videokymografie); vyvíjený software bude používán pouze pro analýzu VKG dat (Obrázek 2).
2. **VKGanalyzer** – Lékař bude používat vyvíjený software pro vlastní snímání a ukládání a následnou analýzu dat. Bude tedy využívat nabízenou funkcionalitu pro práci s databází a adresářovou strukturou (Obrázek 3).

Pro dosažení co nejjednoduššího a ergonomicky pohodlného ovládní, vhodného i pro dotykové obrazovky byly jednotlivá menu navržena ve formě větších ikon. Pro případ osobních preferencí lékaře je aplikace napsána jako plně *dokovatelná* (Obrázek 4) – uživatel si může v hlavním okně jednotlivá podokna uspořádat podle svých preferencí nebo je dokonce rozmístit mimo aplikaci do samostatných oken.

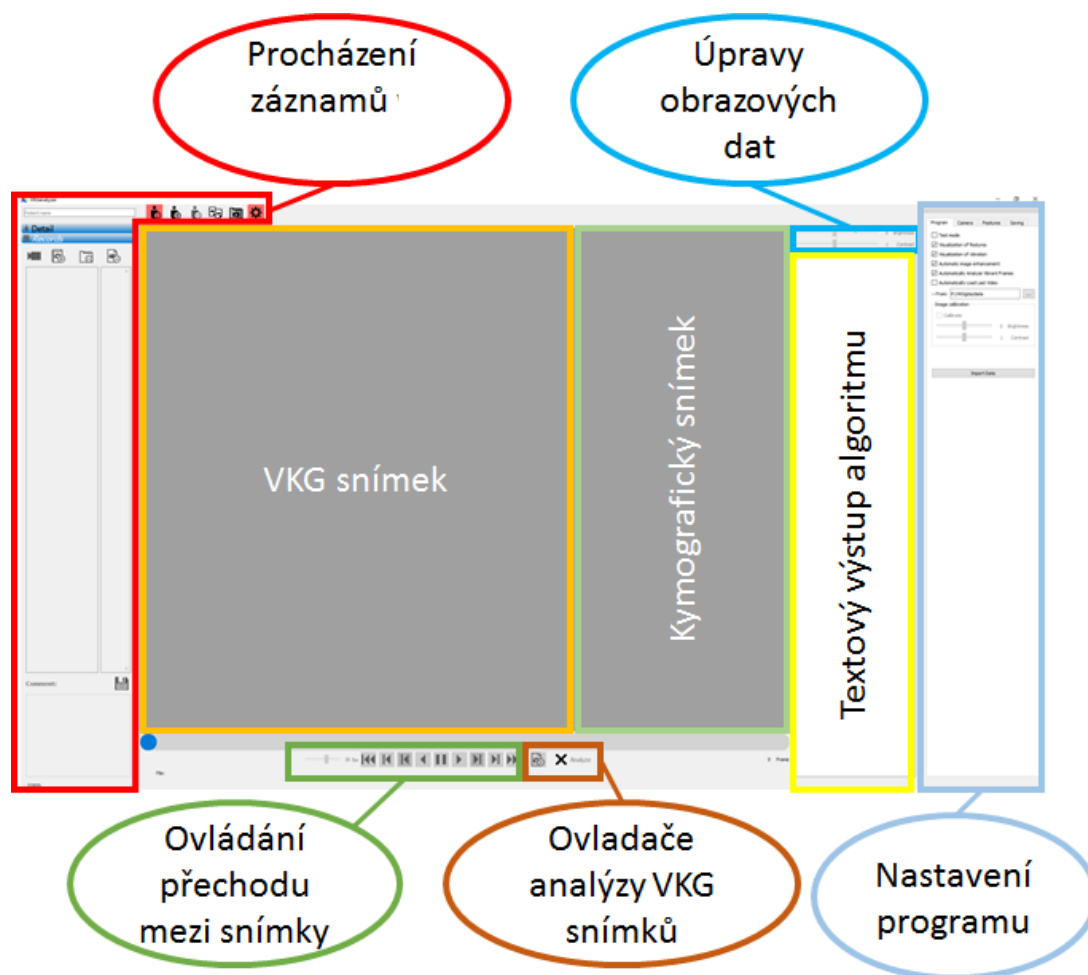
V hlavním menu je levá část dedikovaná zobrazení vstupních VKG dat. V prostřední části jsou zobrazeny zpracované kymografické snímky po úpravě jasových hodnot a odstranění šumu pro lepší vizualizaci. Do této části jsou vykreslovány detekované struktury ve VKG datech a oblasti zájmu. V horní části hlavního okna jsou umístěna tlačítka pro načítání dat různých formátů. V pravé části je vypisován textový výstup, uvádějící hodnoty nalezených příznaků. Tamtéž je okno pro přenastavení parametrů. V rozšířené verzi programu, obsahující také databázi pacientů, je procházení dat umístěno v levé straně hlavního okna.



Obrázek 2 VKGanalyzerBase – náhled a popis aplikace

Pro použitelnost softwaru i v zahraničí je program psán primárně v anglickém jazyce a na jeho lokalizaci do jazyka českého se bude pracovat v následujícím roce.

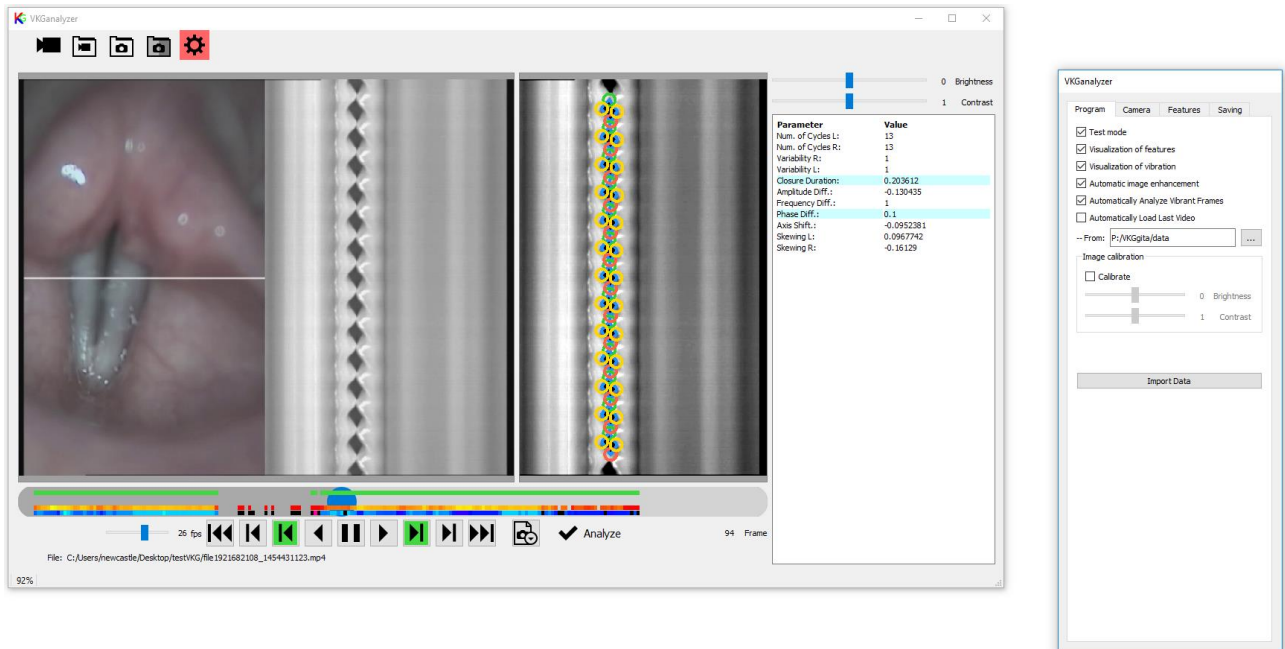




Obrázek 3 VKG analyzer – náhled a popis aplikace

## 6. Běh programu

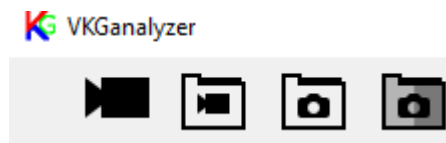
Finální navrhované řešení software obsahuje GUI a analýza kymografického snímku je zároveň výpočetně náročná, proto bylo nutné rozdělit běh programu na více threadů (výpočetních vláken). V hlavním threadu je GUI a jeho ovládací a zobrazovací prvky. V pracovním threadu probíhá samotný výpočet příznaků a oblastí zájmu. Tímto návrhem se zabránilo zbytečnému omezování plynulého chodu GUI a snížení doby odezvy SW na minimum. Výpočet příznaků se spustí při přechodu uživatele na další snímek a zároveň přepínač *Analyze* (uprostřed hlavního okna dole) je zapnut do polohy ON.



Obrázek 4 Ukázka dokovatelnosti aplikace

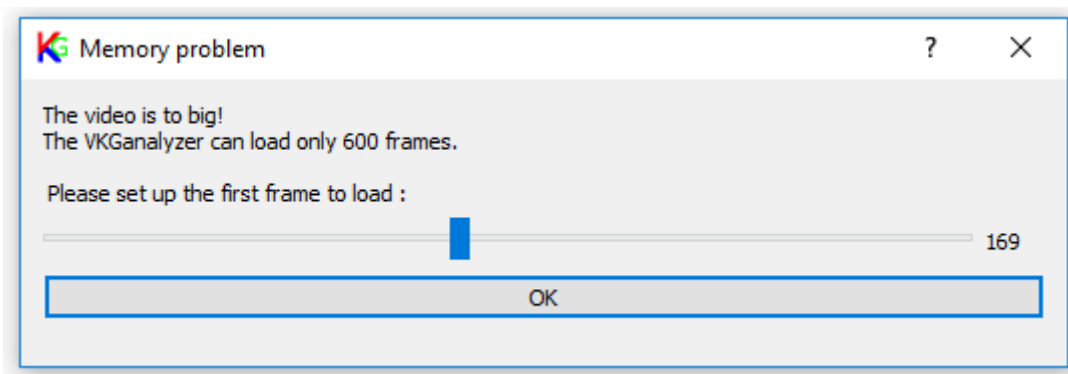
## 6.1. Načítání dat

Pro načítání dat slouží jedna ze 4 ikon, umístěných na horní liště pracovního okna



Pro dosažení uspokojivé rychlosti procházení dat je nutné načíst celé video do operační paměti. Ačkoli není rozlišení videa nijak veliké (720 x 576px), zabírá po dekompresi poměrně dost místa. Pro 20-ti sekundové video to představuje cca 1GB. U operačních systémů s 64bitovou architekturou se nejedná o problém, u 32bitové varianty však dokáže program adresovat maximálně 2GB operační paměti, přičemž systém samotný přidělí procesu maximálně 1,5GB. Proto jsme byli nuceni zavést kontrolu při načítání vstupního souboru a omezit velikost načítaných dat na 600 snímků, což odpovídá při 25fps 24 sekundám záznamu. Z testovaných dat od lékařů z MH je patrné, že v naprosté většině případů je tato velikost souboru dostačující. U 64bitového systému bylo omezení nastaveno na 2000 snímků. Pokud je

video větší než maximální počet snímků, je uživatel vyzván, aby určil pozici, od které se má začít načítat, viz Obrázek 5.



Obrázek 5 Ošetření velikosti videa při načítání

### 6.1.1. Live video

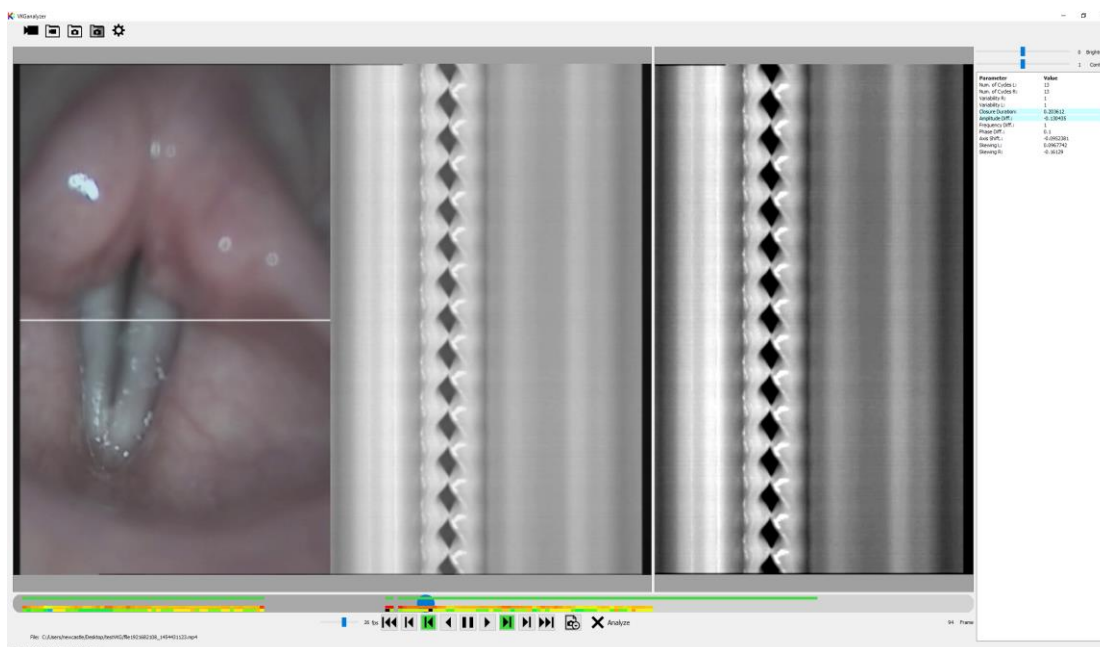
Tato ikona připojí software ke grabberu videa a průběžně ukládá načítaná data do operační paměti. V libovolném okamžiku se stiskem klávesy SPACE (*mezerník*) uloží na disk posledních 30 sekund záznamu. Stisk klávesy ENTER uloží celý záznam. Vyřeší se tak nutnost spolupráce zdravotní sestry při nahrávání, což je doposud běžná praxe. Toto vylepšení usnadní vyšetření a zefektivní práci na pracovišti.

### 6.1.2. Načítání VKG videa

Slouží k vyvolání dialogového okna, ve kterém má uživatel možnost volby videa pro jeho následné načtení z archivu a připravení pro analýzu v programu VKG analyzer.

### 6.1.3. Načítání Kymografického obrázku

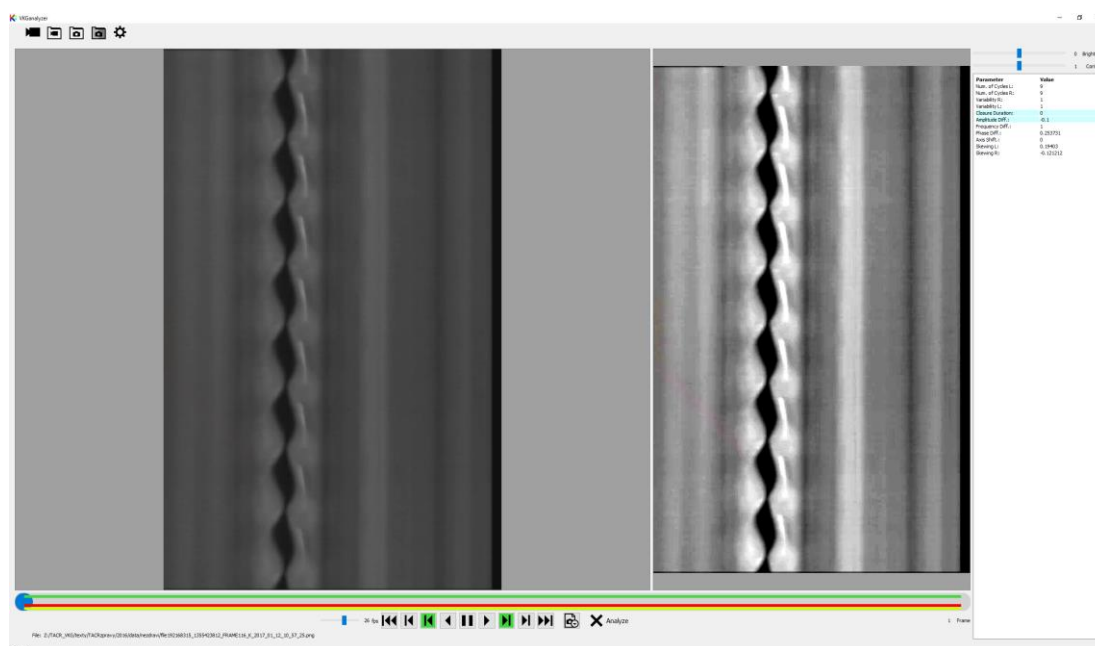
Kymografické snímky mohou být načteny všechny najednou nebo postupně, podle uživatelské volby. Pokud je načtena sekvence snímků, VKG analyzer k ní přistupuje stejně jako k jednotlivým snímkům videa. K přechodu mezi nimi slouží stejné ovládací prvky jako u VKG záznamu.



Obrázek 6 Načtené VKG video

### 6.1.4. Načítání uloženého snímku z videa (Laryngoskop + VKG)

Tato ikona slouží k načtení snímku, který byl uložen z VKG videa



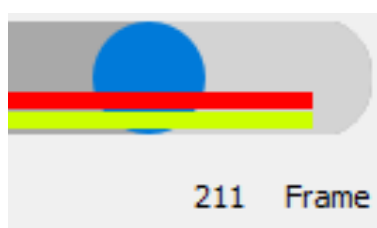
Obrázek 7 Načtený kymografický snímek

## 6.2. Ovládání přechodu mezi jednotlivými snímky

Po načtení dat se zaktivují ovládací prvky sloužící k přechodu mezi jednotlivými snímky, viz. Obrázek 8. K posouvání videa může uživatel využít jednotlivých tlačítek a také symbol posuvníku (kolečko), který zároveň indikuje pozici analyzovaného snímku v rámci videa. Číselná pozice snímku je vypsána v pravé části pod posuvníkem, viz. Obrázek 9. Tlačítka pro posouvání videa jsou navržena podle zaužívaného standardu z jiných software pracujících s videem. Jejich funkčnost je následující (zleva doprava): „přejdi na první snímek“, „přejdi na předchozí snímek“, „přejdi na předchozí snímek se zajímavým obsahem“, „přehraj video pozpátku“, „zastav přehrávání“, „přehraj video“, „přejdi na následující snímek se zajímavým obsahem“, „přejdi na následující snímek“, „přejdi na poslední snímek“. V levé části je možno pomocí posuvného ovladače nastavit rychlost přehrávání snímků za sekundu (z anglického *frames per second*). Tlačítka podbarvená zeleně (přechod na snímek se zajímavým obsahem) slouží k přechodu mezi vibrujícími snímky, tak jak jsou nalezeny podle popisu v kapitole 6.4. S jejich pomocí bude lékař schopen procházet mezi zajímavými částmi záznamu rychleji.



Obrázek 8 Ovládání přechodu mezi snímky



Obrázek 9 Výpis pozice snímku ve videu

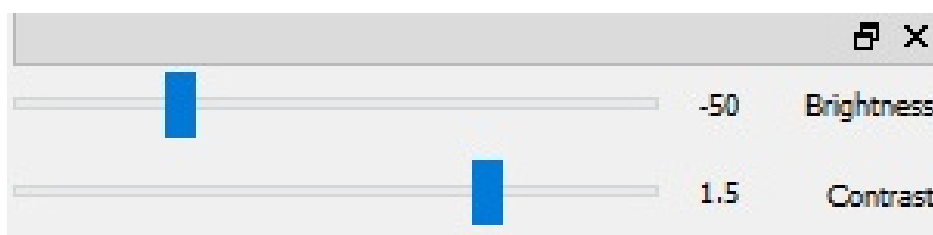
## 6.3. Úpravy obrazových dat

### Odstraňování šumu

Pro odstranění šumu je implementován mediánový filtr [10] o velikosti masky 3x3. Pro snímky s nízkým počtem jasových hodnot a silným šumem je plánována implementace tzv. výběrového mediánu. U něj se maska vezme větší (např. 5x5) než u klasického mediánu. Do výpočtu se ale zahrnou jen ty pixely, které mají jasovou hodnotu blízkou středovému bodu. Tím dochází k silnějšímu vyhlazování šumu, zároveň ale nedochází k „zakulacování“ rohů objektů.

### Úprava jasových hodnot

VKG snímky bývají často přesvícené nebo naopak podexponované, proto byl do výsledné verze software přidán modul pro úpravu jasových hodnot. Hodnoty jasu jsou upraveny automaticky pro dosažení nejlepšího efektu, navíc GUI umožňuje uživateli si hodnoty jasu a kontrastu upravit případně podle svých preferencí pomocí posuvných ovladačů, viz Obrázek 10.

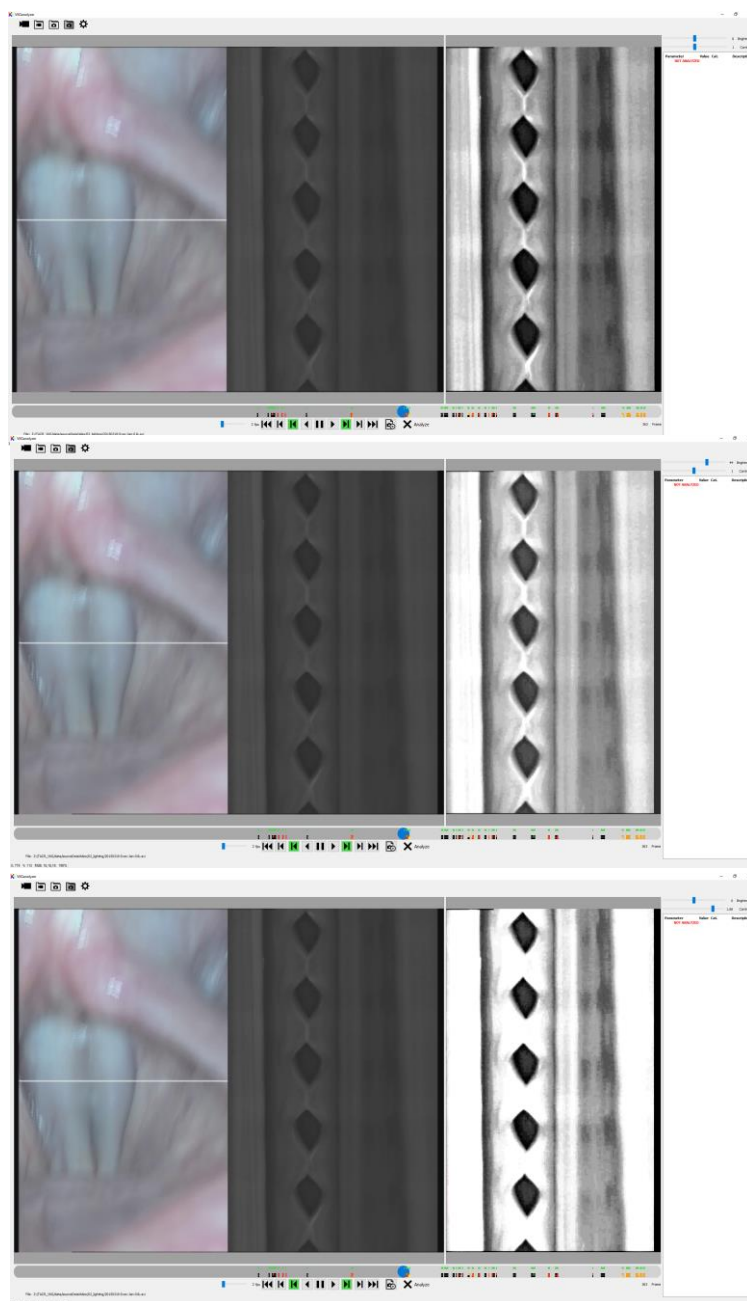


Obrázek 10 Nastavení jasu a kontrastu

Při změně nastavení jasu a kontrastu se mění pouze pravá strana s kymografickými daty, levý snímek s VKG daty se ponechává v původním nastavení. Obrázek 11 zobrazuje tyto jasové operace.

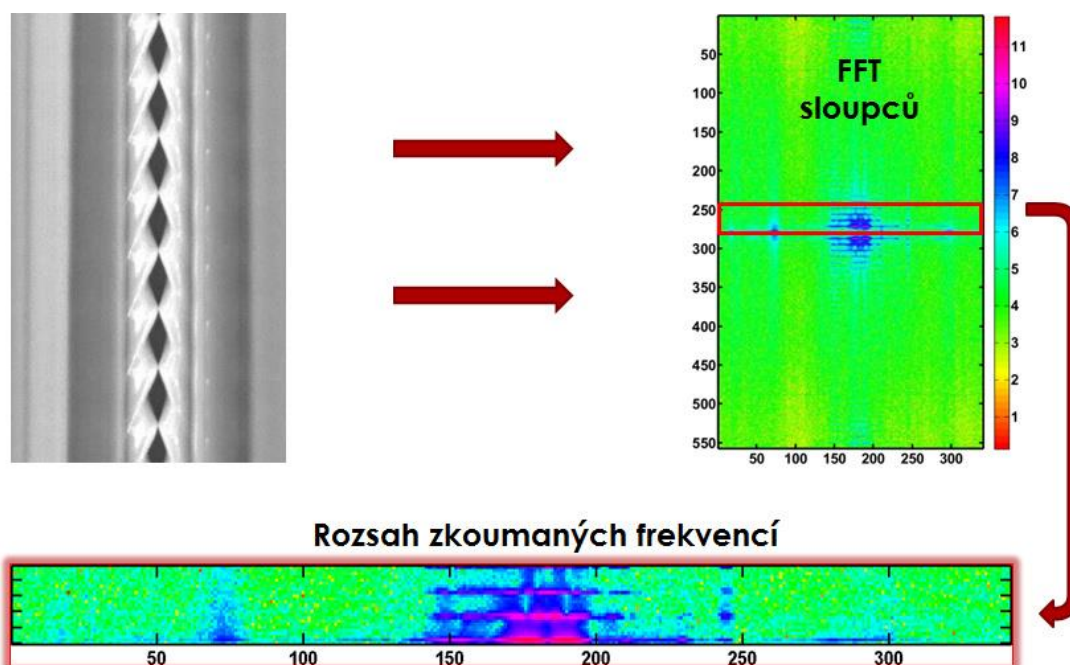
## 6.4. Detekce zajímavých snímků

Ačkoli je délka VKG záznamů při vyšetření relativně krátká (od 5 do 30 sekund), pořizování těchto záznamů je pro pacienta nepříjemné a v důsledku je na záznamu jen velmi málo snímků, na kterých je dobře viditelné kmitání hlasivek. Na základě tohoto pozorování byl vyvinut algoritmus pro hledání „zajímavých“ částí záznamu, takových, kde hlasivky kmitají a snímky obsahují relevantní data. Tím, že se pro další analýzu automaticky vyberou pouze informačně obsažné části, se zrychlí následná analýza a také se zefektivní práce lékaře. Při načtení dat jsou zajímavé snímky označeny na časové. Zároveň se nezajímavé snímky nevyhazují a lékař se může bez problémů k nim vrátit. Při implementaci vycházíme z faktu, že lékaře při VKG vyšetření zajímá především průběh kmitů hlasivek. Pokud se tedy zaměříme na jednotlivé sloupce v kymografických datech, vidíme zde u zajímavých částí dominantní periodicitu pro určitý rozsah kmitání hlasivek. Pro každý kymografický snímek analyzujeme všechny sloupce pomocí *Fourierovu transformace* [10] a na základě odhadnuté velikosti amplitudy v rozsahu kmitů rozhodneme, jestli se jedná o zajímavý nebo nezajímavý snímek (Obrázek 12 a 13).

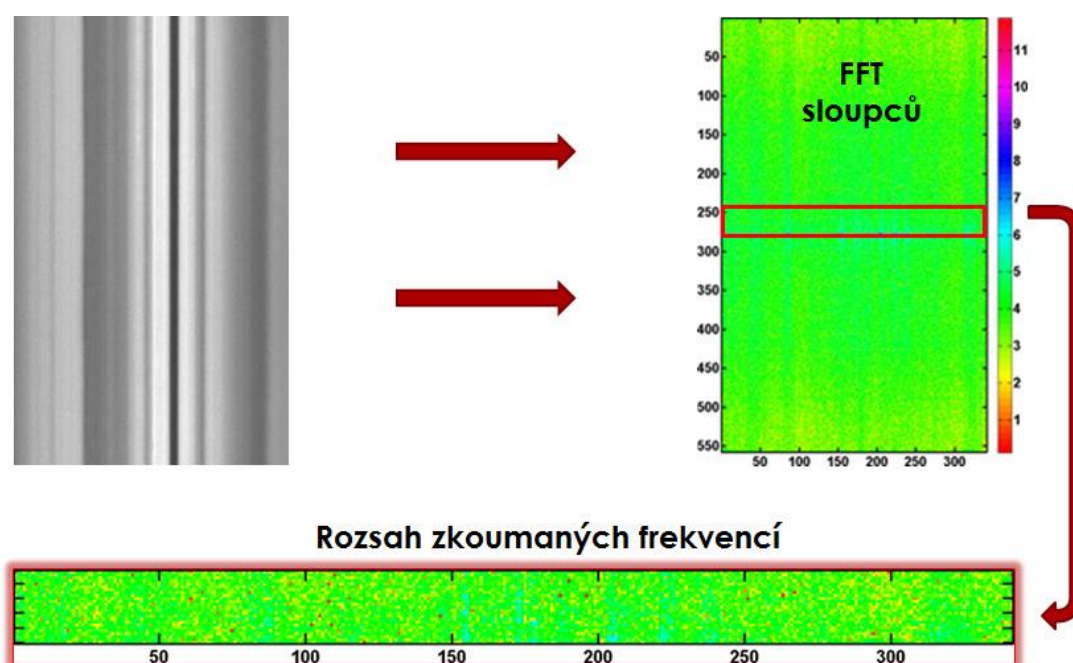


*Obrázek 11 Automatické nastavení jasu a kontrastu*





Obrázek 12 Detekce kmitání u snímku s vibrující hlasivkou



Obrázek 1312 Detekce kmitání u snímku s nevibrující hlasivkou



## 6.5. Databáze pacientů





V Hlasovém centru Praha pracují lékaři s komerčním softwarem, který má vlastní databázi pacientů a je využíván jako hlavní program pro většinu prováděných vyšetření. Proto se plánuje využití vyvíjeného software pouze v roli prohlížeče a analyzátoru VKG dat, tedy verze **VKGanalyzatorBase**. Pro případy, kdy uživatel nebude disponovat podobným řešením pro uchovávání dat pacientů a jejich vyšetření, byl do vyvíjeného software naimplementován databázový modul.

Databáze je tvořena dvěma tabulkami, *patients* a *examinations*. Jejich strukturu zobrazuje Obrázek .

▼	examinations	
	id	INTEGER
	id_patient	INTEGER(10)
	dirpath	TEXT(100)
	comment	TEXT(500)
	date_time	DATETIME
▼	patients	
	id	INTEGER
	title	TEXT(15)
	givennames	TEXT(30)
	surname	TEXT(30)
	birthdate	DATE
	birthnumber	TEXT(10)
	gender	TEXT(6)
	telephone	TEXT(20)
	email	TEXT(50)
	street	TEXT(30)
	city	TEXT(30)
	postcode	TEXT(15)
	country	TEXT(30)
	employer	TEXT(30)

Obrázek 14 Architektura tabulek databáze

Nástroje pro práci s databází pacientů jsou umístěné na horní liště:

-  vyhledávání pacientů
-  zobrazení detailu pacienta
-  přidání nového pacienta
-  odstranění aktuálního pacienta

Obrázek 13 pak zobrazuje editovatelné položky detailu pacienta.

VKGanalyzer

Jan Novák

**Detail**

ID 1

---

Title

Given Names

Surname

Birth Date

Birth Number

Gender

---

Telephone

Email

---

Street

City

Postcode

Country

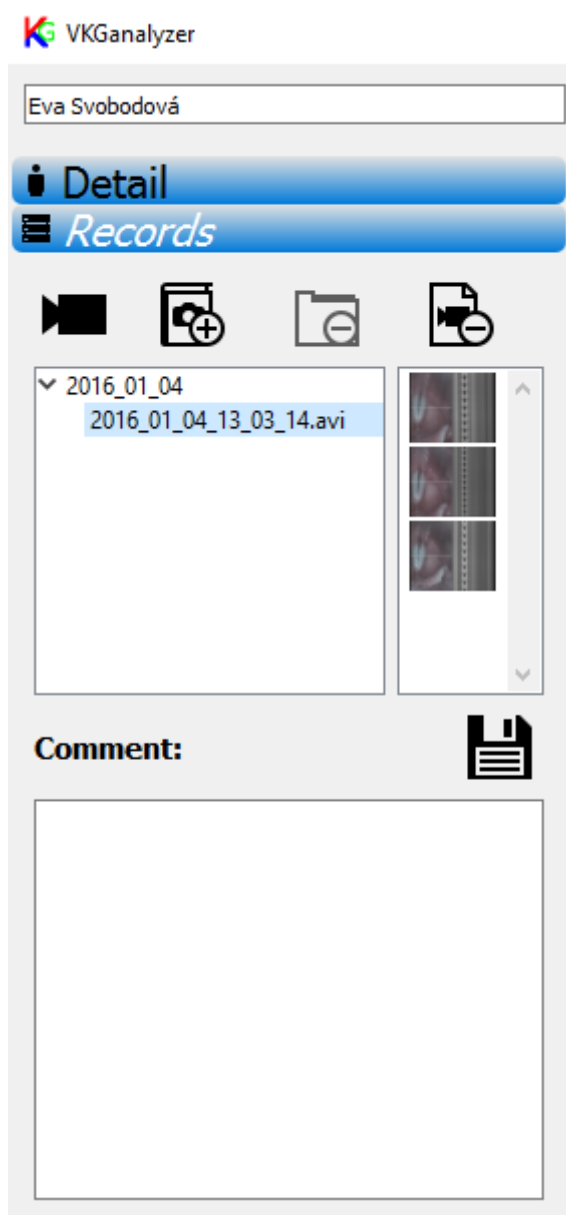
---

Employer

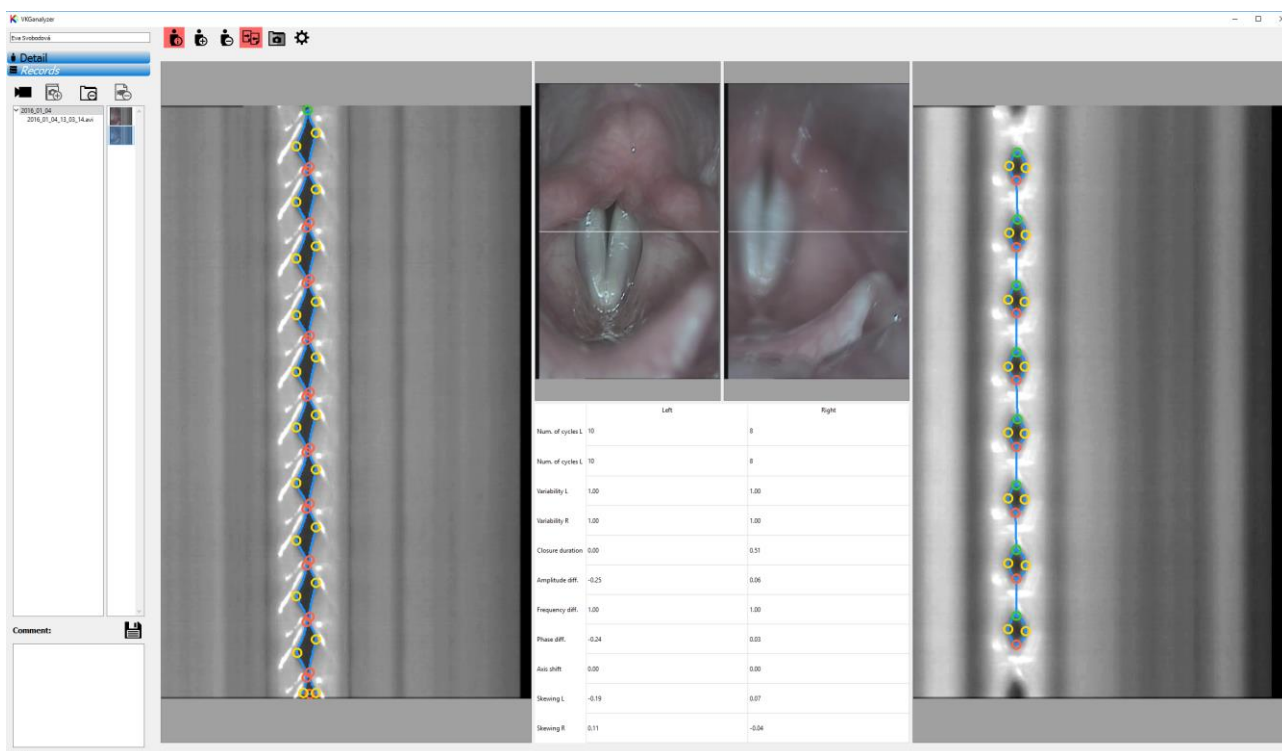
Obrázek 13 Detail pacienta

# T A Č R

Po výběru pacienta může uživatel procházet jednotlivými vyšetřeními, viz Obrázek 14. U každého vyšetření si může dělat tzv. *bookmarky*, které označují zajímavé části záznamu pro budoucí použití. Ty poté urychlí nalezení daného místa, pokud se k vyšetření vrátí později. Tyto bookmarky může mezi sebou porovnávat. Tato funkce by měla napomoci k určení zlepšení/zhoršení diagnózy v čase, viz Obrázek 15. K jednotlivým vyšetřením je možno vložit komentář.



Obrázek 14 Procházení záznamů



Obrázek 15 Porovnání dvou bookmarků z různých videí

## 6.6. Výpis příznaků

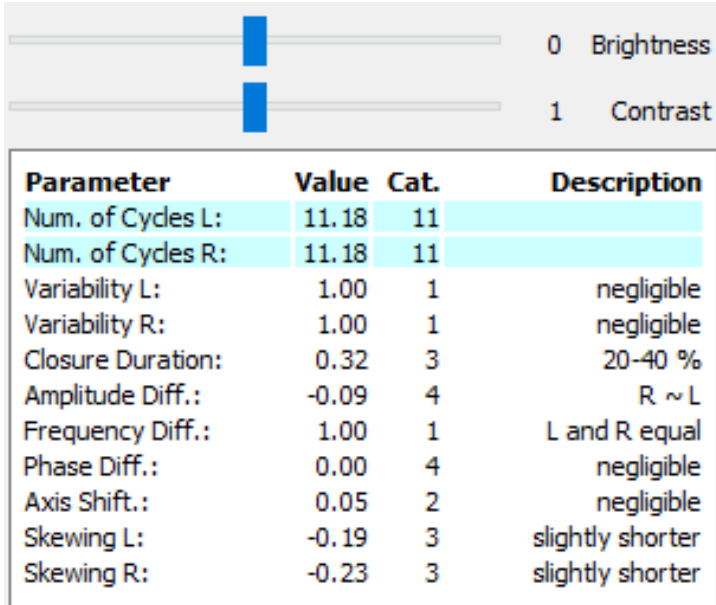
Výpis hodnot příznaků je umístěn v pravé části hlavního okna ve formě tabulky, Obrázek 18. Je provedena kategorizace vypočítaných hodnot příznaků do intervalů používaných v odborné praxi. Na základě probíhajících experimentů zabývajících se relevancí jednotlivých příznaků vzhledem k diagnózám bude v této části umístěno do budoucna také hlášení, které bude upozorňovat na kritické hodnoty příznaků, které jsou mimo normu. Vyhodnocované příznaky byly zvoleny na základě předchozích studií a probíhajících analýz a vývoje. V posledním roce projektu se bude sada příznaků nadále finalizovat.

V současném řešení, které bylo použito pro vyhodnocování sad VKG dat pro zdravé a nemocné pacienty (viz. soubory s popisem a výsledky TA04010877\_VKG\_Health\_Analysis\_2016.pdf, TA04010877\_VKG\_Disease\_Analysis\_2016.pdf) byly použity tyto příznaky:

- počet cyklů levé hlasivky
- počet cyklů pravé hlasivky

# T A Č R

- variabilita kmitání levé hlasivky
- variabilita kmitání pravé hlasivky
- trvání uzavření
- rozdíl v amplitudě mezi levou a pravou hlasivkou
- rozdíl ve frekvenci kmitání mezi pravou a levou hlasivkou
- rozdíl ve fázi mezi levou a pravou hlasivkou
- posun osy
- vychýlení u levé hlasivky
- vychýlení u pravé hlasivky



Parameter	Value	Cat.	Description
Num. of Cycles L:	11.18	11	
Num. of Cycles R:	11.18	11	
Variability L:	1.00	1	negligible
Variability R:	1.00	1	negligible
Closure Duration:	0.32	3	20-40 %
Amplitude Diff.:	-0.09	4	R ~ L
Frequency Diff.:	1.00	1	L and R equal
Phase Diff.:	0.00	4	negligible
Axis Shift.:	0.05	2	negligible
Skewing L:	-0.19	3	slightly shorter
Skewing R:	-0.23	3	slightly shorter

Obrázek 18 Výpis příznaků

## 7. Instalace

Vyvinutý software v popsané funkčnosti je ke stažení na webových stránkách projektu

<http://zoi.utia.cas.cz/VKG2016>.

## 8. Seznam obrázků

Obrázek 1 Snímek z VKG kamery.....	5
Obrázek 2 VKGanalyzerBase – náhled a popis aplikace.....	8
Obrázek 3 VKGanalyzer – náhled a popis aplikace .....	9
Obrázek 4 Ukázka dokovatelnosti aplikace .....	10
Obrázek 5 Ošetření velikosti videa při načítání .....	11
Obrázek 6 Načtené VKG video.....	12
Obrázek 7 Načtený kymografický snímek.....	12
Obrázek 8 Ovládání přechodu mezi snímky .....	13
Obrázek 9 Výpis pozice snímku ve videu.....	13
Obrázek 10 Nastavení jasu a kontrastu.....	14
Obrázek 11 Automatické nastavení jasu a kontrastu .....	15
Obrázek 12 Detekce kmitání u snímku s vibrující hlasivkou.....	16
Obrázek 13 Detekce kmitání u snímku s nevibrující hlasivkou.....	16
Obrázek 14 Architektura tabulek databáze.....	17
Obrázek 15 Detail pacienta .....	18
Obrázek 16 Procházení záznamů.....	19
Obrázek 17 Porovnání dvou bookmarků z různých videí.....	20
Obrázek 18 Výpis příznaků.....	21

## 9. Reference

- [1] MATLAB, *MATLAB*, Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2017.
- [2] OpenCV, „Open Source Computer Vision Library,“ [Online]. Available: <http://opencv.org/>. [Přístup získán 16 1 2017].

- [3] BSD-3 licence, [Online]. Available: <http://opensource.org/licenses/BSD-3-Clause>. [Přístup získán 16 1 2017].
- [4] Qt, „Qt,“ [Online]. Available: <http://www.qt.io/>. [Přístup získán 16 1 2017].
- [5] Microsoft, „Visual Studio - Microsoft Developer Tools,“ [Online]. Available: <https://www.visualstudio.com/>. [Přístup získán 16 1 2017].
- [6] Qt, „Qt Visual Studio Add-in,“ [Online]. Available: <http://doc.qt.io/vs-addin/>. [Přístup získán 16 1 2017].
- [7] Hwaci, SQLite, Charlotte, North Carolina, 2017.
- [8] Public domain, [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Public\\_domain](https://en.wikipedia.org/wiki/Public_domain). [Přístup získán 16 1 2017].
- [9] CYMO, „Videokymography,“ [Online]. Available: <http://www.cymo.nl/vkg.html>. [Přístup získán 16 1 2017].
- [10] P. W. K., Digital Image Processing (3rd ed.), New York: John Wiley, 2001.
- [11] MD5, „RFC 1321 - The MD5 Message-Digest Algorithm,“ [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc1321>. [Přístup získán 16 1 2017].