

# KOMPLEXNÍ MĚŘENÍ PLICNÍCH FUNKCÍ S VYUŽITÍM SPIROMETRIE

*J. Ruzs, R. Čmejla, A. Stráník, R. Janča*

ČVUT – FEL, Katedra teorie obvodů, Technická 2, 160 00, Praha 6

## Abstrakt

**Mezi základní parametry neinvazivních měření plicních funkcí patří plicní ventilace (kapacita a objem plic), maximální výdechový objem (usilovný výdech) a maximální volní ventilace (hluboké dýchání). Motivací této práce je laboratorní úloha určená pro výuku studentů biomedicínského inženýrství ČVUT FEL v předmětu Biologické signály. Pro všechna měření byl využit spirometr z profesionálního měřicího zařízení Biopac Student Lab a následně byly vyvinuty vlastní jednoduché algoritmy pro automatickou extrakci parametrů ze signálů ve vývojovém prostředí Matlab.**

## 1 Úvod

Dýchacím ústrojím je zprostředkováván přísun vzdušného kyslíku do organismu a zároveň odstranění oxidu uhličitého z těla ven. Vzdušný kyslík je nezbytnou součástí při přeměně látek (cukrů, tuků, bílkovin), čímž lidské tělo získává nezbytnou životní energii. Dýchací systém tedy zajišťuje výměnu dýchacích plynů mezi krví a vnějším prostředím. Dýchací ústrojí lze rozdělit na plíce a dýchací cesty [1].

Úkolem dýchacích cest je vzduch ohřát na tělesnou teplotu a zvýšit jeho vlhkost. Dýchací cesty začínají nosní dutinou tvořenou nosem a dutinou nosní, pokračují nosohltanem, hrtanem, hrtanem v průdušnici, která se dělí na dvě hlavní průdušky (bronchy). Těmi je veden vdechovaný vzduch do levé a pravé plíce. Bronchy se postupně větví na bronchy prvního, druhého a třetího řádu, v závislosti na řádu stoupá jejich počet a klesá jejich průměr. Bronchy třetího řádu pak přecházejí v průdušinky (bronchioly), ty pak v respirační průdušinky, kde jsou zakončeny plicními sklípkami (alveoly) [2].

Výměna plynů mezi vzduchem a krví probíhá především v plicních alveolech. Její účinnost závisí na ventilaci (rytmické dechové pohyby napínající a stlačující alveoly). Při inspiraci (nádechu) jsou alveoly naplněny čerstvým atmosférickým vzduchem a při expiraci (výdechu) pak dochází k odstranění vzduchu se sníženou koncentrací kyslíku a zvýšenou koncentrací oxidu uhličitého.

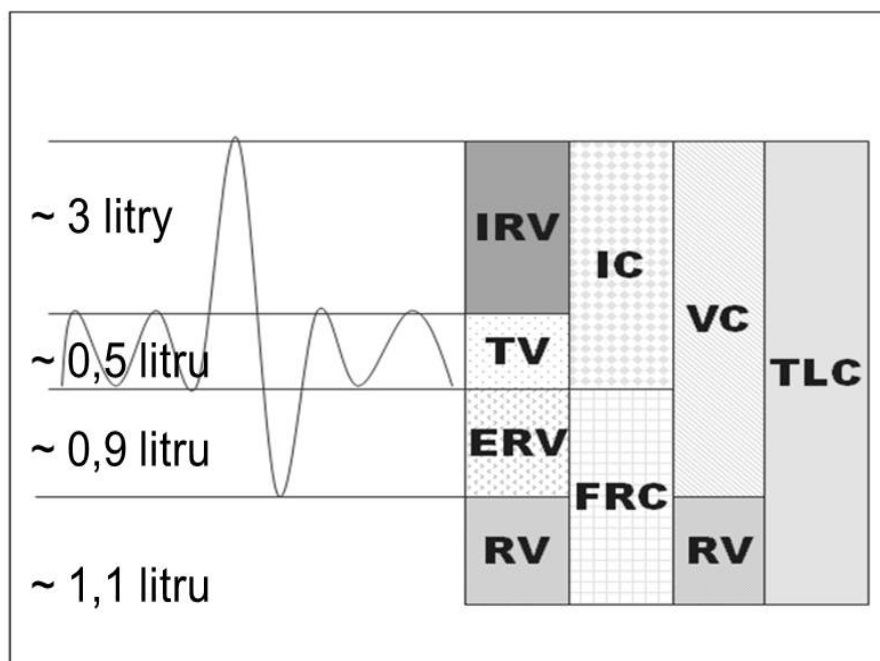
Mezi základní funkční vyšetření plic patří spirometrie, která popisuje plicní objemy a ventilace. Vzhledem k narůstajícímu počtu respiračních onemocnění je spirometrie důležitou vyšetřovací technikou. Uplatňuje se jako vhodná diagnostická a monitorovací metoda u pacientů s chronickými obstrukčními plicními chorobami (nejčastěji způsobenými kouřením tabáku), které představují pátou nejčastější příčinu smrti ve vyspělých společnostech [3, 4].

Cílem této práce bylo praktické seznámení studentů biomedicínského inženýrství ČVUT FEL v předmětu “Biologické signály” se základními funkcemi plic, jejich možnostmi měření a vyhodnocení. Studenti mohli pořizovat vlastní data, která dále zpracovávali pomocí jednoduchých samostatně navržených algoritmů pro základní segmentaci signálů v programovém prostředí MATLAB. K měření byl využit profesionální spirometr, který je součástí měřicího zařízení Biopac Student Lab [5].

## 2 Metody

### 2.1 Základní parametry plicní ventilace

Měření základních parametrů plicní ventilace se skládá z 5 klidových dechových cyklů. Jeden z těchto dechových cyklů tvoří maximální možný výdech a nádech. S využitím tohoto měření je možné odvodit jednotlivé parametry poddajnosti plic. Mezi tyto parametry patří *objem plic při běžném dýchání (TV)*, *inspirační rezervní objem plic (IRV)*, *expirační rezervní objem plic (ERV)* a *residuální objem plic (RV)*. **RV** zůstává v plicích po ukončeném usilovném výdechu a nemůže být změřen spirometricky. Obrázek 1 ukazuje rozložení a průměrné hodnoty těchto jednotlivých plicních objemů pro dospělého zdravého jedince.



Obrázek 1: Plicní objemy.

Podle předem definovaných vztahů a hodnot zmíněných parametrů je dále možné dopočítat *inspirační kapacitu plic (IC)* - maximální objem vzduchu, který lze nadechnout (viz rovnice 1), *expirační kapacitu plic (EC)* - maximální objem vzduchu, který lze vydechnout (viz rovnice 2), *funkční residuální kapacitu plic (FRC)* - objem, který při běžném dýchání zůstává nevydechnutelný (viz rovnice 3), *vitální kapacitu plic (VC)* - maximální objem vzduchu, který lze vyměnit (viz rovnice 4) a *celkovou kapacitu plic (TLC)*, (viz rovnice 5). Obrázek 1 rovněž graficky znázorňuje výpočet jednotlivých parametrů plicních funkcí. Obrázek 2 zobrazuje reálný naměřený signál.

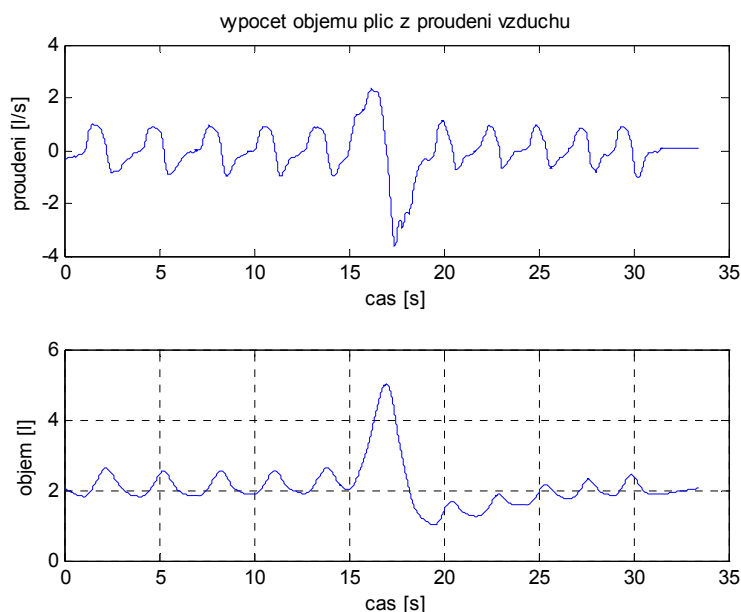
$$IC = IRV + TV \quad (1)$$

$$EC = ERV + TV \quad (2)$$

$$FRC = ERV + RV \quad (3)$$

$$VC = IRV + TV + ERV \quad (4)$$

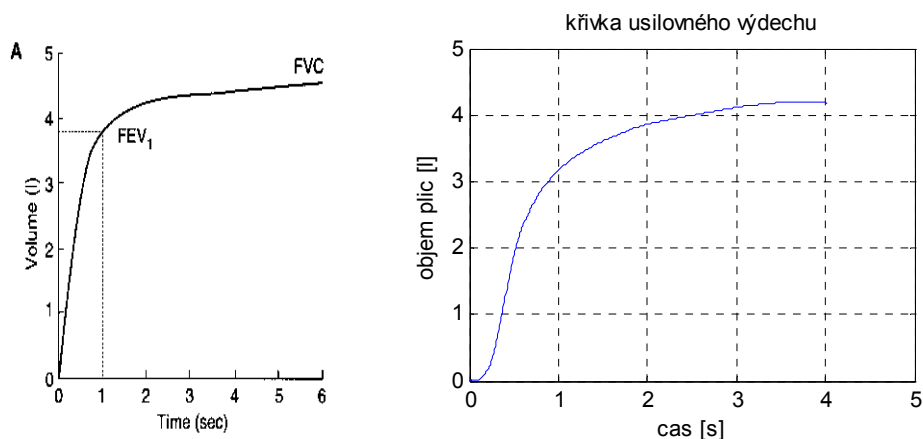
$$TLC = IRV + TV + ERV + RV \quad (5)$$



Obrázek 2: Ukázka naměřeného průběhu pro výpočet základních plicních funkcí.

## 2.2 Usilovný výdej vzduchu

Měření objemu usilovného výdeje vzduchu (FEV) je provedeno tak, že dojde k maximálnímu nádechu a posléze maximálnímu výdechu během 3 sekund. Z průběhu FEV je následně určeno procento vitální kapacity plic v periodách, po jedné (FEV<sub>1</sub>) a třech sekundách (FVC). Obrázek 3 ukazuje metodiku odečtu hodnot pro FEV.



Obrázek 3: Charakteristika usilovného výdeje vzduchu FEV: (vlevo) teoretický odhad, (vpravo) skutečný naměřený signál.

Parametr FEV je používán především pro diagnostiku obstrukčních a restrikčních poruch plicní ventilace. Mezi obstrukční poruchy patří omezení průchodnosti dýchacích cest, zúžení horních dýchacích cest (nádechová dušnost), zúžení dolních dýchacích cest (výdechová dušnost). Příklady těchto chorob zahrnují astma, bronchiální bronchitida, cizí těleso v dýchacích cestách, částečná obstrukce bronchu nádorem a struma. Diagnóza obstrukce dle spirometrie je v případě normální vitální kapacity a snížené FEV<sub>1</sub> pod 80% typické hodnoty.

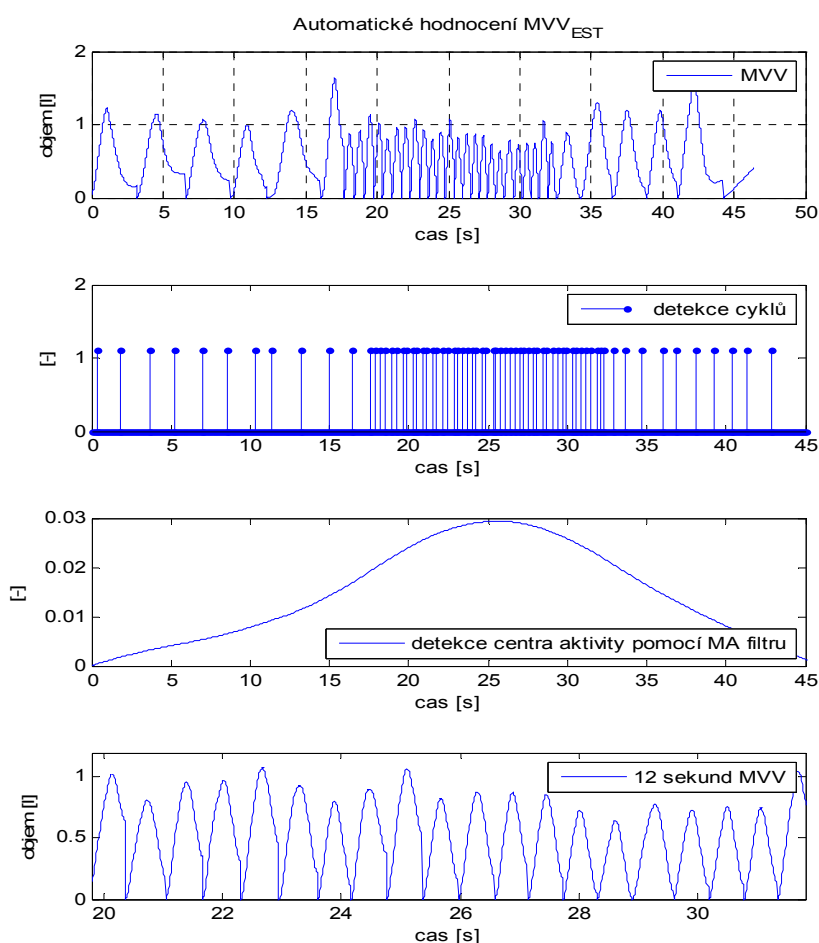
Mezi restrikční poruchy plicní ventilace patří omezení plicní kapacity. Jako příklady onemocnění jsou považovány stav po resekci plicí, atelaktáza, pneumothorax, hydrothorax, plicní fibróza, deformity hrudníku, porucha dýchacích svalů, inervace dýchacích svalů nebo funkce

nervosvalové ploténky, plicní edém a pneumonie. Diagnóza restrikce nastává v případě, že je vitální kapacita snižena pod 80% normy a zároveň FEV1 zůstává nad 80% typické hodnoty.

V běžné medicínské praxi, 60-80% FEV1 normy je považováno za lehkou poruchu, 40-60% FEV1 normy za středně těžkou poruchu a pod 40% FEV1 normy za těžkou poruchu.

## 2.3 Maximální volní ventilace

Měření maximální volní ventilace (MVV) se skládá ze sekvence maximálních nádechů a výdechů po dobu 10 - 15 sekund – minimálně však 5 dechových cyklů. Parametr MVV je kalkulován jako objem vzduchu plic za určitou dobu při maximálním možném dýchání (tzv. hyperventilace). MVV je spočten jako počet cyklů za minutu vynásobeno průměrným objemem výdeje vzduchu z plic. Obrázek 4 znázorňuje postup výpočtu MVV na naměřeném signálu.



Obrázek 4: Princip automatického hodnocení maximální volní ventilace

Společně s měřením FEV se jedná o základní metodiku používanou v praxi při vyšetřování plicních onemocnění. Výsledky těchto měření je možné jednoduše srovnat s tabulkovými hodnotami (závislymi na pohlaví, věku a výšce jednotlivce) uváděnými u zdravých lidí [5]. MVV je také možno porovnávat v klidovém stavu a po zátěži, kde by mělo docházet k jeho velkému poklesu.

### 3 Závěr

Výsledky této práce jsou přínosem při výuce Biologických signálů v zaměření biomedicínského inženýrství. Laboratorní úloha dává studentům možnost pochopení základních principů plicní ventilace. Ti se seznámí s měřeními, jež jsou ve svém odvětví standardem a dále se naučí základní programovací techniky pro automatickou detekci základních parametrů v prostředí MATLAB. Atraktivnost úlohy také zvyšuje pořízení nového přístrojového vybavení, které umožnilo studentům naměření a testování vlastních charakteristik v klidovém stavu i po krátkém zátěžovém cvičení.

### Poděkování

Tato práce je podporována z grantu FRVŠ G1 328 “Laboratorní úloha zaměřená na komplexní měření plicní ventilace a její začlenění do výuky v rámci předmětu Biologické signály”.

### Reference

- [1] F. Paleček, et al. *Patofyziologie dýchání*. Praha, Karolinum, 2nd edition, 2001.
- [2] K. Horsfield, G. Dart, D.E. Oslon. *Models of the human bronchial tree*. Journal of Applied Physiology, 1971, 31: 207-217.
- [3] S. Stajonevic, A. Wade, J. Stocks, et al. *Reference ranges for spirometry across all ages: a new approach*. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2008, 177: 253-260.
- [4] M.R. Miller, R. Crapo, J. Hankinson, et al. *General considerations for lung function testing*. European Respiratory Journal, 2005, 26: 153-161.
- [5] BIOPAC Systems, Inc. *Biopac Studio Lab Pro: Basic tutorials*. Santa Barbara, CA, BIOPAC Systems, Inc., 1999.

---

Jan Rusz

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů  
*e-mail*: ruszjan@fel.cvut.cz

Roman Čmejla

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů  
*e-mail*: cmejla@fel.cvut.cz

Adam Stráník

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů  
*e-mail*: stranada@fel.cvut.cz

Radek Janča

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů  
*e-mail*: jancarad@fel.cvut.cz