



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

# **STANOVENÍ PARAMETRŮ KŘIVKY KREVNÍHO TLAKU PRO ŘÍZENÍ VENTILACE PŘI ANESTÉZII U KONÍ**

DETERMINATION OF BLOOD PRESSURE PARAMETERS FOR VENTILATION CONTROL  
DURING ANAESTHESIA IN HORSES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**MARTIN HORSKÝ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. VRATISLAV ČMIEL**

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

**Biomedicínská technika a bioinformatika**

**Student:** Martin Horský

**ID:** 118456

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Stanovení parametrů křivky krevního tlaku pro řízení ventilace při anestézii u koní**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou měření krevního tlaku u koní a problematikou cyklických změn arteriálního tlaku v průběhu mechanické ventilace. Zaměřte se na metody detekce hodnot systolického a diastolického tlaku v křivce krevního tlaku. Prostudujte princip algoritmů pro stanovení respirační variability krevního tlaku, tepového objemu a případně dalších parametrů tlakové křivky koní. V prostředí LabVIEW vytvořte funkční modul pro stanovení základních parametrů tlakové křivky koní pracující v reálném čase na základě dostupných algoritmů realizovaných v prostředí Matlab.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PARRY-JONES, A. - PITMAN, J. Arterial pressure and stroke volume variability as measurements for cardiovascular optimisation. International Journal of Intensive Care, London : Greycoat Publishing Ltd., 2003, Summer, od s. 67-72. ISSN 1350-2794. 2003.

[2] SVATOŠ, J. Biologické signály I - geneze, zpracování a analýza. Praha: ČVUT, 1995. 202 s. ISBN 80-01-01822-9.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 27.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Vratislav Čmiel

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Předložená práce řeší problematiku sledování hemodynamických parametrů při umělé ventilaci při anestezii u koní. Výsledkem práce je rozšiřující modul pro aplikaci Datex-Ohmeda S/5 Collect, který z průběhu tlakové křivky stanovuje hodnoty potřebné k optimální ventilaci. Úvodní kapitola obsahuje obecný fyziologický úvod. Je zde popsána definice krevního tlaku, popis srdečního cyklu, popis tlakové křivky. Dále se věnuje popisu hemodynamických veličin, jako je tlaková amplituda, tepový objem a hodnotám jejich variabilit. Druhá kapitola se věnuje problematice měření krevního tlaku u koní. Uvedeny jsou jak neinvazivní, tak invazivní metody. Třetí kapitola rozebírá důvody kolísání krevního tlaku během ventilace. V poslední čtvrté kapitole je popsán realizovaný rozšiřující modul, který slouží ke sledování hemodynamických parametrů z průběhu tlakové křivky.

### **Klíčová slova:**

kůň, hemodynamika, ventilace, anestezie, měření, výpočet, tlak, krev, doplněk, katetr, variabilita

## **Abstract**

The present work deals with the issue of hemodynamic monitoring of blood pressure in horses during mechanical ventilation in anesthetized horses. Result of this work is an extension to the application Datex-Ohmeda S/5 Collect, which from the pressure curve provides values needed for optimal ventilation. Initial chapter provides a general physiologic introduction. It describes the definition of blood pressure, cardiac cycle and description of the pressure curve. It also deals with the hemodynamic parameters such as pulse pressure, stroke volume and their variabilities. In the second chapter is described methodology of measuring blood pressure in horses. Both, noninvasive and invasive methods are included. The third chapter analyzes fluctuations in blood pressure during ventilation. The last fourth chapter describes the implemented extension module which is designed to monitor hemodynamic parameters of the pressure curve.

### **Keywords:**

horse, hemodynamic, ventilation, anesthesia, measurement, calculation, pressure, blood, extension, catheter, variability

HORSKÝ, M. Stanovení parametrů křivky krevního tlaku pro řízení ventilace při anestézii u koní . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vratislav Čmiel.

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Stanovení parametrů křivky krevního tlaku pro řízení ventilace při anestézii u koní jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Vratislavu Čmielovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále také MVDr. Radovanu Kabešovi za praktické ukázky a odbornou pomoc.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

# Obsah

Abstrakt.....	3
Úvod .....	8
1 Pojmy vztahující se ke krevnímu tlaku.....	9
1.1 Krevní tlak .....	9
1.2 Činnost srdce.....	9
1.3 Tlaková křivka .....	11
1.4 Srdeční výdej (cardiac output, CO) .....	12
1.5 Tepová frekvence (heart rate, HR).....	12
1.6 Tepový objem (stroke volume, SV).....	12
1.6.1 Frankův-Starlingův mechanismus .....	13
1.6.2 Plnění (preload) .....	13
1.6.3 Tlak v aortě (afterload).....	14
1.6.4 Kontraktilita (inotropie).....	14
1.7 Variabilita tepového objemu (stroke volume variation, SVV) .....	14
1.8 Tlaková amplituda (pulse pressure, PP) .....	14
1.9 Variabilita tlakové amplitudy (pulse pressure variation, PPV) .....	14
1.10 Variabilita systolického tlaku (systolic pressure variation, SPV).....	15
1.11 Žilní návrat .....	15
2 Způsoby měření krevního tlaku u koní .....	17
2.1 Neinvazivní metody .....	17
2.1.1 Dopplerova metoda.....	17
2.1.2 Oscilační metoda .....	17
2.2 Invazivní metody .....	18
2.2.1 Pomocí katetru .....	18
2.2.2 Přímé měření.....	19
3 Vliv dýchání na průběh křivky krevního tlaku .....	20
3.1 Fáze inspirace během přerušované přetlakové ventilace .....	20

3.2	Fáze expirace během přerušované přetlakové ventilace.....	21
4	Popis realizovaného modulu .....	22
4.1	Předpoklady pro realizaci.....	22
4.2	Požadavky .....	23
4.3	Programové prostředí .....	23
4.4	Měření parametrů ze signálu .....	23
4.5	Návrh algoritmu .....	25
4.6	Popis jednotlivých částí.....	27
4.7	Uložení plug-inu pro Datex-Ohmeda S/5 Collect .....	30
4.8	Popis grafického prostředí.....	31
5	Závěr .....	32
	Seznam zkratk .....	33
	Seznam obrázků .....	34
	Seznam použité literatury .....	35

## Úvod

První zaznamenané měření krevního tlaku uskutečnil v roce 1711 Reverend Stephen Hales. Hales vložil skleněnou trubičku přímo do artérie ležícího koně a pozoroval, jak hladina v trubičce kolísá nahoru a dolů. Dnes se nacházíme v době, kdy lze velice efektivně pomocí počítačového softwaru vyhodnotit řadu hemodynamických veličin získaných buď invazivní, nebo neinvazivní metodou. Zájem je o sledování parametrů krevního tlaku a srdečního výdeje, které vyplývají z interakcí mezi srdcem a plícemi během anestezie, kdy je pacient uměle ventilován. Moderní kontinuální hemodynamické monitory zobrazují parametry krevního tlaku a zároveň variabilitu hodnot systolického krevního tlaku, tlakové amplitudy, tepového objemu a srdeční frekvence.

Je známo, že u vysoce rizikových pacientů podstupujících chirurgický zákrok, u nichž dojde k poklesu celkové dodávky kyslíku, se zvyšuje morbidita a mortalita. Optimalizace dodávky kyslíku pomocí těchto parametrů pomáhá lékařům snížit komplikace při samotné operaci i po ní.

# 1 Pojmy vztahující se ke krevnímu tlaku

## 1.1 Krevní tlak

Pod pojmem krevní tlak rozumíme tlak krve v tepnách systémového oběhu (arteriální tlak). Je definovaný jako síla působící na jednotkovou plochu v kapalině. Je vytvářen působením srdce jako krevní pumpy. Ve velkých tepnách je tlak přibližně stejný jako v aortě, v periferních cévách se snižuje a podstatně klesá v arteriolách a vlásečnicích na úroveň perfuzního tlaku podle potřeb jednotlivých orgánů. Hodnota krevního tlaku se udává v mm rtuťového sloupce, značený mm Hg nebo v torrech. [1] [2]

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} \approx 133,322 \text{ Pa}$$

Krevní tlak je dán kombinací tlaku statického (hydrostatického) a dynamického (hemodynamického).

Statický tlak je dán vztahem:

$$P_s = \rho \cdot h \cdot g, \quad (1.1)$$

$\rho$  – hustota kapaliny (krve),  $h$  – výška od úrovně srdce,  $g$  – gravitační zrychlení

V krevním oběhu je tento tlak úměrný sloupci krve mezi srdcem a periferní tepnou. Měření krevního tlaku se tedy obvykle provádí ve výšce srdce.

Dynamický tlak je vytvářen vypuzenou krví při stažení srdeční komory. Jedná se o tlak působící ve směru proudící krve.

$$P_d = \rho \cdot \frac{v^2}{2}, \quad (1.2)$$

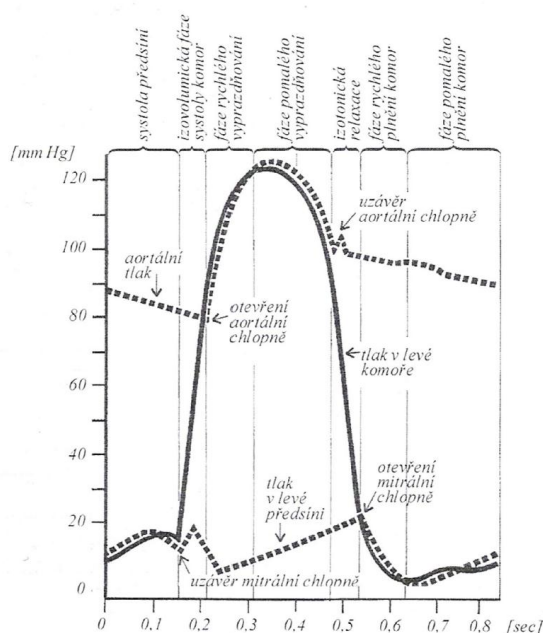
$v$  – rychlost proudící krve

## 1.2 Činnost srdce

Srdce pracuje jako tlakově-objemové čerpadlo složené ze dvou částí (pravé a levé) zapojených do série. Každá část je tvořena síní a komorou oddělených od sebe chlopňovým aparátem. Žilní krev je přiváděna z dutých žil do pravé síně, odkud je pravou komorou čerpána do malého oběhu (plicního). Z plic okysličená krev přitéká do levé síně a levé komory. Odtud je vypuzována do velkého tělního oběhu. I přesto, že se odporové síly v obou řečiš-

tích značně liší (levá komora musí překonat až pětkrát větší odpor oproti pravé), obě části mají stejný rytmus a stejný výdej. [1]

Čerpací funkce srdce je výsledkem pravidelného střídání relaxace (diastoly) a kontrakce (systoly) komor. Při tepové frekvenci 60/min to znamená, že za 1s musí proběhnout 4 fáze činnosti srdečních komor. 1. fáze plnění, 2. fáze napínací, 3. fáze vypuzovací a 4. fáze relaxační. Průběh tlakových změn v aortě je znázorněn na Obr. 1.1

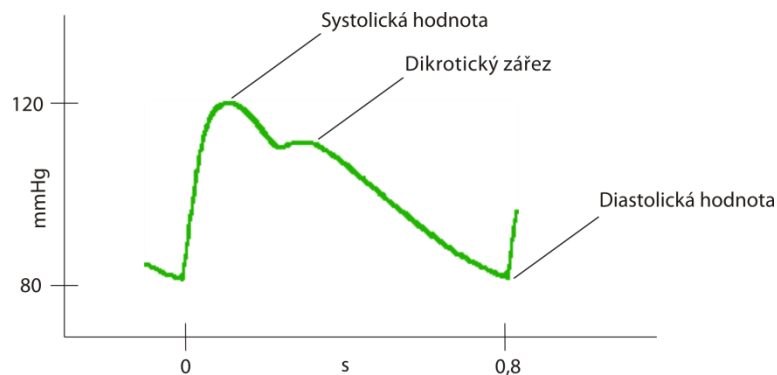


Obr. 1.1: Průběh tlakových změn v aortě, levé komoře a levé síni [3]

Na počátku srdečního cyklu se depolarizuje sinusový uzel, síně kontrahují. Mitrální chlopeň je otevřena a krev proudí do komory. Hned poté jsou aktivovány komory. Nitrokomorový tlak stoupá, až převýší tlak v síních, takže se mitrální chlopeň uzavře. Nastává fáze napínací. Během ní jsou všechny chlopně uzavřeny. Když dosáhne tlak v levé komoře tlaku okolo 80 mm Hg (diastolický tlak), překročí tlak v aortě a otevře se aortální chlopeň. Tím je zahájena fáze vypuzovací, během níž dosáhne tlak v levé komoře a v aortě maxima okolo 120 mm Hg (systolický tlak). Je vypuzena největší část tepového objemu. Poté ustupuje podráždění myokardu a nitrokomorový tlak začíná klesat, až nakonec klesne pod hodnotu tlaku v aortě. Proud krve v této tepně se na kratičký okamžik zpomalí – viz negativní výchylka v křivce krevního tlaku. Aortální chlopeň se uzavírá. Nastává fáze relaxační. Mezitím se opět

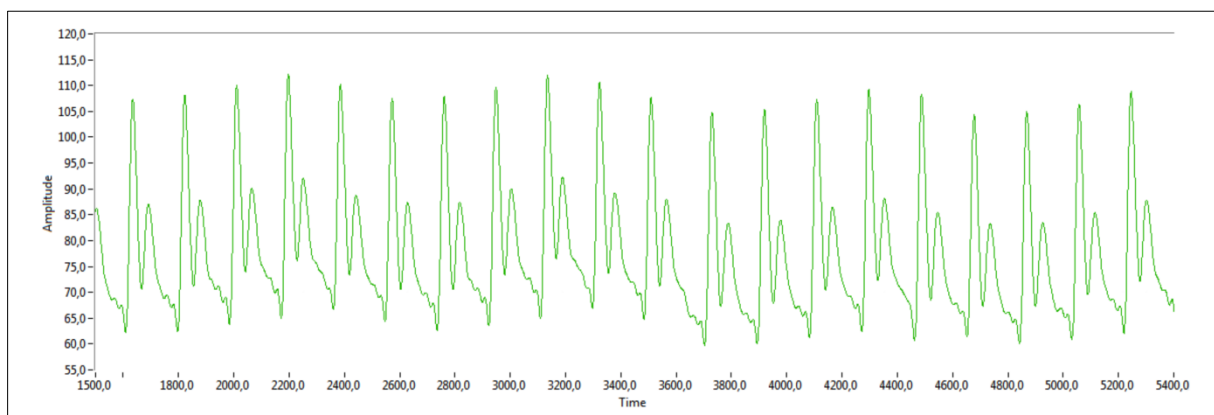
naplnily síně, čemuž napomohl sací účinek. Nitrokomorový tlak prudce klesá a tlak v síních mezitím stoupl, takže se mitrální chlopně otevírají. Krev nyní teče do komor tak rychle, že se komory naplní z 80%. Plnění se zpomaluje, až dojde vlivem spontánní depolarizace ke kontrakci síní a celý kruh se opakuje znovu. [1]

### 1.3 Tlaková křivka



Obr. 1.2: Průběh tlakové křivky

V tepnách krevní tlak kolísá mezi hodnotou maximální (systolickou) a hodnotou minimální (diastolickou). Systolický tlak vzniká při srdeční systole a je určen objemem vypuzené krve, rychlostí jejího proudění, roztažností tepen, viskozitou krve a náplní srdeční komory před kontrakcí. Diastolický tlak měříme během diastoly srdce a je ovlivněn roztažností tepen, odporem cévního řečiště, viskozitou krve a délkou srdečního cyklu. Dolů orientovaný hrot na sestupném rameni záznamu odpovídá uzavěru aortálních chlopní označovaný jako dikrotický zářez. Grafické znázornění pulsové vlny v tepnách se nazývá sphygmografický záznam. [5]



Obr. 1.3: Záznam průběhu tlakové křivky koně

Krevní tlak je závislý na mnoha faktorech. Mezi základní patří a) srdeční výdej, b) elasticita arteriálních stěn, c) periferní cévní resistance, d) viskozita krve. [6]

*Tabulka 1: Normální hodnoty krevního tlaku u koní v anestezii [2]*

Systolický tlak	Dospělý	90-120 mm Hg
	Hříbě	80-100 mm Hg
Diastolický tlak	Dospělý	55-90 mm Hg
	Hříbě	45-80 mm Hg

#### 1.4 Srdeční výdej (cardiac output, CO)

Srdečního výdeje (v litrech za minutu) je nejdůležitějším hemodynamickým faktorem. Definován je jako množství krve vypuzené z levé komory za minutu. Srdeční výdej je termín, který se používá k zhodnocení účinnosti čerpání – srdečního výkonu. V klidu činí 15–40 l/min. [7]

Vypočítá se:

$$\text{Srdeční výdej} = \text{Tepová frekvence} \times \text{Tepový objem} \quad (1.3)$$

Tepový objem – množství krve vypuzené během jednoho stahu levé komory.

#### 1.5 Tepová frekvence (heart rate, HR)

Tepová frekvence udává počet srdečních stahů za minutu. Klidová hodnota u zdravého koně se pohybuje v rozmezí 30-50 tepů/min, podle trénovanosti. U hříbat je hodnota mezi 60-90 tepy/min. [2]

#### 1.6 Tepový objem (stroke volume, SV)

Tepový objem je množství krve vypuzené do aorty během jednoho stahu srdeční komory. Je definován jako rozdíl konečného diastolického (end-diastolic volume, EDV) objemu a konečného systolického objemu (end-systolic volume, ESV). Konečný diastolický objem je objem krve v komoře na konci diastoly. Po vypuzení zůstává v srdci určitá funkční rezerva označovaná jako konečný systolický objem. Různými mechanismy lze zvýšit sílu stahů a tím zvýšit tepový objem při nezměněném diastolickém objemu. [3]

Normální tepový objem v klidu se pohybuje mezi 500–1000 ml. [7]

$$SV = EDV - ESV \quad (1.4)$$

Když je tepový objem vyjádřen v procentech jako poměr tepového objemu k end-diastolickému objemu. Jedná se o ejekční frakci (EF).

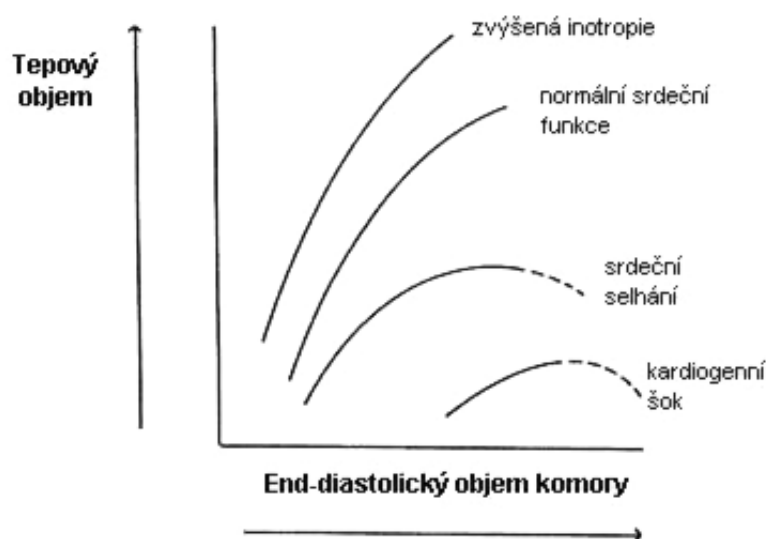
$$EF = \frac{SV}{EDV} \cdot 100 \quad (1.5)$$

Normální ejekční frakce levé komory je 65%.

Tepový objem, jako součást srdečního výdeje, je ovlivněn následujícími třemi parametry. Jsou to plnění (preload), tlak v aortě (afterload) a kontraktilita (inotropie). [1]

### 1.6.1 Frankův-Starlingův mechanismus

Frankův–Starlingův mechanismus popisuje vztah mezi délkou myokardu a silou kontrakce. Čím více se srdeční dutina naplní krví, tím více se sarkomery protáhnou a tím mohutnější stah se vyvine. Je tím zajištěno, že se tepové objemy obou komor od sebe nebudou lišit, takže nemůže dojít k městnání ani v plicích, ani v systémovém oběhu.



Obr. 1.4: Frank-Starlingova křivka [3]

### 1.6.2 Plnění (preload)

Plnění je ovlivněno venózním tlakem krve a rychlostí žilního návratu. Ty jsou ovlivněny žilním tonem a objemem cirkulující krve.

### 1.6.3 Tlak v aortě (afterload)

Je síla, kterou musí myokard překonat, aby mohl zahájit ejekci komor. Na tomto tlaku závisí, v jakém okamžiku se otevře aortální chlopeň. O afterloadu mluvíme i pro pravé srdce při vypuzování do plicnice. [8]

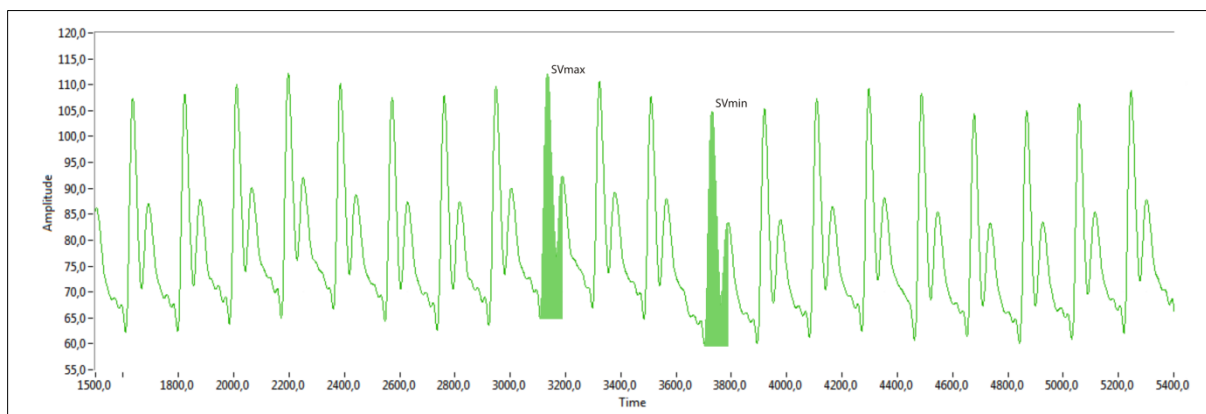
### 1.6.4 Kontraktilita (inotropie)

Při změně síly stahu nezávislé na preloadu a afterloadu hovoříme o změněné kontraktilitě. Ta se zvětšuje působením noradrenalinu nebo adrenalinu. [5]

### 1.7 Variabilita tepového objemu (stroke volume variation, SVV)

Variabilita tepového objemu udává procentní změnu hodnoty tepového objemu během jednoho dýchacího cyklu. Normální je hodnota do 10%. [9]

$$SVV = ((SV_{max} - SV_{min}) / ((SV_{max} + SV_{min}) / 2)) \cdot 100 \quad (1.6)$$



Obr. 1.5: Variabilita tepového objemu během dýchacího cyklu

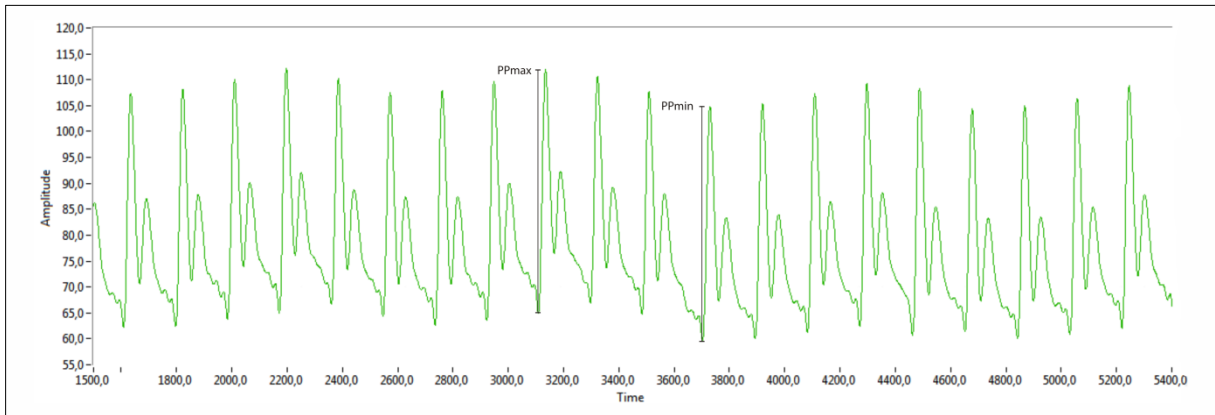
### 1.8 Tlaková amplituda (pulse pressure, PP)

Tlaková amplituda je definována jako rozdíl krevního tlaku mezi systolickou a diastolickou hodnotou během jednoho srdečního cyklu. [9]

### 1.9 Variabilita tlakové amplitudy (pulse pressure variation, PPV)

Variabilita tlakové amplitudy udává procentní změnu hodnoty tlakové amplitudy během jednoho dýchacího cyklu. Normální hodnota je do 13%. [9]

$$PPV = ((PP_{max} - PP_{min}) / ((PP_{max} + PP_{min}) / 2)) \cdot 100 \quad (1.7)$$

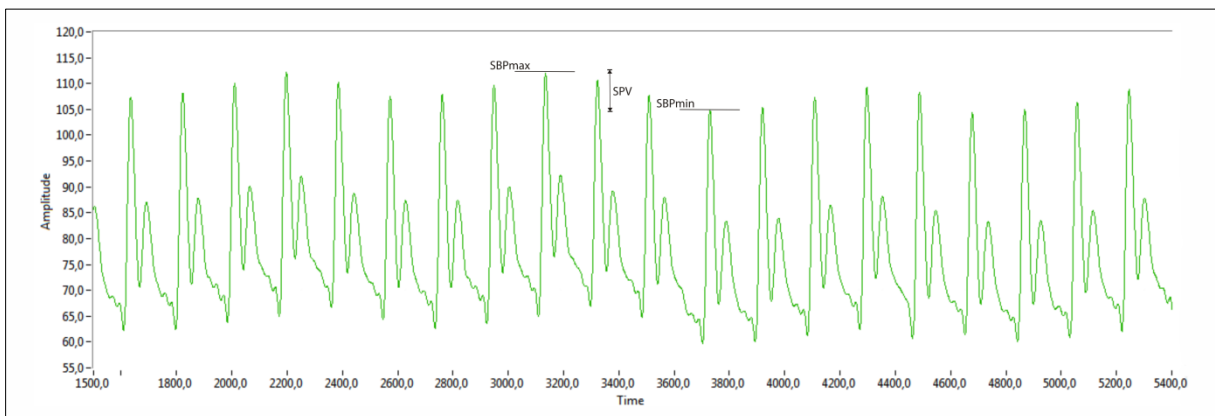


Obr. 1.6: Variabilita tlakové amplitudy během dýchacího cyklu

### 1.10 Variabilita systolického tlaku (systolic pressure variation, SPV)

Je definována jako rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou systolického tlaku (SBP) během dýchacího cyklu. [9]

$$SPV = SBP_{max} - SBP_{min} \quad (1.8)$$



Obr. 1.7: Variabilita systolického tlaku během dýchacího cyklu

### 1.11 Žilní návrat

Žilním návratem se rozumí návrat krve z tělního krevního oběhu do pravé síně. Na procesu žilního návratu se podílí několik aktivních i pasivních mechanismů. Jsou to a) zbylý krevní tlak, který ještě zůstal po průchodu kapilárami, b) sací účinek systoly, c) tlak,

kterým pracující kosterní svaly stlačují žíly (svalová pumpa), d) přetlak vznikající v dutině břišní a zároveň podtlak v dutině hrudní při nádechu (spontánním). [8]

## 2 Způsoby měření krevního tlaku u koní

Arteriální tlak může být sledován přímou (invazivní), či nepřímou metodou (neinvazivní). Nepřímé metody vyžadují použití různých podzvukových a ultrazvukových přístrojů pro detekci průtoku krve v periferních tepnách. Přímé metody vyžadují katetrizaci periferní tepny, použití tlakového převodníku a zesilovače. [2]

### 2.1 Neinvazivní metody

#### 2.1.1 Dopplerova metoda

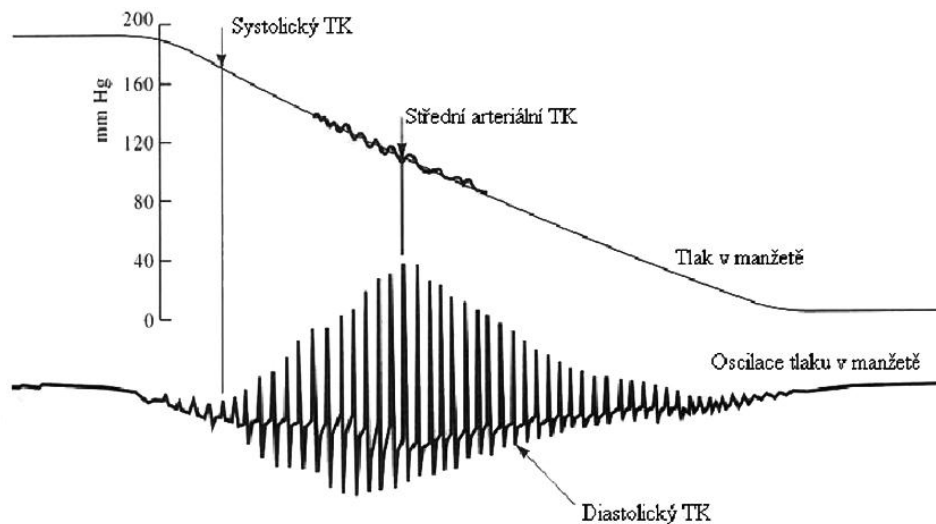
využívá metodu návratu k normálnímu průtoku (return-to-flow). Sonda je umístěna nad povrchní tepnou, obvykle coccygeální, a fixována na místě. Manžeta je umístěna na kořeni ocasu a napojena na manometr. Šířka manžety by měla být 40% obvodu ocasu. Tlak v manžetě na začátku měření musí být zvýšen tak, aby přesahoval hodnotu systolického tlaku. Je-li tlak dostatečně velký, stlačí se tkáň včetně tepny a proudění se zastaví. Hodnota tlaku v manžetě je postupně snižována. Jakmile se ozve první slyšitelný signál, aktuální hodnota tlaku v manžetě se rovná systolickému tlaku. Zvuky jsou slyšitelné do té doby, dokud tlak v manžetě je natolik silný, že deformuje tepnu a je přítomno turbulentní proudění. Po snížení tlaku na hodnotu, kdy zaniklo turbulentní proudění a opět se obnovilo laminární, přestanou být zvuky slyšitelné. Tento bod je označen za diastolický tlak. Pokud tato metoda má být přesná, je důležité, aby hodnota tlaku v manžetě byla snižována pomalu. Vzhledem k tomu, že koně mají relativně pomalou tepovou frekvenci.

Tato technika se snadno provádí a poskytuje přesnou hodnotu systolického tlaku. Potenciální chyba může vzniknout při určování tlaku diastolického. Lidé mají různou citlivost odhalit změny ve zvuku. Zdroje chyb mohou také vzniknout nesprávně umístěnou sondou, která se nenachází nad arterii a špatnou velikostí manžety. [2]

#### 2.1.2 Oscilační metoda

U oscilační metody, stejně jako u Dopplerovy metody, se opět nafoukne manžeta umístěná na ocase nad hodnotu systolického tlaku. Záznamové zařízení během upouštění zaznamenává změny tlaku v manžetě. Tento záznam poté slouží k výpočtu krevního tlaku. Používá se řada detekčních metod (algoritmů) pro určení systolického a diastolického tlaku. Na nich je závislá přesnost údajů. Maximum kmitů obvykle odpovídá hodnotě středního

tlaku. Dosud nebylo dosaženo takové přesnosti, aby tonometry využívající oscilační metodu mohly plně nahradit měření dopplerovou metodou.



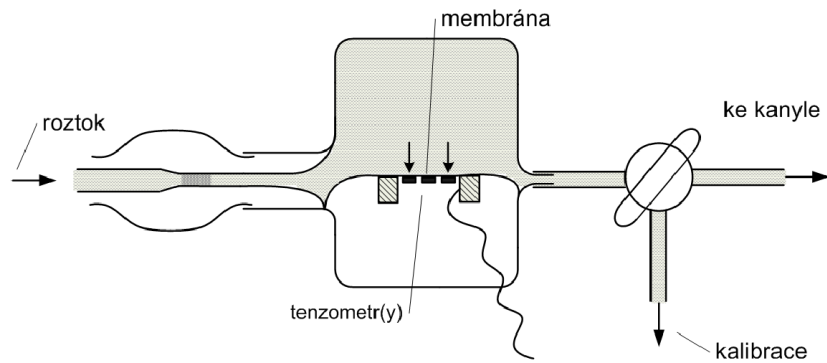
Obr. 2.1: Oscilační metoda [10]

## 2.2 Invazivní metody

Preferovaným způsobem sledování krevního tlaku při anestezii koní je invazivní způsob. Dovoluje kontinuální sledování křivky krevního tlaku na monitoru. Invazivní způsob měření arteriálního krevního tlaku vyžaduje kanylaci arteriálního řečiště. U koní jsou nejčastěji kanylovány obličejové tepny. [11]

### 2.2.1 Pomocí katetru

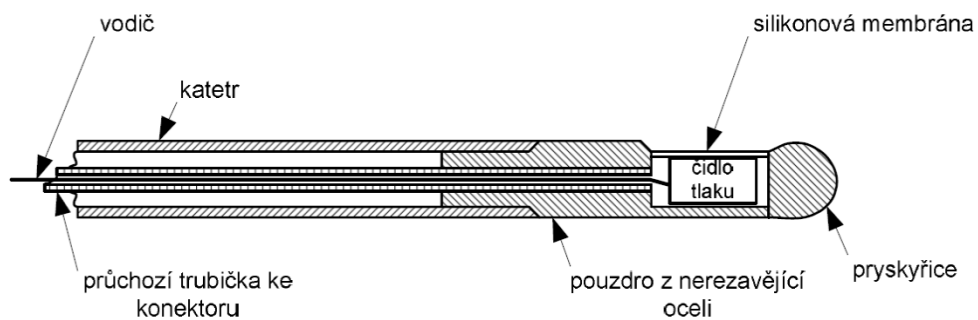
Tento typ katetru je dutá trubice, která je na cévní straně zakončena otvorem a na druhé straně spojkou pro připojení k měřicímu čidlu. Je nutné zvolit správnou tloušťku, délku a tuhost, aby nedocházelo k příliš velkému tlumení, nebo naopak nedotlumení signálu. Vnitřek celého katetru je vyplněn fyziologickým roztokem, který přenáší tlakové změny z cévy směrem k čidlu (nepřímě měření). Důležité je, aby snímač byl umístěn v úrovni srdce.



Obr. 2.2: Katetr se snímačem vně těla pacienta [6]

## 2.2.2 Přímé měření

Měřící senzor je umístěn přímo na cévním konci katetru. Z mikročidel se průběh signálu přenáší v analogové, nebo digitální podobě. Tato metoda je velmi přesná. Tenzometrický senzor může být piezoelektrický, kapacitní nebo optický. Přímé měření je oproti nepřímému složitější na sterilizaci, dražší a zatím se rutinně nepoužívá.

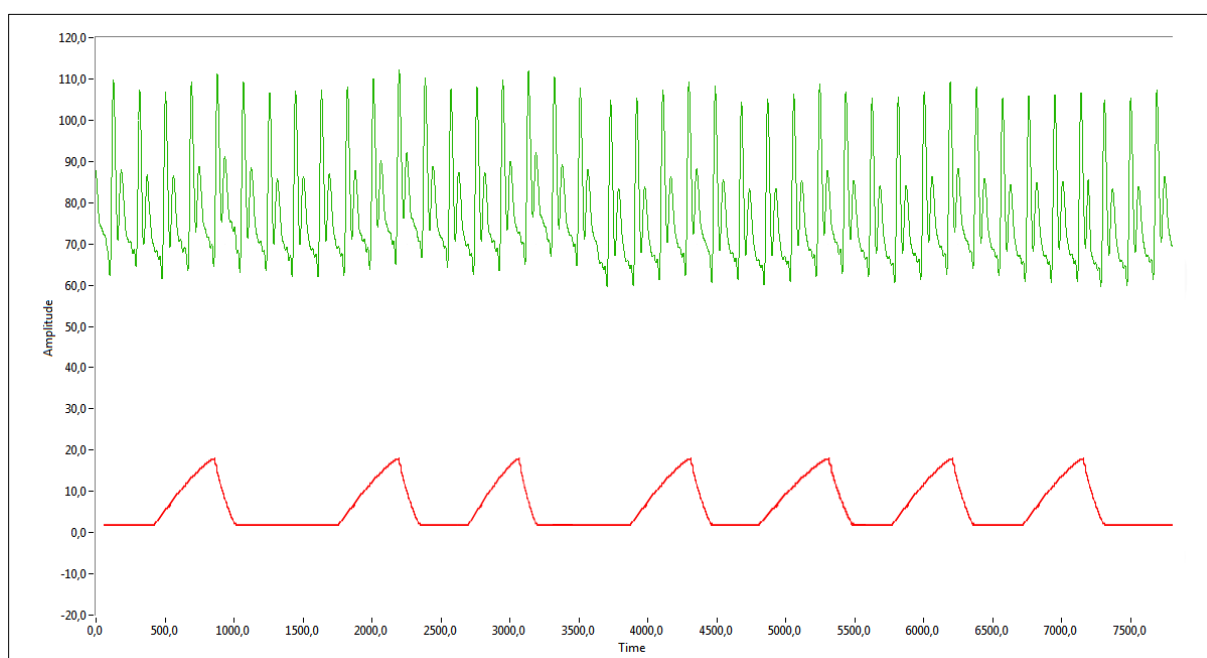


Obr. 2.3: Katetr s umístěným snímačem na hrotu [10]

Obě zařízení se skládají ze tří základních komponent: 1. Snímače nebo zařízení, které detekují fyziologické události. 2. Zesilovač, který zvyšuje velikost signálu 3. Záznamník, osciloskop nebo monitor na zobrazení signálu. [12]

### 3 Vliv dýchání na průběh křivky krevního tlaku

V současné době je zvýšený zájem o sledování hodnot krevního tlaku, které vyjadřují interakce mezi srdcem a plícemi při anestezii, kdy je pacient uměle ventilován. Obr. 3.1 ukazuje průběh tlakové křivky spolu s tlakem v dutině hrudní. Z obrázku je patrné, jak při inspiračním maximu zároveň stoupá krevní tlak a naopak při expiračním minimu se krevní tlak snižuje.



Obr. 3.1: Záznam tlakové křivky koně spolu se záznamem tlaku v dutině hrudní

Kolísání průběhu krevního tlaku při přerušované přetlakové ventilaci je převážně způsobeno změnou tlaku v dutině hrudní. Je důležité připomenout, že tlak v dutině hrudní velice ovlivňuje transmurální tlak, který je okamžitý vnější tlak pro srdeční komoru a reprezentuje preload a afterload pro srdeční sval. Transmurální tlak je rozdíl mezi tlakem v srdeční komoře a tlakem v dutině hrudní. Když se zvedá nitrohrudní tlak během dýchání, potom transmurální tlak klesá. [9]

#### 3.1 Fáze inspirace během přerušované přetlakové ventilace

Zvýšení krevního tlaku během inspirace při umělé ventilaci je způsobeno několika faktory. Zvýšení hrudního tlaku, zatímco klesá transmurální tlak pro levou komoru, zvyšuje

tok krve z plicní žíly do levé komory (zvýšení end-diastolického objemu). Snížení transmuralního tlaku také redukuje napětí srdeční stěny (afterload), což má za následek zvýšení objemu vypuzené krve do oběhu. V pravém srdci nastává odlišná situace. Zvýšení hrudního tlaku snižuje žilní návrat do pravé síně. Vlivem inspirace se zvýší odpor plicního řečiště. Tento odpor není dostatečně kompenzován napětím srdeční stěny a srdeční výdej pravé komory je nižší. [9]

### **3.2 Fáze expirace během přerušované přetlakové ventilace**

Na začátku expirace dochází ke snížení krevního tlaku. Je sníženo plnění levé komory v důsledku sníženého plnění a výdeje pravé komory během inspirace. Zvedá se systémový afterload. Dochází ke zvýšení žilního návratu do pravé síně. Snižuje se plicní afterload. [9]

## 4 Popis realizovaného modulu

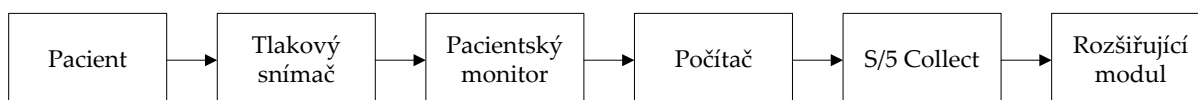
### 4.1 Předpoklady pro realizaci

Klinika chorob koní Veterinární a farmaceutické univerzity vlastní aplikaci Datex-Ohmeda S/5 Collect (Obr. 4.1). Jedná se o 32-bitovou LabVIEW aplikaci určenou pro sběr naměřených dat z různých Datex-Ohmeda sledovacích zařízení. Propojení mezi přístroji a počítačem je zajištěno sériovým portem. Vyhodnocení parametrů a dodatečné výpočty je možné realizovat jak v offline, tak v online režimu.



Obr. 4.1: Aplikace Datex-Ohmeda S/5 Collect

Rozšíření programu je možné pomocí uživatelem navržených plug-inů v LabVIEW, C++ nebo jako DLL knihovny. Plug-in s příponou .vi může běžet na jakémkoliv PC s nainstalovaným S/5 Collect, aniž by byl v počítači nainstalován LabVIEW editor. Díky zahrnutému speciálnímu softwaru NI LabVIEW RunTime Motor 6.1 lze tyto plug-iny spouštět. [13] Cesta informací o průběhu tlakové křivky do rozšiřujícího modulu je uvedena na Obr. 4.2.



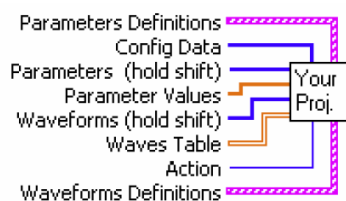
Obr. 4.2: Zisk a předávání informací o průběhu tlakové křivky

## 4.2 Požadavky

Požadavkem bylo vytvořit rozšiřující modul pro aplikaci Datex-Ohmeda S/5 Collect umožňující lékařům sledovat hemodynamické parametry u koní. Přístroje používané k tomuto účelu v humánní medicíně nefungují u zvířat zcela správně, nebo vůbec (hemodynamický monitor LiDCO).

## 4.3 Programové prostředí

Rozšiřující modul je spouštěn přímo aplikací S/5 Collect, která zprostředkovává komunikaci mezi patientským monitorem a počítačem. Parametry posílané do modulu jsou na Obr. 4.3. Pro realizaci algoritmu a následném použití v aplikaci S/5 Collect bylo nutné použít LabView editor 6.1. Současná nejnovější verze (10.0) neumožňuje vytvořené programy exportovat do verze starší než 8.0. LabView verze 6.1 nelze spustit v operačních systémech Windows 7 a Windows Vista. Funguje na Windows XP a starších.



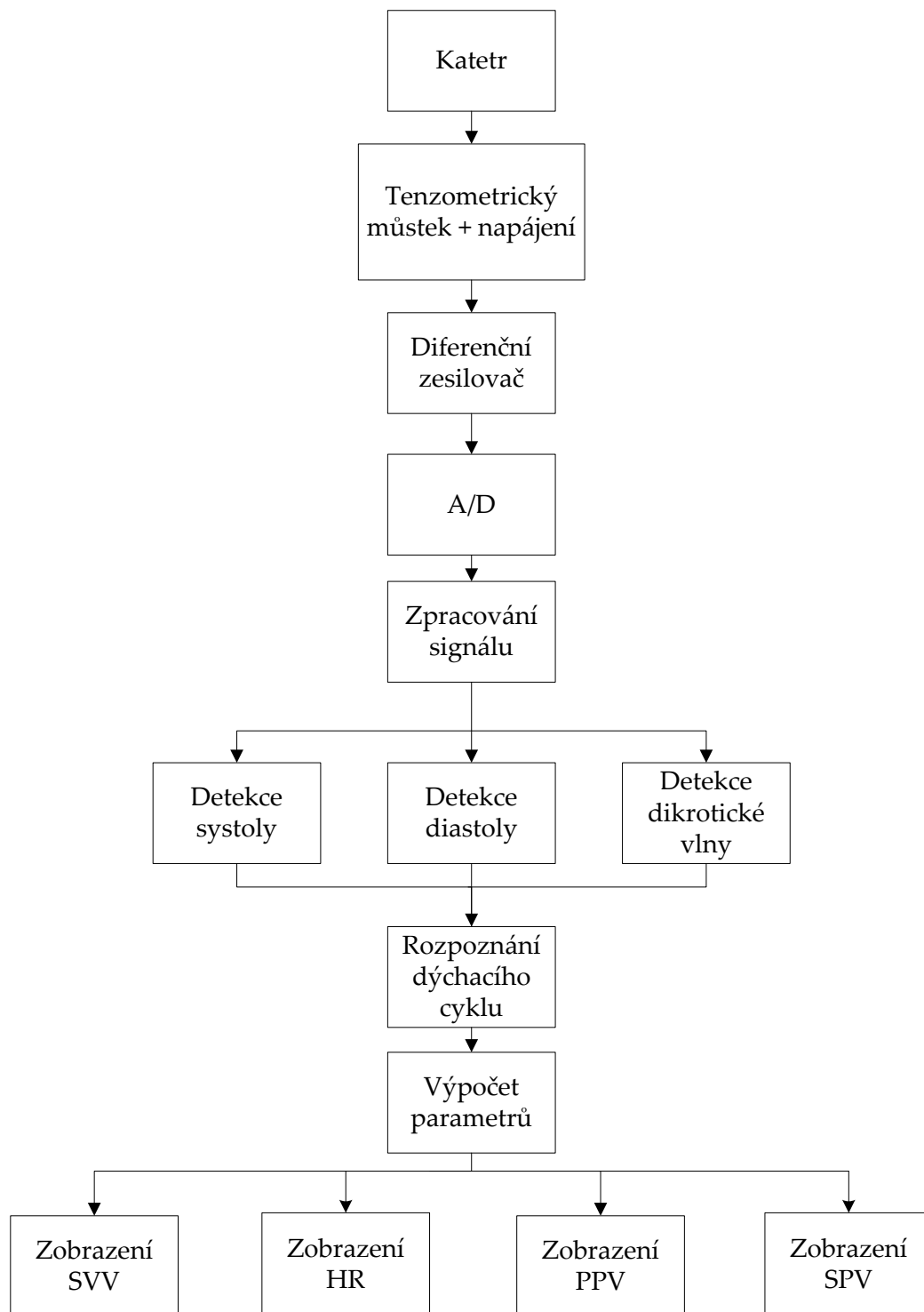
Obr. 4.3: Parametry posílané do modulu [13]

## 4.4 Měření parametrů ze signálu

Parametry, které budou ze záznamu tlakové křivky získány, jsou následující:

- Variabilita systolického tlaku (SPV),
- variabilita tlakové amplitudy (PPV),
- variabilita tepového objemu (SVV),
- tepová frekvence (HR).

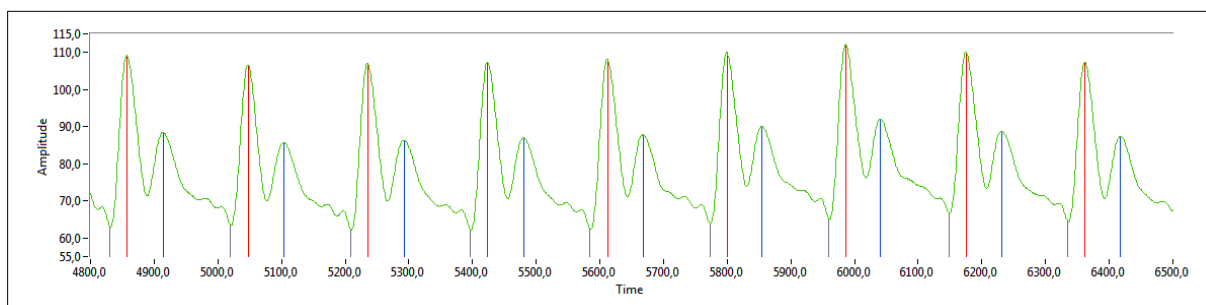
Pro zjištění těchto parametrů je třeba znát systolickou hodnotu, diastolickou hodnotu, pozici dikrotické vlny a rozeznat dýchací cyklus. Celý cyklus získání hodnot, přes zpracování a výpočet hodnot je vyobrazen na Obr. 4.4.



Obr. 4.4: Blokové schéma měření hodnot

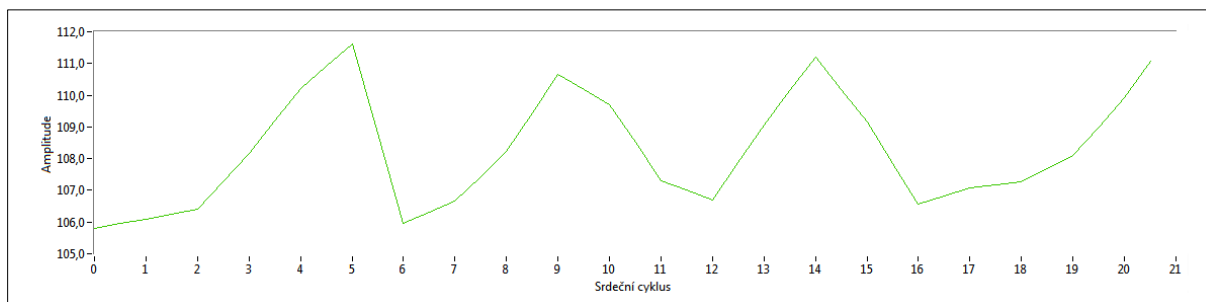
## 4.5 Návrh algoritmu

Úvodní úpravu signálu obstarává filtrace dolní propustí nastavená na 4 Hz. Při detekci systolické a diastolické hodnoty je využito toho, že ohraničují úsek, který je v signálu nejstrmější (nachází se zde největší derivace). Diastolická hodnota se nachází před největší derivací a systolická hodnota spolu s dikrotickou vlnou za největší derivací. V LabView je toto realizováno zjištěním pozice největší derivace a následném načtení 30 hodnot před a 150 hodnot za touto pozicí. V těchto oblastech se hledá pomocí bloku s názvem Peak detector. Peak detector nachází místa a amplitudy vrcholů (systolická hodnota, dikrotická vlna) nebo údolí (diastolická hodnota) v signálu. Výsledky detekce jsou zobrazeny na Obr. 4.5.

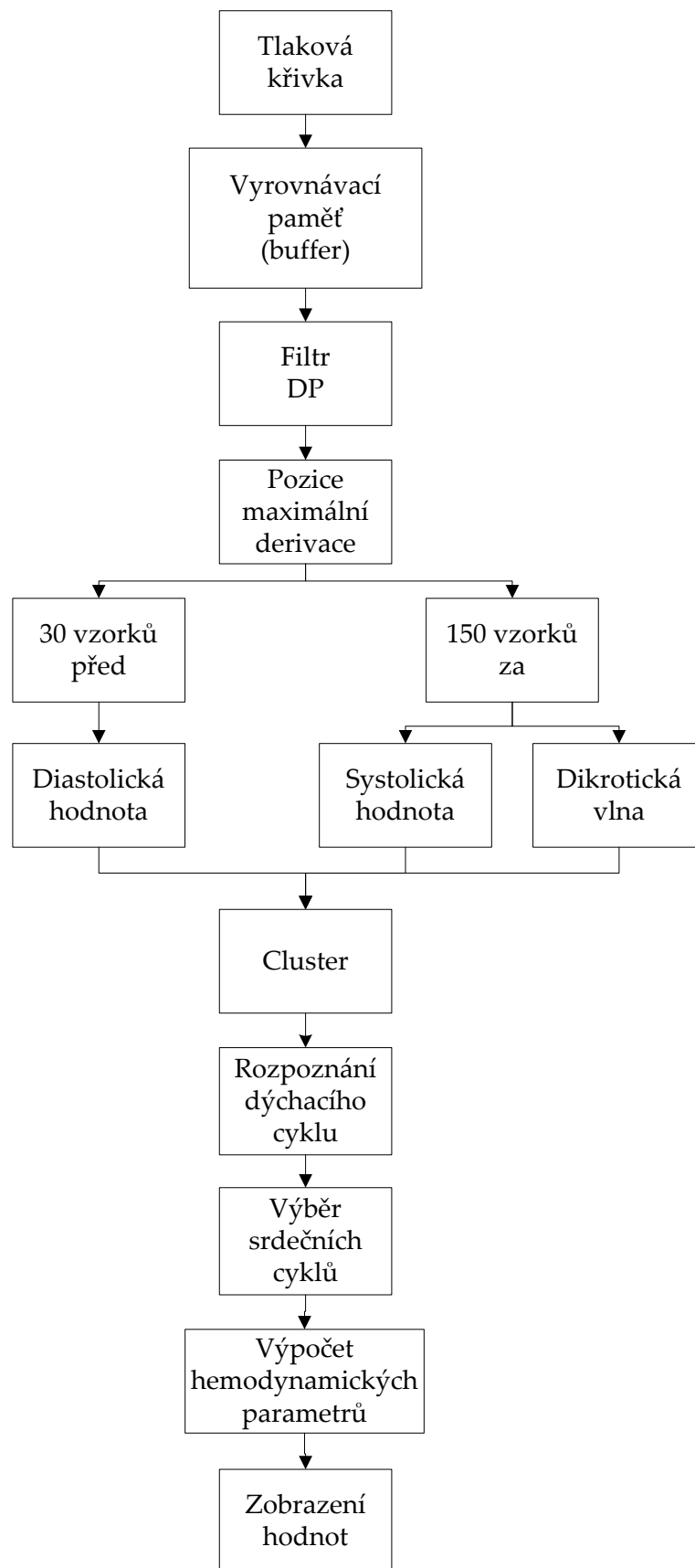


Obr. 4.5: Ukázka detekce systolické hodnoty (červeně), diastolické hodnoty (šedě) a dikrotické vlny (modře) v průběhu tlakové křivky

Rozpoznání dýchacího cyklu je provedeno z průběhu systolické hodnoty. Jak je vidět na Obr. 4.6, průběh systolické hodnoty kopíruje dýchací cyklus. Nacházejí se zde jasné patrné vrcholy a údolí. Pomocí Peak detectoru je zjištěna jejich pozice. Číslo pozice vyjadřuje číslo srdečního cyklu, který je zahrnut do výpočtu variabilit.




Obr. 4.6: Průběh systolické hodnoty



Obr. 4.7: Blokové schéma algoritmu

## 4.6 Popis jednotlivých částí

### Waves Table

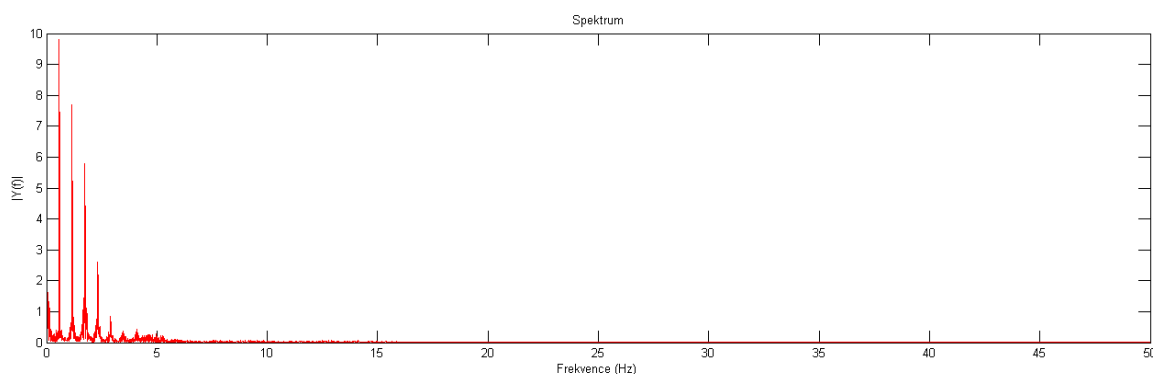
 Dvourozměrné pole obsahující data ze všech měřených průběhů. Obsahuje také průběh tlakové křivky.

### Buffer

Vyrovňovací paměť, která je určena pro dočasné uchování dat. Po naplnění se nejstarší hodnoty vymažou. Doporučená velikost pro analýzu je 8000 vzorků.

### Filtr dolní propust

IIR filtr, mezní frekvence nastavena na 4 Hz, délka impulsní charakteristiky 201 vzorků, průměrováno Hanningovým oknem. Z vykresleného spektra (Obr. 4.8) je patrné, že většina síly signálu se nachází v oblasti nižších frekvencí. Nejvýraznější peak ležící na 0,5 Hz odpovídá základní srdeční frekvenci. Celkově je signál více sinusový a méně impulsivní, než třeba EKG signál.



Obr. 4.8: Spektrum tlakové křivky koně

### Derivace

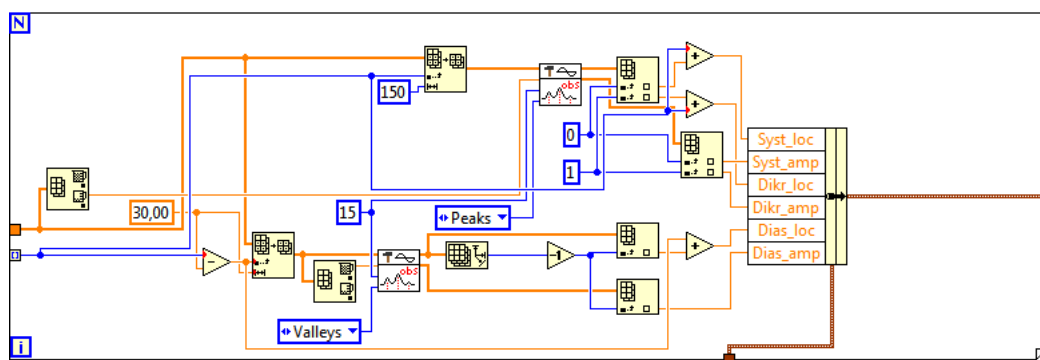
Slouží k označení místa mezi diastolickou a systolickou hodnotou. Z posledních 200 vzorků derivovaného průběhu je nalezeno maximum a násobeno koeficientem 0,8. Tato hodnota byla zjištěna experimentálně. Při zachování maximální velikosti se některé srdeční cykly nedetekovaly, naopak při příliš nízké hodnotě docházelo k nechtěným označením. Ze signálu jsou pozice zjišťovány prahováním.

### Detekce diastoly v srdečním cyklu

Od pozice maximální derivace je načteno 30 vzorků před. V tomto vytvořeném poli je pomocí bloku Peak Detector hledáno tzv. údolí. Peak Detector vrátí pozici a amplitudu diastolické hodnoty.

### Detekce systoly a dikrotické vlny v srdečním cyklu

Od pozice maximální derivace je načteno 150 vzorků za. V tomto poli jsou pomocí Peak Detectoru hledány tzv. vrcholy. Těmto vrcholům odpovídá systolická hodnota a dikrotická vlna. Peak Detector vrátí pozice a amplitudy těchto vrcholů.



Obr. 4.9: Blokové řešení detekce systoly, diastoly, dikrotické vlny a tvorby clusteru

### Tvorba Clusteru

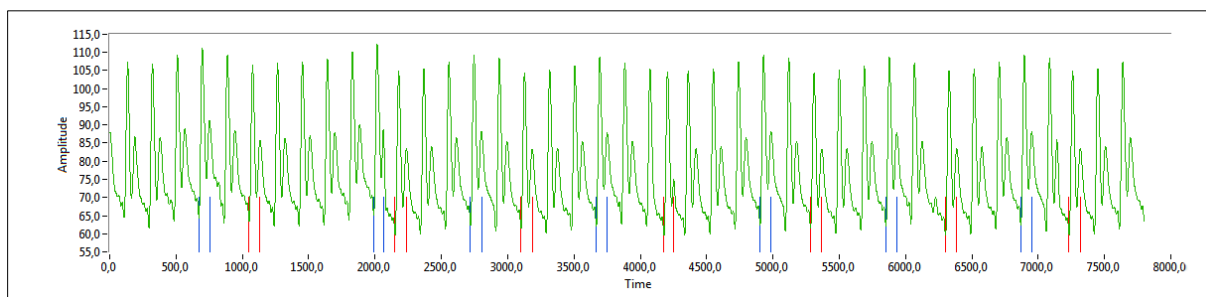
Z detekovaných dikrotických vln, systolických a diastolických hodnot je utvořena datová struktura, tzv. Cluster. Data obsažená v clusteru jsou uvedena v Tabulka 2.

Tabulka 2: Cluster

Pozice diastoly
Amplituda diastoly
Pozice systoly
Amplituda systoly
Pozice dikrotické vlny
Amplituda dikrotické vlny

## Rozpoznání dýchacího cyklu

Rozpoznání dýchacího cyklu je realizováno z průběhu systolického tlaku (Obr. 4.6). Pomocí Peak Detectoru jsou vybrány srdeční cykly, které budou použity pro výpočet hemodynamických parametrů. Obr. 4.10 vyobrazuje označené srdeční cykly zahrnuté do výpočtu.



Obr. 4.10: Ukázka detekce inspiračního maxima (modře) a expiračního minima (červeně)

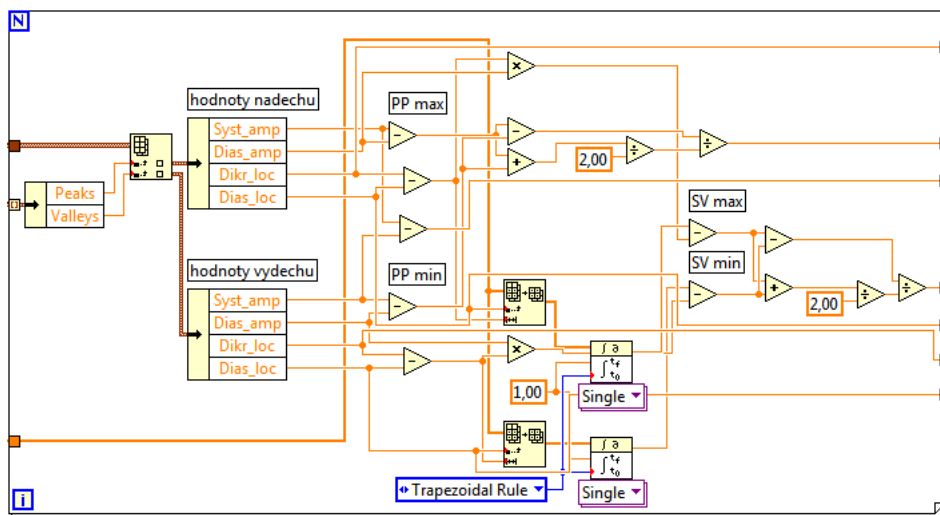
## Výpočet hemodynamických parametrů

Výpočet variability tlakové amplitudy (PPV), variability systolického tlaku (SPV) a variability tepového objemu (SVV) je realizován z hodnot srdečních cyklů, které byly detekovány jako inspirační maximum a expirační minimum. Variabilita tlakové amplitudy během jednoho dýchacího cyklu je počítána podle vztahu (1.7), variabilita systolického tlaku podle (1.8), variabilita tepového objemu podle (1.6). Blokované řešení výpočtu ukazuje Obr. 4.11.

Srdeční frekvence (počet tepů za 60 s) je počítána podle vzorce:

$$HR = \frac{60}{\frac{N}{15} \cdot 0,01}, \quad (4.1)$$

kde N je počet vzorků mezi patnácti systolickými hodnotami a 0,01 je vzorkovací perioda v sekundách.



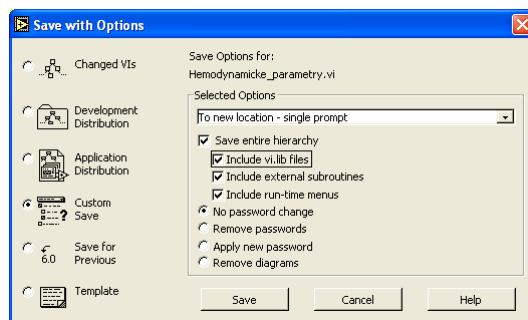
Obr. 4.11: Blokové řešení výpočtu hemodynamických parametrů

#### 4.7 Uložení plug-inu pro Datex-Ohmeda S/5 Collect

Jestliže vytvořený plug-in v LabView obsahuje některé nestandardní moduly, je třeba ho uložit spolu s exportovanou knihovnou. To se v LabView 6.1 provede následujícím způsobem.

1. Otevřít nabídku *File – Save with Options* (Obr. 4.12)
2. Zvolit možnost *Development Distribution*
3. Označit kolonku *Include vi.lib files*
4. *Save*
5. Vybrat *New VI Library*
6. Uložit do složky programu */plugin*.

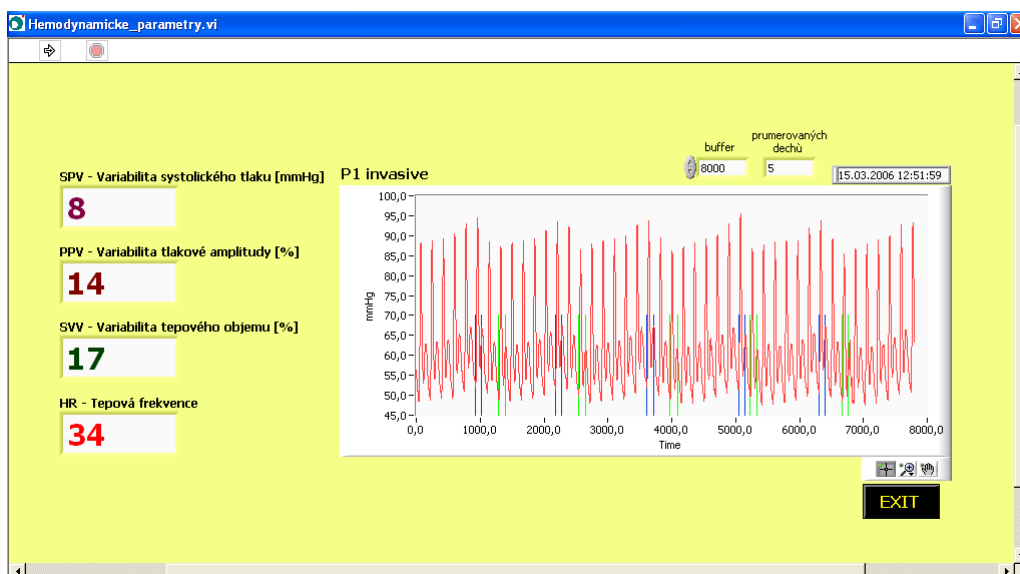
Vytvořené moduly jsou spolu s knihovnami uloženy ve složce programu */plugin*.



Obr. 4.12: Uložení knihovny k plug-inu

## 4.8 Popis grafického prostředí

Uživatelské rozhraní tvoří panel obsahující ovládací a indikační prvky. Velkými barevně odlišenými znaky jsou zde zobrazeny aktuální hemodynamické parametry. Na vykresleném grafu se zobrazuje průběh tlakové křivky. Pro kontrolu správnosti detekce jsou modře označeny inspirační maxima a zeleně expirační minima zahrnuté do výpočtu parametrů. Indikátor průměrových dechů vyjadřuje počet dýchacích cyklů zahrnutých do celkového průměru jednotlivých hemodynamických hodnot. Toto číslo lze modifikovat změnou velikosti bufferu. Doporučená hodnota je 8000 vzorků, což odpovídá 80 s. Podoba grafického rozhraní je vyobrazena na Obr. 4.13.



Obr. 4.13: Grafické prostředí realizovaného modulu na sledování hemodynamických parametrů

### Výčet zobrazovaných hodnot

SPV – Variabilita systolického tlaku

PPV – Variabilita tlakové amplitudy

SVV – Variabilita tepového objemu

HR – Tepová frekvence

Počet dechů zahrnutých do průměrování hodnot

Aktuální čas

Průběh tlakové křivky (červeně)

Detekovaná inspirační maxima (modře) a expirační minima (zeleně)

### Výčet ovládacích prvků

Buffer – vyrovnávací paměť

Tlačítka pro práci s grafem

Exit – Vypnutí plug-inu

## 5 Závěr

V práci jsou shrnuty základní informace týkající se hemodynamické problematiky a oblastí sledování krevního tlaku u koní. Náplní praktické části bylo realizovat rozšiřující modul na výpočet hemodynamických parametrů pro aplikaci Datex-Ohmeda S/5 Collect. Jelikož se jedná o starší program, během realizace nastaly problémy s kompatibilitou. Velké úsilí tedy bylo věnováno odladění programového vybavení, ve kterém se program realizoval. Algoritmy pro získání hemodynamických hodnot již byly vyvinuté pro aplikaci Matlab. Nicméně při převodu do aplikace LabView bylo nutné některé kroky poupravit. Výsledný program funguje dle požadavků. Detekce dikrotické vlny, diastolické a systolické hodnoty probíhá dle testů na dostupných záznamech spolehlivě. Rozpoznání dýchacího cyklu dosahuje nejlepších výsledků v momentě plné relaxace pacienta a naprosto řízené ventilace. V době, kdy pacient není zcela relaxován a mechanický ventilátor je použit jako podpůrný prostředek, dochází k náhodnému ovlivňování tlaku v dutině hrudní ze strany pacienta a průběh systolické hodnoty v čase není pravidelný. To má vliv na označení srdečních cyklů pro výpočet hemodynamických parametrů. Částečně je toto ošetřeno průměrováním více hodnot a jednotlivé nepřesnosti nemají velký vliv. Jako eventuální řešení by se nabízela možnost zahrnout do algoritmu vyhodnocování průběhu tlaku v dutině hrudní a porovnávání této analýzy s průběhem tlakové křivky.

Výsledek práce umožní lékařům na klinice chorob koní Veterinární a farmaceutické univerzity optimalizovat přerušovanou přetlakovou ventilaci při anestezii u koní, dosáhnout co možná nejlepší dodávky kyslíku a tím snížit morbiditu a mortalitu u vysoce rizikových pacientů podstupujících chirurgický zákrok.

## Seznam zkratek

CO	Srdeční výdej (cardiac output)
DP	Dolní propust
EDV	Konečný diastolický objem (end-diastolic volume)
EF	Ejekční frakce
ESV	Konečný systolický objem (end-systolic volume)
HR	Tepová frekvence (heart rate)
KT	Krevní tlak
PP	Tlaková amplituda (pulse pressure)
PPV	Variabilita tlakové amplitudy (pulse pressure variation)
SPV	Variabilita systolického tlaku (systolic pressure variation)
SV	Tepový objem (stroke volume)
SVV	Variabilita tepového objemu (stroke volume variation)

## Seznam obrázků

Obr. 1.1: Průběh tlakových změn v aortě, levé komoře a levé síni [3].....	10
Obr. 1.2: Průběh tlakové křivky.....	11
Obr. 1.3: Záznam průběhu tlakové křivky koně.....	11
Obr. 1.4: Frank-Starlingova křivka [3] .....	13
Obr. 1.5: Variabilita tepového objemu během dýchacího cyklu.....	14
Obr. 1.6: Variabilita tlakové amplitudy během dýchacího cyklu .....	15
Obr. 1.7: Variabilita systolického tlaku během dýchacího cyklu.....	15
Obr. 2.1: Oscilační metoda [10].....	18
Obr. 2.2: Katetr se snímačem vně těla pacienta [6].....	19
Obr. 2.3: Katetr s umístěným snímačem na hrotu [10] .....	19
Obr. 3.1: Záznam tlakové křivky koně spolu se záznamem tlaku v dutině hrudní.....	20
Obr. 4.1: Aplikace Datex-Ohmeda S/5 Collect .....	22
Obr. 4.2: Zisk a předávání informací o průběhu tlakové křivky .....	22
Obr. 4.3: Parametry posílané do modulu [13].....	23
Obr. 4.4: Blokové schéma měření hodnot.....	24
Obr. 4.5: Ukázka detekce systolické hodnoty (červeně), diastolické hodnoty (šedě) a dikrotické vlny (modře) v průběhu tlakové křivky .....	25
Obr. 4.6: Průběh systolické hodnoty .....	25
Obr. 4.7: Blokové schéma algoritmu .....	26
Obr. 4.8: Spektrum tlakové křivky koně.....	27
Obr. 4.9: Blokové řešení detekce systoly, diastoly, dikrotické vlny a tvorby clusteru.....	28
Obr. 4.10: Ukázka detekce inspiračního maxima (modře) a expiračního minima (červeně) ...	29
Obr. 4.11: Blokové řešení výpočtu hemodynamických parametrů .....	30
Obr. 4.12: Uložení knihovny k plug-inu.....	30
Obr. 4.13: Grafické prostředí realizovaného modulu na sledování hemodynamických parametrů.....	31

## Seznam použité literatury

- [1] SILBERNAGL, S.; DESPOPOULOS, A. *Atlas fyziologie člověka*. Praha : Grada Publishing, 2003. 435 s. ISBN 80-2470630.
- [2] RIEBOLD, T. *Supportive Therapy in the Anesthetized Horse* [online]. Oregon : Smiths medical, 2003 [cit. 2010-10-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.surgivet.com/Userfiles/education-resources/clinical/Supportive%20Therapy%20In%20The%20Anesthetized%20Horse.pdf>>.
- [3] ROKYTA, R, a kolektiv. *Fyziologie*. Praha : ISV nakladatelství, 2000.
- [4] ADAMU, Z. *Stanovení parametrů křivky krevního tlaku pro řízení ventilace při anestézii u koní*. Brno, 2010. 41 s. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity, Centrum pro výzkum toxických látek v prostředí. Vedoucí bakalářské práce Prof. Ing. Jiří Holčík, Csc.
- [5] HEADLEY, M. *Invasive hemodynamic monitoring: Physiological principles and clinical applications* [online]. California : Edwards Lifesciences, [cit. 2010-10-15]. Dostupné z WWW:<<http://ht.edwards.com/resourcegallery/products/swanganz/pdfs/invasivehdmpphysprincbook.pdf>>.
- [6] KOLÁŘ, R. *Lékařská diagnostická technika*. Brno : FEKT Vysokého učení technického v Brně, 2006. 92 s.
- [7] ŠVEHLOVÁ, D. Jak funguje kůň - část 24.: Trénované srdce. *IFauna* [online]. 2008, 19, [cit. 2010-12-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.ifauna.cz/clanek/kone/jak-funguje-kun-cast-24-trenovane-srdce/4983/>>.
- [8] LEJSEK, J. Monitorace homodynamiky a vstupy do cévního řečiště. *2. lékařská fakulta* [online]. [cit. 2010-11-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.lf2.cuni.cz/Projekty/mua/3y2.htm>>.

- [9] PARRY-JONES, A.; PITMAN, J. *Arterial pressure and stroke volume variability as measurements for cardiovascular optimisation. International Journal of Intensive Care*, London : Greycoat Publishing Ltd., 2003, Summer, od s. 67-72. ISSN 1350-2794. 2003.
- [10] DOBIÁŠ, M.; FABIÁN, V. *Měření krevního tlaku*. [Prezentace] : Medicton.
- [11] REEDER, D, et al. *AAEVT's Equine Manual for Veterinary Technicians*. Ames : Wiley-Blackwell, 2009. ISBN 13:978-0-8138-2971-5/2009.
- [12] RIVERA, M. *Direct Arterial Blood Pressure Monitoring* [online]. Glendale : Smiths medical, 2003 [cit. 2010-12-12]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.surgivet.com/Userfiles/education-resources/clinical/Direct%20Arterial%20Blood%20Pressure.pdf>>.
- [13] *Datex-Ohmeda S/5 Collect User's Reference Manual*.: Datex Ohmeda Division, 2003. 103s.
- [14] MÁLEK, J. , et al. *Základy anesteziologie*. Praha : 3.Lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Praze, 2009. 92 s. Dostupné z WWW:  
<<http://www.lf3.cuni.cz/cs/pracoviste/anesteziologie/journal/galerie-download/zaklady-anesteziologie.pdf>>.