



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Praha, 23. 4. 2019

# Seminář biomedicínského inženýrství 2019

## SBORNÍK

*Editoři:*

*Ing. Jan Havlík, Ph.D.*

*prof. Ing. Karel Roubík, Ph.D.*

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta elektrotechnická

Kontaktní adresa: Ing. Jan Havlík, Ph.D., Katedra teorie obvodů, FEL ČVUT v Praze,  
Technická 2, 166 27 Praha 6

Tisk: elektronická publikace

ISBN: 978-80-01-06568-6

Počet stran: 22

Poděkování:

Sborník vznikl jako výstup projektu SVK 23/19/F3 Seminář biomedicínského inženýrství 2019 financovaného Českým vysokým učení technickým v Praze.

# PŘEDMLUVA

Sborník z konference Seminář biomedicínského inženýrství 2019, který právě držíte v ruce, je sborníkem rozšířených abstraktů diplomových prací obhajovaných v oborech biomedicínské inženýrství a příbuzných oborech na Fakultě elektrotechnické a Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze.

Letošní, celkově již pátý, ročník konference má podobně jako předchozí ročníky za cíl dát studentům možnost prezentovat své diplomové projekty a navzájem se tak seznámit s aktuálně řešenými tématy v oboru jejich studia. Načasování konference v době ještě před termínem odevzdání diplomových prací navíc studentům umožňuje získat zpětnou vazbu a odhalit silné a slabé stránky diplomové práce. Zkušenosti z minulých let ukázaly, že takový cíl je splnitelný a že prezentace práce na semináři, její následná diskuse a zapracování připomínek mohou studentům velmi pomoci v přípravě kvalitních závěrečných prací.

Koncepce konference navíc umožňuje přímé srovnání závěrečných prací vznikajících na dvou různých fakultách ČVUT, vzájemnou inspiraci a další prohloubení mezifakultní spolupráce.

*Jan Havlík  
Karel Roubík  
duben 2019*

# OBSAH

PŘEDMLUVA .....	3
OBSAH .....	4
<b>Albrechtová Denisa</b>	
<i>EXPERIMENTÁLNÍ FANTOM PRO URČOVÁNÍ VLIVU TECHNICKÝCH PARAMETRŮ ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ TOMOGRAFIE NA VÝSLEDNÝ OBRAZ ROZLOŽENÍ BIOIMPEDANCE HRUDNÍKU .....</i>	6
<b>Antoš Adam</b>	
<i>VÝVOJ DECHOVÉHO VZORU JAKO ADAPTACE NA NAVÝŠENÍ DECHOVÉ PRÁCE .....</i>	7
<b>Hanzálek Karel</b>	
<i>NÁVRH A KONSTRUKCE POMŮCKY PRO MANIPULACI S NESPOLUPRACUJÍCÍM SUBJEKTEM PŘI EIT MĚŘENÍ .....</i>	9
<b>Kočiš Petr</b>	
<i>ALGORITMUS NA DETEKCI CÉV A URČOVÁNÍ RYCHLOSTNÍHO PROFILU ERYTROCYTŮ PRO ANALÝZU MIKROCIRKULACE.....</i>	10
<b>Kumpošt Vojtěch</b>	
<i>FUNKČNÍ REORGANIZACE MOZKOVÝCH SÍTÍ PO CÉVNÍ MOZKOVÉ PŘÍHODĚ.....</i>	11
<b>Mikhailov Yegor</b>	
<i>MĚŘENÍ PARAMETRŮ SRDEČNÍCH KATETRŮ .....</i>	12
<b>Ortová Jana</b>	
<i>NÁVRH A REALIZACE ZAŘÍZENÍ PRO SNÍMÁNÍ OSCILOMETRICKÝCH PULSACÍ.....</i>	14
<b>Ševčík Jan</b>	
<i>VYUŽITELNOST SENZORŮ V CHYTRÉ DOMÁCNOSTI PRO MONITORACI OSOB S PREDIABETEM.....</i>	15
<b>Štěchová Kateřina</b>	
<i>NAKLÁDÁNÍ S ODPADY VE ZDRAVOTNICTVÍ.....</i>	17

**Troppová Patrícia**

*MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH CHARAKTERISTIK TLAKOVÝCH MANŽET.....18*

**Válková Květa**

*VLIV MALÝCH KONCENTRACÍ OXIDU DUSNÉHO NA ORGANISMUS.....19*

**Walzel Šimon**

*FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLU PŘI DÝCHÁNÍ  
V SIMULOVANÉM LAVINOVÉM SNĚHU.....21*

# EXPERIMENTÁLNÍ FANTOM PRO URČOVÁNÍ VLIVU TECHNICKÝCH PARAMETRŮ ELEKTRICKÉ IMPEDANČNÍ TOMOGRAFIE NA VÝSLEDNÝ OBRAZ ROZLOŽENÍ BIOIMPEDANCE HRUDNÍKU

Denisa Albrechtová

FBMI ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

## **Abstrakt**

Elektrická impedanční tomografie (EIT) se řadí mezi neinvazivní diagnostické zobrazovací modalitty slibující využití v mnoha medicínských oblastech jako je vizualizace patologických změn v oblasti prsu, zobrazování hlavy a obzvláště využití v respirační péči k monitorování plicních funkcí. Samotný záznam EIT může být ovlivněn řadou technických parametrů EIT přístroje jako je vliv nastavení přístroje na šíři tomografické roviny, citlivost na polohu umístění elektrodového pásu a vliv aplikace elektrodového gelu mezi pás a pokožku na výsledný záznam EIT. Snahou je vliv jednotlivých parametrů na záznam EIT kvantifikovat. Studie, které jsou na toto zaměřené, naráží na problémy ohledně nejasného vlivu variability měřeného živého subjektu na výsledky měření. Problém s variabilitou živého subjektu by mělo odstranit vytvoření technického fantomu o stálých parametrech.

Cílem této práce je navrhnout a zhotovit technický fantom hrudníku pro elektrickou impedanční tomografii pro určování vlivu technických parametrů EIT. Dalším cílem je pomocí vytvořeného fantomu zjistit vliv nastavení EIT přístroje na šíři tomografické roviny a vliv aplikace elektrodového gelu mezi elektrodový pás a pokožku na výsledný obraz rozložení bioimpedance v tomografické rovině hrudníku.

Byl navržen fantom zjednodušeného lidského hrudníku složený z vnějšího pláště a vnitřního vodivého média. Základním materiálem pro mechanicky odolný vodivý plášť byl polyuretan Vytaflex 20 a dále směs grafitového prášku (15 %hm) a technických sazí (5 %hm). Složení této směsi bylo zvoleno na základě testování různých hmotnostních procent pevných složek, tak že vodivost výsledné směsi orientačně odpovídá váženému průměru vodivosti kůže a podkoží. Pro zajištění větší homogenity byla směs vakuována, což vedlo k desetinásobnému zvýšení vodivosti směsi oproti nevakuovanému vzorku. Ze směsi byl vytvořen fantom válcového tvaru o výšce 55 cm a obvodu 80 cm. Je předpokládáno, že vnitřní medium bude vytvořeno ze směsi vody a NaCl přibližně o vodivosti  $0,2 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Výsledkem práce bude kompletně zhotovený fantom hrudníku pro EIT. Dále graf závislosti globální impedance na hloubce ponoření značkovací tyče do fantomu, mapující šíři tomografické roviny EIT. A v neposlední řadě bude provedeno testování vlivu elektrodového gelu aplikovaného mezi elektrodový pás a pokožku na výsledný obraz rozložení bioimpedance v tomografické rovině hrudníku. V práci budou diskutovány konstrukční i funkční nedostatky technického fantomu. Případně budou vymezeny doporučení pro klinické použití EIT přístroje plynoucí z provedených měření.

## **Klíčová slova**

*elektrická impedanční tomografie, EIT fantom hrudníku*

# VÝVOJ DECHOVÉHO VZORU JAKO ADAPTACE NA NAVÝŠENÍ DECHOVÉ PRÁCE

Adam Antoř

FBMI ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

## Abstrakt

Tato práce se zabývá fyziologickými pochody, kterými se tělo vyrovnává s extrémními podmínkami při dýchání proti vysokému odporu. Konkrétně byla práce inspirována řešením problémů obětí laviny. Pokud se člověk do laviny dostane a přežije až do okamžiku zastavení, je ve většině případů uvězněn pod až několika metrovou vrstvou sněhu. V takovém prostředí je největší riziko udržet stále dýchání. Do 15 minut pod lavinou je pravděpodobnost přežití bez následků vysoká, až 92 % ale poté strmě klesá až na 30 % během dalších 20 minut. Příčinou je právě zadušení.

Změna dechového odporu souvisí se změnou dechové práce. Dechová práce je vykonávána dýchacími svaly v inspiriu a má několik složek. Práci elastickou pro překonání retrakční síly plic, práci dynamickou pro překonání odporu plicní tkáně a práci k překonání odporu dýchacích cest. Normálně je největší složkou práce elastická, ale v extrémních podmínkách pod lavinou narůstá hlavně poslední ze zmíněných složek. Celkovou práci můžeme vykreslit jako závislost změny objemu plic na změně interpleurálního tlaku. Tělo na tuto zátěž reaguje upravením dechového vzoru. Dechový vzor zahrnuje frekvenci dýchání, dechový objem, doby trvání nádechu a výdechu a jejich poměr a samozřejmě tlak, kterým se vzduch pohybuje z plic a do plic neboli paw. Tyto parametry jsou tedy upravovány pro kompenzaci nárůstu dechové práce. Cílem této práce je a vytvoření algoritmů pro jejich analýzu a zjistit, které parametry a jakou měrou jsou ovlivněny. K dosažení těchto cílů byla použita data získaná v experimentech realizovaných dýcháním do sněhu a jemu podobných materiálů.

Naměřená data obsahovala tři měření v různých materiálech pro třináct probandů. Použité materiály byly suchý a mokrá perlita, perlita je suchý zrnitý izolační prvek, který dobře simuluje prostředí sněhu, a sníh, kvůli kterému se experimenty realizovaly v horách. Proband byl vždy připojen na patientský monitor, ze kterého byla data ukládána do počítače. Data stažená z monitorů obsahovala trendy, kde bylo mnoho parametrů uložených vždy po jedné sekundě, a waves (neboli vlny) kde byl uložen průběh koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého ve vydechovaném vzduchu, tlaku paw, průtoku a dechového objemu se vzorkovací frekvencí 25 Hz. V dalším postupu byla upřednostňována data ze souborů waves. Vzhledem k náročnosti dýchání do uzavřené kapsy sněhu nebo perlity většina probandů nepokračovala v měření o moc dále než 240 vteřin a byli na vlastní žádost odpojeni. V práci je tedy využíván úsek měření do 240 vteřin. Pro analýzu parametrů byly tedy vytvořeny algoritmy v prostředí matlab. Prvním úkolem bylo určit z respiračních parametrů veličinu charakterizující dechovou práci. Z hlediska praktičnosti byla vybrána PTP (pressure-time product) ve třech variantách. Všechny varianty počítají PTP jako časovou integraci průběhu tlaku (paw). První varianta počítá PTP z 15 vteřinových intervalů a normalizuje je na hodnotu v průběhu jedné minuty (Pa·s/min). Druhá varianta počítá vždy pouze integraci přímo dechové vlny a nebere v potaz pauzy mezi dechy, opět je normalizovaná na délku jedné metody (Pa·s/min) a představuje tedy spíše okamžitý výkon dýchací soustavy. Třetí varianta počítá integraci také pouze v průběhu dechové vlny, ale neprobíhá už normalizace (Pa·s) a představuje tedy práci vynaloženou na jeden dech. Dalším úkolem bylo z naměřených dat vybrat nebo vypočítat zbývající parametry. Dechová frekvence a poměr inspiria a expiria byly určeny pomocí detekce nul u průběhu paw. Všechny záznamy byly nejprve filtrovány pro zmírnění vlivu rušení a odstranění stejnosměrné složky kvůli správnému určení průchodu signálu nulou. Takto upravená, vyobrazená a vypsaná data byla dále analyzována.

Analýza získaných parametrů nebyla v tuto chvíli ještě zcela dokončena, následuje tedy shrnutí dosavadních zjištění a předpokladů. Nejprve zhodnocení výsledků tří metod dechové práce. Z průběhů je patrné, že první dvě metody, které zohledňují dechovou frekvenci, mají v celých 240 sekundách záznamu tendenci narůstat, kdežto metoda třetí, soustředující se pouze na náročnost jednoho dechu jako takového, cca v poslední šestině záznamu začíná stagnovat nebo dokonce klesat. Z toho by se dalo usuzovat, že možnosti dechové soustavy byly v daném časovém úseku vyhnány na maximální stav, nastupuje únava svalů a organismus tedy nadále kompenzuje kritický stav dechovou frekvencí. Pokles třetí metody byl zaznamenán nejvíce u dýchání do sněhu, který má největší odpor a odpovídá to našemu předpokladu o využití tlakových možností dýchacích orgánů. Měřitko zvýšení dechové práce za 240 vteřin záznamu bylo přibližně o 150 % což je i případ paw, ze kterého je počítána. Nárůst paw je

patrný v naprosté většině případů již od začátku měření (připojení na okruh) a amplituda narůstá do přibližně 200 vteřin záznamu a stejně tak je to i u průběhu průtoku. Naopak dechová frekvence má nárůst daleko mírnější ze začátku a vysoké hodnoty se začínají projevovat až právě od 200. vteřiny záznamu. Dechový objem a poměr inspiria ku expiriu zůstávají celkem konzistentní v průběhu měření. Poměr inspiria a expiria rychle dosáhne hodnoty 1, kolem které se následně drží. Tento jev může být způsobeno tím, že v celém průběhu je člověk ve stresovém a nepřirozeném stavu dýchání do okruhu a je tedy připraven na zátěž od začátku vyrovnáním délky nádechu a výdechu.

Prozatímním závěrem práce je, že tělo nejprve využívá hrubou sílu dechových svalů a navyšuje tlak v dýchacích cestách a až poté vyrovnává nedostatečnost dýchání pomocí dechové frekvence. Nástup dechové frekvence je v době dosažení horní limity tlakových možností a zároveň začátku nástupu únavy svalů.

### ***Klíčová slova***



# NÁVRH A KONSTRUKCE POMŮCKY PRO MANIPULACI S NESPOLUPRACUJÍCÍM SUBJEKTEM PŘI EIT MĚŘENÍ

Karel Hanzálek

FBMI ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

## **Abstrakt**

Elektrická impedanční tomografie (EIT) je diagnostickou metodou, která umožňuje pomocí elektrodového pásu měření rozložení plynu v hrudní oblasti.

K přesnému měření je potřeba docílit dobrého kontaktu mezi pokožkou pacienta a elektrodami. Z toho plyne, že pás musí obepínat těsně hrud' pacienta. To může mít negativní vliv pro vznik dekubitů. Je tedy nutno pás po časových intervalech posouvat a povolovat. S přihlédnutím k zákonu č. 361/2007 sb. díl 4, "Ruční manipulace s břemeny" by bylo nutné zajistit nejméně tři osoby pro korekci EIT pásu.

V současné době neexistuje žádný manipulační prvek, který by zajistil pohodlné nasazení EIT pásu kolem hrudníku pacienta jednou osobou. Cílem práce bylo navrhnout a zkonstruovat prototyp takovéto pneumatické pomůcky.

Manipulační pomůcka je zhotovena tak, aby byla pro zdroj energií a ovládání co nejjednodušší. Zdvihání subjektu zajišťují dva pneumatické vaky ležící paralelně vedle sebe pod zády pacienta. Vaky se skládají z vnitřní vzduchotěsné části a vnější části zajišťující pevnost a odolnost celého systému.

V práci se využívá přepočtu hmotnosti částí těla, které se reálně podílejí na celkovém tlaku, který působí na vaky. Vaky využívají faktu, že v centrálním rozvodu plynů je vzduch pod tlakem 4 atm. S ohledem na to, že tento tlak je postačující pro nadzvednutí pacienta až do hmotnosti 100kg, nevyužilo se žádných dalších zdrojů energie v podobě kompresorů.

V zařízení je použit nožní ventil s aretací, aby udržoval neustále stejný tlak v případě drobných úniků vzduchu a s tím spojeným poklesem tlaku. Řídící část manipulační pomůcky obsahuje bezpečnostní prvky v podobě regulačního a pojistného ventilu. Veškeré komponenty jsou propojeny přes fitinky pomocí hadice. U vaků byla ověřena pevnost a teoretická maximální nosnost. Maximální tlak, který vak udržel bez vnější části byl 0,025 MPa. Maximální tlak, který dokázal udržet vak s vnější i vnitřní částí byl 0,14 MPa. Oba tlaky jsou popsány jako přetlaky vůči atmosférickému tlaku.

Vaky byly vyzkoušeny na dobrovolnících a vzniklý manipulační prostor je dostatečně velký pro zavedení EIT pásu. Výsledek testů potvrdil funkčnost přístroje.

## **Klíčová slova**

*elektrická impedanční tomografie, manipulace s pacientem, EIT pás*

# ALGORITMUS NA DETEKCI CÉV A URČOVÁNÍ RYCHLOSTNÍHO PROFILU ERYTROCYTŮ PRO ANALÝZU MIKROCIRKULACE

Petr Kočíš

FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6

## **Abstrakt**

Práce se věnuje implementaci softwaru pro automatickou analýzu videí podjazykové mikrocirkulace. Na základě analýzy souboru videí pomocí softwaru byl vytvořen klasifikátor, který rozhoduje, zda je mikrocirkulace fyziologická, nebo patologická. Software určuje deskriptory mikrocirkulace, které jsou odvozené od standardně hodnocených parametrů jako proportion of perfused vessels (PPV) nebo microvascular flow index (MFI). Podkladem pro výpočet deskriptorů je soubor parametrů toku vypočítaný pro každou cévu videa zvlášť. To je možné díky účinné stabilizaci videa, automatické segmentaci cév a určením geometrických rozměrů jednotlivých segmentů. Během stabilizace je použita rigidní transformace obrazu, aproximace probíhá pomocí Taylorova rozvoje. Klasifikátor automatické segmentace byl vytvořen na základě 21 ručně segmentovaných masek mikrocirkulace. Segmenty získané automatickou detekcí jsou rozděleny v místech větvení, délka segmentu je získána z centrální linie segmentu a poloměr ze vzdálenostní transformace. DeBacker score, který nepřímě vypovídá o kvalitě automatické segmentace, se u našeho softwaru a softwaru dodávaného s podjazykovou kamerou (AVA) liší v průměru o 20 %. Deskriptory toku jednotlivých cév vycházejí z optického toku určeného dvěma různými metodami, sledováním změn kontrastu cévy a analýzou histogramu centrální linie cévy. Pro porovnání parametru PPV s výsledky AVA software byl natrénován klasifikátor na rozpoznání perfuze v cévách o různých velikostech, na jehož základě dopočítáváme PPV. Klasifikátor dosahuje úspěšnost 80 %. PPV našeho softwaru se liší s výsledky AVA v průměru o 11 %. Na základě PPV a deBacker score byl natrénován klasifikátor, který rozpoznává fyziologickou a patologickou (během mimotělního krevního oběhu) mikrocirkulaci s přesností 72 %. Aktuálně je v procesu testování klasifikátoru typu oběhu založeného na nových deskriptorech rychlostních profilů perfuze.

## **Klíčová slova**

# FUNCTIONAL REORGANIZATION OF BRAIN NETWORKS AFTER STROKE

Vojtěch Kumpošt

FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6

## **Abstrakt**

Stroke is a common neurology disorder that can lead to many post-stroke impairments among which cognitive deficits belong to the most serious. Cognitive deficits represent a significant burden for the patient, and a better understanding of their underlying mechanisms would be beneficial for future improvements in rehabilitation, recovery and overall health of the patients. One way to study those mechanisms is to represent the brain in the form of a network and examine the changes that the stroke causes in the architecture of this network.

My thesis aims to evaluate possible relationships between the network and cognitive parameters in post-stroke patients. For this purpose, I worked with two datasets. High-density electroencephalographic (hdEEG) recordings were used to estimate the network parameters and the results of neuropsychological tests were used to estimate the cognitive parameters. Each patient underwent both of those examinations one year after the stroke.

The hdEEG dataset consisted of 128 EEG channels and one electrocardiographic channel. In the first step, the hdEEG data needed to be preprocessed to minimise the effect of unwanted artefacts. The signals were bandpass filtered between 4 and 30 Hz. After filtering, the independent component analysis (ICA) was used to identify and remove the independent components that corresponded to cardiac and ocular artefacts. Following the ICA, the signals were split into 2-second epochs, and statistical thresholding was employed to remove the epochs that contained artefacts.

The functional connectivity between the channels was calculated using four different connectivity estimators, coherence, imaginary coherence, phase-locking value and weighted phase lag index. Furthermore, for each estimator, networks were calculated in four frequency bands, 4-30 Hz (wide), 4-8 Hz (theta), 8-13 Hz (alpha) and 13-30 Hz (beta). Each network was parametrised by a set of network measures that reflected the most common concepts presented in the current literature on brain networks.

Cognitive parameters were derived from the results of the neuropsychological tests that were specially designed to measure cognitive deficits in patients after stroke. In this thesis, I focused on six cognitive domains, a global cognitive deficit, memory, attention, speech, executive functions and visuospatial functions. The patients who showed significant depression or other comorbidities (e.g. Alzheimer and Parkinson diseases) were excluded from the analyses.

A correlation analysis was conducted to evaluate the possible relationships between the cognitive and network parameters. Kendall's tau and its p-value were calculated for every pair of network and cognitive parameters. Of course, this led to the multiple comparisons problem, and so the false discovery rate (FDR) correction was used to compensate for the induced family-wise error. After the FDR correction, none of the relationships was significant. However, a study of the p-value histograms showed, that those are heavily right-skewed for the network parameters for imaginary coherence in theta and beta bands suggesting that the data might be worth further exploring.

Even though my work, as of today, have not revealed any significant correlations between the cognitive and network parameters it paved the way for future analysis of the processed datasets. Mainly, I prepared a fully automated algorithm that converts EEG recordings into network parameters and can be easily adjusted for future research.

## **Klíčová slova**

*stroke; cognition; electroencephalography; functional connectivity; brain networks; graph theory*

# MĚŘENÍ PARAMETRŮ SRDEČNÍCH KATÉTRŮ

Yegor Mikhailov

FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6

## Abstrakt

Diplomová práce se věnuje studiu fyzikálně-matematického modelu měřicího systému „srdeční diagnostický katétr – komůrka se senzorem tlaku“, na základě měření frekvenční charakteristiky reálného systému. V rámci úvodní části práce byl proveden teoretický rozbor problematiky měření hemodynamických parametrů. Důraz byl kladen na genezi těchto parametrů a jejich využití v klinické praxi, s ohledem na zvýšení přesnosti měření těchto parametrů, zvláště krevního tlaku. Dále byly představeny neinvazivní a invazivní metody měření krevního tlaku z hlediska přesnosti měření a jejich využitelnosti v nemocničních, ambulantních a domácích podmínkách. První polovina teoretického úvodu byla věnována příčinám, které vedly ke vzniku dané problematiky. Ve druhé polovině úvodní části práce byly popsány elektrické a mechanické vlastnosti komůrky se senzorem tlaku a diagnostického katétru. Získané znalosti byly použity při modelování systému. Byla popsána matematická analýza tlakové pulzní vlny, jako důkaz pro nutnost zajištění co nejvyšší rezonanční frekvence systému měřicího krevní tlak. Teoretický úvod dále zahrnuje rozbor fyzikálně-matematického aparátu, použitého pro modelování a verifikaci modelu a při tvorbě inverzního filtru. V rámci této části práce byly definovány nezbytné pojmy z teorie systému a určeny hlediska, podle kterých lze systém klasifikovat. Jelikož jedním z cílů dané práce je identifikace modelu, byl proveden teoretický rozbor fyzikálně-matematických nástrojů používaných pro získání matematického popisu reálného systému.

V rámci seznámení se současným stavem řešení problematiky bylo provedeno studium výzkumů M. Gardnera (Direct blood pressure measurement-dynamic response requirements) a Roberta A. Peury (Dynamic properties of pressure-measurement systems). Tato část práce zahrnuje popis problematiky a metody řešení výše uvedených vědeckých článků, které stály základem pro řešení experimentální úlohy diplomové práce - měření frekvenční charakteristiky systému.

Další část práce zahrnuje analýzu modelu s rozloženými parametry a modelu se soustředěnými parametry měřicího systému katétr-senzor. Byly zavedeny předpoklady pro existenci těchto modelů a definovány potřebné fyzikální parametry. Po vyhodnocení náročnosti realizace a přesnosti popsaných modelů, byl pro popis systému použit lineární model II. řádu se soustředěnými parametry. Matematický popis zvoleného modelu byl navržen na základě jeho elektrické analogie s RLC obvodem. V experimentální části práce byl popsán, návrh a realizace metod měření frekvenční a přechodové charakteristiky systému. Pro stanovení frekvenční charakteristiky systému katétr-senzor byl na vstup systému přiveden periodický sinusový signál tlaku s lineárně stoupající frekvencí v rozsahu od 0,5 do 50 Hz (“sweep signal”). Zároveň byl měřen signál na výstupu. V tomto případě pro určení frekvenční charakteristiky bylo třeba jen transformovat naměřená data do frekvenční oblasti a provést základní matematické operace. Proto lze tento způsob definovat jako “přímá” metoda měření frekvenční charakteristiky. Druhý způsob byl definován jako “nepřímá” metoda měření frekvenční charakteristiky, protože frekvenční přenosová funkce byla vypočítána z naměřené přechodové charakteristiky systému. Během měření byla snímána odpověď systému katétr-senzor na jednotkový skok tlaku. Ze signálů naměřených v obou experimentech byly stanoveny hodnoty dekrementu útlumu, přirozené frekvence a rezonanční frekvence. Pro určení parametrů byly testovány tři metody: numerický výpočet - funkce `tfest` Matlab, “Half-Power Method”, výpočet pro lineární systém II. řádu s málo tlumeným kmitáním podle Webstera. V rámci verifikace použitého modelu a kontroly chyb měření, byly výsledky měření zpracované všemi výše uvedenými metodami a porovnány mezi sebou. V případě přechodové charakteristiky, bylo měření provedeno na katétrech o různých délkách pro určení fyzikálního parametru modelu, který není na délce závislý. Data získaná z naměřené odpovědi systému na jednotkový skok, byla použita pro matematický popis systému. Experimentální data byla zpracována a na základě jejich analýzy proběhla identifikace parametrů modelu a stanovená přenosová funkce systému. Získaná přenosová funkce byla použita pro vytvoření digitálního kompenzačního FIR filtru. V rámci experimentálního ověření použité metody kompenzace, byl naprogramovaný inverzní filtr aplikován na datech získaných během experimentu, avšak nepoužitých pro identifikaci parametrů modelu a tvorbu filtru. Na závěr byla navrhnutá metoda pro stanovení frekvenčního přenosu systému katétr-senzor v podmínkách klinické praxe a vytvoření na jeho základě inverzního filtru.

***Klíčová slova***

*system katétr-senzor; frekvenční charakteristika; přechodová charakteristika; dekrement útlumu; přirozená frekvence; inverzní filtr*

# NÁVRH A REALIZACE ZAŘÍZENÍ PRO SNÍMÁNÍ OSCILOMETRICKÝCH PULSACÍ

Jana Ortová

FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6

## **Abstrakt**

Cílem této práce je návrh a realizace zařízení pro přesné automatické neinvazivní snímání tlakových pulzací z pažní (okluzivní) manžety natlakované nad hodnotu systolického tlaku s využitím diferenciálního snímače tlaku.

Rychlost pulzní vlny (PWV) přináší základní informaci o roztažnosti měřené cévy, tj. nepřímo vypovídá o arteriální tuhosti. Arteriální tuhost stanovená podle naměřené rychlosti pulzní vlny představuje významný prediktivní faktor pro rozvoj kardiovaskulárních (KV) chorob.

Měření PWV je významným ukazatelem při vyšetřování stavu cévního řečiště a v budoucnu by mohlo pomoci včasné diagnostikovat patologické stavy a předejít tak vzniku KV chorob.

V této práci se věnuji nejprve teoretickému shrnutí problematiky stanovení hemodynamických parametrů a následně návrhem a realizací zařízení pro záznam oscilometrických pulzací pomocí okluzní techniky s využitím diferenciálního senzoru tlaku.

Výsledkem této práce je prototyp zařízení a k němu naprogramovaný protokol, který umožňuje provést vybraný typ měření, vizualizovat a následně uložit naměřená data.

## **Klíčová slova**

*rychlost šíření pulzní vlny, krevní tlak, hemodynamické parametry, diferenciální sensor, oscilometrické pulsace*

# VYUŽITELNOST VYBRANÝCH SENZORŮ PRO MONITORACI OSOB S PREDIABETEM V CHYTRÉ DOMÁCNOSTI

Jan Ševčík

FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6

## Abstrakt

### Úvod

Globálním onemocněním vyspělého světa se v poslední době stalo diabetes II. typu (dále jen DM II. typu), též známý zkráceně jako cukrovka. Tomuto stavu předchází stav prediabetes. Diplomová práce se zabývá možností využití chytré domácnosti jako kontroly stavu pacientů s prediabetem, a to hlavně prostřednictvím komerčně dostupných senzorů (hodinky, váhy ...). Cílem je vytvořit ve spolupráci s chytrou domácností systém, jenž by dokázal včas poslat sledovaného na vyšetření a tím i zajistit podchycení nemoci dříve, nežli se nemoc plně rozvine.

### Metody

Prediabetes se nevyznačuje na první pohled výraznými projevy jelikož se jedná o tzv. onemocnění asymptomatické, což znamená, že jeho odhalení se dá provést pouze na základě laboratorního testu, kdy se vyhledávají abnormality ve výsledcích. Dalšími projevy, které naznačují zhoršení stavu prediabetu a blíží se nástup DM II. typu mohou být tedy krom zvýšení glykemie i výrazné váhové výkyvy, či snížení aktivity.

Vzhledem k tomuto v základní variantě monitorace pracuje s glukometrem, váhami s bioimpedančním měřením a chytrými hodinkami pro záznam aktivity. Systém domácnosti může získávat hodnoty ze zařízení pomocí Bluetooth, případně využít i cloudová uložení, kam se naměřená data ukládají.

Dalšími senzory, jež je možné použít pro zpřesnění měření, mohou být např. CGM glukometry, které monitorují glykemie kontinuálně, tlakoměry.

Měřené veličiny se budou dít rozdělit na pevně dané a proměnitelné. Pevnými jsou výška, věk apod., tedy veličiny jež se nedají změnit. Proměnitelné jsou pak tedy váha, z ní vycházející BMI, glukóza v krvi, aktivita atd.

Dle doporučení České diabetologické společnosti se do kategorie diabetiků zapadá každý pacient, který i jednou překročí hodnoty určené jako mezní pro rozvinutí DM II. typu (glykemie nalačno  $\geq 7$  mmol/l; toleranční glukozový test  $\geq 11$  mmol/l). Takovýto pacient je pod přísnějším dohledem a případně se u něj i začíná s léčbou pomocí tablet. Aby systém domácnosti nebyl tolik přísný v případě měření glukózy v krvi bude vycházet z předpokladu 3x vyšší hodnota za sebou znamená doporučení k návštěvě lékaře.

Využití vah s bioimpedančním měřením je vhodné krom samotného vážení i k zjištění výkyvu poměru hlavně svalů a tuku. Tohoto aspektu se dá využít ve spojení s hodinkami pro měření aktivity. Za předpokladu, že aktivita je dostačující (cca 10hodin/týden) a současně dochází hlavně ke snižování svalové hmoty a většímu nárustu tukové je zde zvýšena pravděpodobnost zhoršujícího se prediabetu.

V případě využití kontinuálního měření cukru v krvi je možné využít učenílivosti systému, kdy se např. během týdne "naučí" jak vypadá přibližně křivka vstřebávání cukru a může na jejím základě vyhodnocovat, zda se průběh snižování cukru výrazně neliší od naučené křivky.

### Výsledky a diskuze

Vzhledem k rozdílnosti pacientů a pro ně použitelných senzorů není snadné vytvořit jednotný systém pro všechny. Hlavním problémem je potřeba pro každý senzor vytvořit zvláštní podprogram pro vyhodnocení dat a provést jejich unifikaci pro následně na jejich základě vytvořit složitou strukturu samotného rozhodování. Tento problém se dá částečně obejít dvěma možnostmi, kdy každá má své pro a proti.

První možností je využít jen předem dané senzory, kde kladem je zjednodušení programu, ale negativním aspektem je problém v případě, že výrobce daný produkt přestane nabízet a nenabídne alternativu. Druhá možnost částečně open source program, kam by se daly dodávat další přístroje (pevně by však byl dán typ senzorů). Kladem pro tuto variantu je možnost využití zařízení i od jiných výrobců, ale velkým negativem je vytvoření složitějšího programu, a tím i jeho horší možnost odladění.

Stejně jako je problém s množstvím senzorů je neméně důležitý i pohled na vnější faktory. Např. v případě cukru nemůžeme očekávat, že se sledovaná osoba denně stravuje shodně a tedy vývoj cukru v krvi je stejný. Také aktivita nebude stále stejná pouze podobná. V případě, že sledovaný onemocní bude jeho aktivita samozřejmě snížena. Proto je nutné nalézt správné limity, např. jak jsem naznačil výše, tak ač doporučení od České diabetologické společnosti jsou, že diabetikem se stává člověk, který překročí cukru v krvi jen jednou, tak systém by sledovanému doporučil návštěvu na laboratorní testy až po třech po sobě jdoucích překročení hranice.

### ***Klíčová slova***

*prediabetes; senzory; chytrá domácnost*



# NAKLÁDÁNÍ S ODPADY VE ZDRAVOTNICTVÍ

**Kateřina Štěchová**

FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou nakládání s odpady v rámci zdravotnictví České republiky, zahrnující současně platnou legislativu. Motivací k práci je stále rostoucí tendence používání jednorázových zdravotnických prostředků a příslušenství, a s tím související nárůst odpadu a zátěž životního prostředí.

Základním předmětem této práce je výběr vhodného zdravotnického materiálu, který se používá v běžné praxi českých nemocnic a ostatních zdravotnických zařízení. Do tohoto vzorku byl vybrán katetrizační a operační materiál, laryngoskopické lžice, odsávací vaky, dýchací okruhy a další zdravotnické prostředky, které se vyrábí v jednorázovém i resterilizovatelném provedení.

Na závěr práce jsou hodnoceny přínosy a náklady vybraných prostředků a materiálů s ohledem na provoz daného zdravotnického zařízení, ve kterém se používají, stejně jako ekologický dopad všech řešení.

## **Klíčová slova**

*nakládání s odpady; zdravotnictví; odpad; sterilizace; opakované použití; jednorázové; resterilizovatelné zdravotnické prostředky; nemocnice; zdravotnické zařízení*

# NAKLÁDÁNÍ S ODPADY VE ZDRAVOTNICTVÍ MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH CHARAKTERISTIK TLAKOVÝCH MANŽET

**Patrícia Troppová**

FEL ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6

## **Abstrakt**

Táto diplomová práca sa zaoberá meraním fyzikálnych charakteristík tlakových manžiet, konkrétne p-V a prenosových charakteristík. Na experimentálne meranie bolo použitých šesť manžiet od rôznych výrobcov, pričom hlavným cieľom bolo nájsť tlakovú manžetu, ktorá zachytený signál skresľuje čo najmenej a bude sa dať použiť na meranie rýchlosti šírenia pulznej vlny. Prvý diel diplomovej práce pojednáva o p-V charakteristike. Je v ňom opísaný spôsob merania tejto charakteristiky, realizovaný na dvoch fantómoch rozdielnej veľkosti a pri dvoch rôznych prítlakoch manžety. Namerané hodnoty p-V charakteristík boli spracovávané v prostredí Matlab, kde bola skúmaná linearita daných priebehov od 150-230mmHg a taktiež bola zisťovaná veľkosť rozmedzia minimálnej a maximálnej hodnoty objemu pri tlaku 230mmg. Na základe p-V charakteristík boli vybrané dve najlepšie manžety, u ktorých boli ďalej skúmané prenosové charakteristiky ako odozvy systému na jednotkový impulz. Tieto odozvy systému boli spracované v prostredí Matlab, z ktorých bol následne zisťovaný logaritmický dekrement, tlmiaci faktor, prirodzená frekvencia a prenosová funkcia systému. Z tejto prenosovej funkcie bola nakoniec odvodená amplitúdová a fázová charakteristika jednotlivých manžiet pri rôznych tlakoch. Na základe zistených charakteristík manžiet bola zvolená najlepšia manžeta, ktorá by mala byť ďalej použitá pri meraní rýchlosti šírenia pulznej vlny, pretože sa javila ako manžeta, ktorá najmenej skresľuje meraný signál a má najlepšie vlastnosti.

## **Klíčová slova**

*tlaková manžeta; p-V charakteristika; prenosová charakteristika; prirodzená frekvencia; tlmiaci faktor; amplitúdová a fázová charakteristika*

# EFEKTY MALÝCH KONCENTRACÍ OXIDU DUSNÉHO NA ORGANISMUS

**Květa Váľková**

FBMI ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

## **Abstrakt**

Oxid dusný (N<sub>2</sub>O, neboli rajský plyn) je nehořlavý bezbarvý plyn, který je ve zdravotnictví používán již přes dvě staletí jako anestetikum, analgetikum a také pro úvod do narkózy. Při jeho inhalaci dochází k útlumu vnímání, a proto je běžně používán především v porodnictví a stomatologii jako anestetikum a analgetikum. V případě krátkodobé inhalace oxidu dusného dochází k dočasnému zhoršení kognitivních funkcí, jako je reakční doba, paměť, pozornost, motorika, aj. V případě dlouhodobého užívání může dojít až k trvalému zhoršení. Rajský plyn má účinek také na fyziologické parametry, jako například saturaci krve kyslíkem.

Změny reakční doby po inhalaci rajského plynu lze ovlivnit několika faktory, především například koncentrací oxidu dusného ve vdechované směsi nebo délkou trvání inhalace. Dále také změnu ovlivňuje prodleva mezi inhalací a měřením.

Pro zjištění daného efektu byly nejprve zvoleny kognitivní funkce a fyziologické parametry, které byly v průběhu experimentu sledovány a zaznamenány. V oblasti kognitivních funkcí byla zvolena reakční doba, která byla měřena pomocí počítačového postřehového testu, a pozornost měřená pomocí počítačového číslicově-symbolového substitučního testu. Z fyziologických parametrů byla vyřazena saturace periferní krve kyslíkem, jelikož inhalovaná směs byla doplněna na 21 % podílu kyslíku, aby nedocházelo u probandů k desaturaci, avšak její vývoj byl sledován ze zdravotních důvodů. Pro následné vyhodnocení byla zvolena tepová frekvence a frakce oxidu dusného ve výdechu (FeN<sub>2</sub>O), která souvisí s frakcí N<sub>2</sub>O v mozku a tudíž nám říká, jaké hladiny plynu bylo u probanda dosaženo během jeho inhalace. Efekt rajského plynu byl dále sledován u ventilačních parametrů, jako je dechová frekvence a dechový objem při nádechu, které byly měřeny pomocí spirometru. Pro sledování subjektivního vnímání stavu probandů byla vytvořena VAS škála, na které probandů určovali, jak se v danou chvíli cítí, zdali je bolí hlava či cítí závrať nebo opilost.

Úprava experimentu proběhla v několika fázích. Nejprve byl navržen a proveden pilotní experiment na užším výběru studentů FBMI ČVUT, který byl následně upraven podle zjištěných nedostatků a připomínek ze strany studentů. Pilotní experiment byl složen z pěti fází, kdy v první a páté fázi byl vdechován samotný vzduch z místnosti. Ve fázi druhé a čtvrté byl také vdechován vzduch, ale již přes aparaturu vytvořenou ze spirometru, jednocestných ventilů, vrapové trubice a Douglasových vaků. Každá z těchto čtyř fází trvala 2,5 minuty a byla během ní provedena jedna série testů. Třetí fáze trvala pět minut a byly během ní vyplněny dvě série testů, aby bylo možné sledovat vliv oxidu dusného během kratší a delší inhalace. V této fázi byla vdechována 15% směs rajského plynu, vzduchu a kyslíku přes aparaturu z douglasova vaku.

Po vyhodnocení dat z pilotního experimentu byl skutečný experiment upraven. Do aparatury byl přidán zvlhčovač vzduchu, byl připojen odtah vydechované směsi, aby obsluha experimentu nevdechovala zbylé koncentrace rajského plynu. Maximální zvolená koncentrace oxidu dusného byla změněna z 15 % na 20 %, jelikož bylo nutné odhalit nejnižší koncentraci, při které již dojde ke statisticky signifikantnímu ovlivnění daných funkcí a parametrů. Samotné fáze experimentu byly také upraveny a před samotným experimentem byly provedeny dvě zkušební série testů pro omezení vlivu křivky učení. V první fázi byl inhalován vzduch přes aparaturu po dobu 2,5 minut, ve druhé fázi byl 2 minuty inhalován rajský plyn o randomizované vybrané koncentraci a následně byly provedeny dvě série testů během 5,5 minuty. Ve třetí fázi byly během 5 minut a během inhalace samotného vzduchu přes aparaturu provedeny dvě série testů. Bylo vybráno 16 probandů z řad studentů FBMI ČVUT a na každém bylo provedeno šest měření, při kterých byly ve druhé fázi inhalovány koncentrace 0, 5, 10, 12, 15 a 20 % oxidu dusného.

Po provedení experimentu byla data statisticky vyhodnocena. Reakční doba je ovlivněna odlišně pro krátkodobou (měření po dvou minutách inhalace) a dlouhodobou inhalaci (měření po 4,5 minutách inhalace). Během krátkodobé inhalace N<sub>2</sub>O dochází k pozitivnímu efektu, tedy ke zkrácení reakční doby. Tento efekt je přítomen pro nižší koncentrace, konkrétně do 15 %. Při koncentraci 20 % je již reakční doba prodloužena během krátkodobé inhalace. Pro dlouhodobou inhalaci dochází k prodloužení reakční doby nezávisle na koncentraci oxidu dusného ve směsi. Při statistickém vyhodnocení byl zjištěn signifikantní rozdíl pro 20 % N<sub>2</sub>O ve směsi při dlouhodobé inhalaci pomocí párového Fisherova LSD testu. Z tohoto zjištění lze usoudit, že krátkodobá inhalace

nízké koncentrace rajskeho plynu podporuje reakční schopnost člověka. To je vysvětleno tím, že proband se při měření reakční doby soustředí pouze na jednoduchý úkon, nemusí zapojovat myšlení a pro takto jednoduchý úkol může nízká koncentrace N<sub>2</sub>O působit stimulačně.

V případě testu DSST zaměřeném na pozornost a jednoduché přemýšlení byly výsledky odlišné. Pro placebo dochází k průběžnému zlepšení během jednotlivých fází díky křivce učení. Pro nízké koncentrace oxidu dusného v inhalované směsi (5 a 10 %) nedochází k významným změnám ve výsledcích testu pro krátkodobou ani dlouhodobou inhalaci. Naopak pro vyšší koncentrace (12, 15 a 20 %) nastává statisticky signifikantní pokles správných odpovědí v testu. Pro statistické vyhodnocení byl opět použit Fisherův LSD párový test. Tento výsledek je vysvětlen tím, že pro správné přiřazení symbolu a čísla je zapotřebí vyšší pozornost a zamyšlení se nad danou situací. Jde tedy o složitější úkon než při měření reakční doby a proto je výsledek inhalací ovlivněn negativně.

Pomocí VAS škály byly sledovány pocity probanda. Již od 5 % N<sub>2</sub>O ve vdechované směsi pociťovali probandi točení hlavy. Tento pocit pomalu klesal po ukončení inhalace. Ze zdravotních důvodů byla zjišťována i přítomnost bolesti hlavy, která se ovšem neprojevila u žádné zvolené koncentrace. Ospalost postupně narůstala během jednotlivých fází u veškerých koncentrací včetně placebo, toto však bylo způsobeno především délkou experimentu, vliv rajskeho plynu byl znatelný u koncentrací 15 a 20 %, kdy po ukončení inhalace došlo k mírnému návratu k čilému stavu. Stejně jako ospalost postupně narůstal i pocit nepříjemnosti se signifikantním rozdílem mezi první a poslední fází, díky dlouhodobému dýchání přes aparaturu se spirometrickým kolíčkem na nose. Spolu s tím souvisí též postupně klesající zaujetí. Dlouhodobá inhalace způsobila statisticky významný pocit opilosti již při 5 % N<sub>2</sub>O, během krátkodobé inhalace se pocit projevil u 10 % a výše. Po ukončení inhalace tento pocit prudce klesal.

### ***Klíčová slova***

*oxid dusný; kognitivní funkce; reakční doba; fyziologické parametry; anestezie*

# FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLU PŘI DÝCHÁNÍ V SIMULOVANÉM LAVINOVÉM SNĚHU

Šimon Walzel

FBMI ČVUT v Praze, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

## **Abstrakt**

Cílem práce bylo navrhnout, sestavit a otestovat vhodný laboratorní model pro studium konvekčních a difuzních vlastností respiračních plynů v simulovaném lavinovém sněhu. Přípravek se skládal z plastového válce (1200 mm dlouhý, 300 mm vnitřní průměr) se 13 vzorkovacími jehlami připojenými k monitoru vitálních funkcí S/5 (Datex-Ohmeda, GE Healthcare, Chicago, USA) s modulem pro analýzu plynů. Suchý perlit, mokřý perlit a sněh byly použity jako materiál simulující lavinový sněh. Byly studovány dvě situace distribuce respiračních plynů: jednoduchá difuze bez nuceného podélného průtoku a kombinace konvekce a difuze. Směs kyslíku (16%) a oxidu uhličitého (5%) vyvážená dusíkem byla použita jako sledovaná plynná směs. V průběhu experimentů byly měřeny změny koncentrací kyslíku a oxidu uhličitého ve vertikálním směru přípravku po 50 mm. Bylo zjištěno, že kyslík se šíří ve všech použitých materiálech rychleji než oxid uhličitý vlivem difuze bez konvekce. Za určitých podmínek by mohl simulovat difuzní vlastnosti sněhu použitý perlit. Oba respirační plyny se šíří stejnou rychlostí při konvekčním pohybu v suchém perlitu s nulovou vlhkostí.

## **Klíčová slova**

*difuze, difuzní koeficient, konvekce, respirační plyny, perlit, sněh*

SEMINÁŘ BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ 2019

© České vysoké učení technické v Praze

ISBN: 978-80-01-06568-6