

# **Posudek diplomové práce Jana Rusze: Využití modelu globálních fyziologických funkcí člověka jako podklad pro e-learningovou výuku medicíny akutních stavů.**

**Cílem diplomové práce** bylo vytvoření modulárního a škálovatelného modelu základních propojených fyziologických funkcí člověka v prostředí Matlab/Simulink a propojení modelu s multimediálními komponentami jako vizuální rozhraní pro e-learningovou výuku.

**Výsledkem práce** je implementace modelu základních propojených fyziologických funkcí člověka v prostředí Matlab/Simulink a dále podrobnější rozpracování jednoho ze subsystémů – subsystému ventilace s uvažováním napojení virtuálního pacienta na přístroj pro umělou plicní ventilaci. Závěrečná část práce je věnována využití modelu jako výukového trenažéru a propojení simulátoru s multimediálními komponentami. Výsledkem jsou též tři odborné publikace.

Úvodní částí práce byla realizace matematického modelu globálních fyziologických funkcí člověka podle A.C. Guytona a spol. v prostředí Simulink. Simulinkové prvky jsou velmi podobné prvkům, které pro formalizované vyjádření globálních fyziologických vztahů použil i Guyton a spol. Rozdíl je jen v grafickém tvaru. Tato podobnost byla inspirací k tomu, aby byl klasický Guytonův diagram prostřednictvím Simulinku převeden do podoby funkčního simulačního modelu. V simulinkové implementaci byly využity i přepínače, kterými je možné odpojovat nebo zapojovat jednotlivé subsystémy a regulační smyčky i za běhu modelu. Vnější vzhled simulačního modelu byl zachován stejný jako v původním grafickém schématu – rozložení, rozmístění vodičů, názvy veličin i čísla bloků jsou stejná jako v původním Guytonově schématu (viz vložená příloha diplomové práce). Pro větší přehlednost byla vytvořena ještě další úprava simulinkového modelu do formy propojených subsystémů jako jakýchsi "simulačních čipů" (viz další vložená grafická příloha diplomové práce).

Originálnost simulinkové implementace Guytonova modelu spočívá v tom, že v původním Guytonově obrázkovém schématu (uvedeném jako vložená příloha práce) bylo nejprve nutno opravit některé "grafické překlepy". Chyb nebylo mnoho - přehozená znaménka, dělička místo násobičky, prohozené propojení mezi bloky, chybějící desetinná tečka u konstanty atd. V obrázkovém schématu to nevadí, pokud ale bez rozmyslu implementujeme model v Simulinku přesně podle grafického schématu, model nefunguje. Je zajímavé, že Guytonův diagram byl jako složitý obrázek mnohokrát přetiskován do nejrůznějších publikací. Nikdo ale zatím na chyby neupozornil a nedal si práci tyto chyby opravit (popis chyb je uveden v první kapitole diplomové práce). To bylo pochopitelné v době, kdy obrázkové schéma vznikalo jako ruční výkres, a jeho ruční překreslování bylo složité. Možné je i to, že původní autoři modelu chyby ve schématu ani opravovat nechtěli – kdo si dal práci s analýzou modelu, obrazové "překlepy" snadno odhalil. Konec konců, ve své době autoři rozesílali i zdrojové texty programů v jazyce Fortran – takže ten, kdo chtěl pouze testovat chování modelu, sám programovat nic nemusel (maximálně pouze rutinně převedl program z Fortranu do jiného programovacího jazyka).

Výsledkem této části diplomové práce jsou tři publikované odborné články, z nichž jeden ("Gyuton's diagram brought to life – from graphic chart to simulation model for teaching physiology") je uveden v příloze diplomové práce.

Jádrem diplomové práce je rozpracování jednoho ze subsystémů matematického modelu globálních fyziologických funkcí – subsystému ventilace s uvažováním možností simulace umělé plicní ventilace. Diplomant nejprve v druhé kapitole analyzoval základní vlastnosti modelu ventilace. Analyzoval využití Weibelova morfologického modelu respiračního systému, respektující anatomickou strukturu, a na základě geometrických parametrů dýchacích cest pro jednotlivé generace respiračního systému dle elektroakustické analogie spočetl hodnoty (RLC) prvků pro jednotlivé generace respiračního systému.

V další kapitole se diplomant věnoval analogii mezi elektrickými a mechanickými systémy, stavovým popisem a dalšími teoriemi dále využívanými v práci.

Dále se diplomant věnoval návrhu modelu respiračního systému jako analogie elektrického obvodu – vyšel z Weibelova modelu, který postupně zjednodušoval a identifikoval hodnoty jednotlivých parametrů. Výsledný redukovaný model dýchacích cest byl pro úplnost chování doplněn modelem dechové práce, který zajišťuje komplexnější popis respiračního systému.

Dále pak diplomant model doplnil o jednoduchý návrh ventilátoru propojený s respiračním systémem virtuálního pacienta. Diplomant nejprve popisuje mechanický ventilátor a následně dva modely umělé plicní ventilace. Prvním je nelineární mechanický ventilátor popsán převážně matematicko-fyziologickými vztahy. Druhým modelem je komplexní schéma ventilátoru spojeného s modelem dýchacích cest a dechové práce, vyjádřené jako lineární elektrické schéma. Modely jsou popsány diferenciálními rovnicemi a přehledným stavovým popisem. Z nich je pak sestaven výsledný simulační model v prostředí Matlab/Simulink. Při sestavování modelů diplomant využil některé rozšířené možnosti systému Matlab/Simulink - stavové automaty (s využitím prostředí Stateflow) a "enabled/trigered" subsystémy. Chování modelu poměrně věrně odpovídá chování fyziologického systému pacienta napojeného na umělou plicní ventilaci.

Původním cílem bylo využití modelu pro lékařskou výuku, diplomant se však ještě navíc zabýval perspektivní možností využití modelu pro řízení umělé plicní ventilace a pro on-line identifikaci parametrů modelu na data pacienta, což může mít perspektivní klinicko-diagnostický význam. Šestou kapitolu práce proto věnuje návrhu sofistikovanějších moderních metod identifikace systémů metodami návrhu ARX, který je následně rozšířen o exponenciální zapomínání, omezené exponenciální zapomínání a zapomínání s proměnným faktorem, které je použitelné především na signály měnící se v čase. Diplomant porovnával výsledky chování navrženého modelu ventilace s modelem získaným identifikací ARX, kterým získával hrubý odhad o vhodnosti a výsledcích dané metody, která by se využila v případě budoucího možného výpočtu parametrů modelu přímo z dat reálného přístroje. Klasická metoda ARX se ukázala pro případ změny parametrů nepoužitelná. Lepší výsledky dávají ARX metody s využitím zapomínání. Celá problematika je však otázkou dalšího podrobnějšího výzkumu.

Závěrečná část práce je věnována využití modelu jako trenažéru umělé plicní ventilace pro lékařskou výuku. Proto byl simulátor propojen s multimediálními komponentami. Při tvorbě bylo využito grafické prostředí Matlab a multimediální interaktivní komponenty vytvořené v prostředí Adobe

Flash. Výsledkem je spojení multimediálního prostředí se simulačním modelem, které umožňuje studentům medicíny a lékařům vyzkoušet si chování umělé plicní ventilace ve virtuální realitě.

V závěru práce se diplomant věnuje zhodnocení práce a dalším směrů jejího možného dalšího vývoje. Jako perspektivní a (v nejbližší době nutný krok) se jeví rozšíření modelu o přenos krevních plynů a propojení modelu s modely popisujícími ovlivnění cirkulačního systému umělou plicní ventilací (tato problematika byla tématem práce dalšího diplomanta, Jakuba Ráfla, propojení výsledků obou diplomových prací by bylo v budoucnu zřejmě přínosné).

**Závěrem lze konstatovat**, že diplomant vytvořil rozsáhlou a po obsahové stránce pracovně náročnou diplomovou práci, přesahující původní zadání.

Diplomant projevil mimořádnou schopnost samostatné práce a zároveň i spolupráce v mezioborovém týmu. Zorientoval se v problematice, prostudoval řadu literárních pramenů a modelů. Z odborné literatury kriticky převzal relevantní části pro vlastní diplomovou práci.

Byl schopen aktivně pracovat se zdroji bez vyčerpávající anotace a mimo jiné i nalézat v publikovaných modelech chyby a opravovat je tak, aby odpovídaly fyziologické skutečnosti.

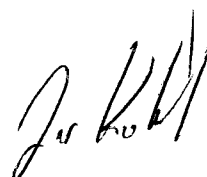
Převzaté modely modifikoval a vhodně optimalizoval jak po stránce strukturální, tak i z hlediska nastavení hodnot parametrů jeho prvků, aby dosáhl fyziologického chování modelu.

Výsledkem práce jsou tři odborné publikace. Praktickým výsledkem práce je výukový trenažér umělé plicní ventilace pro výuku medicíny akutních stavů.

V závěru práce diplomant shrnul několik doporučení pro další postup, které se zdají být velmi relevantní a po realizaci mohou být podkladem pro další odborné publikace i pro perspektivní výzkum v oblasti on-line identifikace parametrů modelu na data pacienta pro diagnostické účely i pro řízení umělé plicní ventilace.

Po formální stránce je diplomová práce zpracována velmi pečlivě a přehledně.

**Soudím, že diplomant splnil požadovaná kritéria pro diplomové práce v oboru Biomedicínské inženýrství a navrhuji hodnocení "výborně".**



V Praze, 6. 6. 2008

Dr. Jiří Kofránek, CSc.  
(vedoucí diplomové práce Jana Rusze)  
Laboratoř biokybernetiky, ÚPF, 1. LF UK

Oponentský posudek diplomové práce

**Bc. Jan Rusz** : *Využití simulačního modelu globálních fyziologických funkcí člověka jako podklad pro e-learningovou výuku medicíny akutních stavů*

Předložený text diplomové práce má 90 stran; k textu je připojena kopie jedné z publikací vztahujících se k tématu práce. Text členěný do sedmi kapitol (podrobněji viz Obsah) obsahuje také seznam symbolů a zkratk, seznam autorových publikací vztahujících se k práci a jako přílohy jsou připojena schemata použitých či diskutovaných modelů a CD s diplomovou prací.

Cílovým rámcem tematiky je vytváření softwarových prostředků – simulátorů - pro rozvíjení e-learningové výuky medicíny akutních stavů systémů vnitřního prostředí organismu člověka. Je to tematika jejíž význam zasahuje nebo může zasahovat nejen do oblasti medicínské pregraduální i postgraduální výuky, ale může být také přínosem pro různé teoretické i na praxi orientované medicínské obory. Z tohoto širokého okruhu témat si autor vybírá a volí jako východisko známý a rozsáhlý Guytonův model, jehož popis a historie ilustruje snahy po vytváření takových "globálních" simulátorů.

Aktualizace a korekce originálního schematu Guytonova modelu je prvním splněným úkolem diplomové práce, tj. jsou dokumentovány a korigovány některé chyby ve schematu. Autor také převedl výchozí schema do adekvátnější simulinkové verze při zachování původního rozložení částí a jejich značení. Další výhodou toho představuje využití možnosti hierarchického seskupování jeho částí do subsystémů s uživatelsky definovanými vstupy a výstupy.

Ústředním tématem práce je pak návrh a vytvoření modelu subsystému ventilace a návrh a vytvoření modelu umělé plicní ventilace. Tato hlavní část práce je popsána v šesti kapitolách. V kapitole pod názvem "Analýza respiračního systému" jsou uvedeny potřebné elementární informace o dýchacím ústrojí, o umělé plicní ventilaci a o předpokladech pro formulaci modelu. Koncepce modelu se opírá o Weibelův model a další údaje převzaté z (citované) literatury.

Kapitola "Teorie návrhu modelu a jeho součástí" uvádí některé koncepce modelování a matematické prostředky, které jsou použité v dalších kapitolách při formulaci a zobrazení dynamických vlastností předmětného originálu, tj. respiračního systému a ventilátoru při umělé plicní ventilaci.

Návrh modelu respiračního systému (popsaný v další kapitole) spočívá ve vhodném vyjádření dynamických vlastností dosti složitého biologického originálu prostřednictvím jednoduchých náhradních elektrických schemat (obvody s prvky RCL a odpovídajícími rovnicemi), které umožňují akceptovatelnou interpretaci pokud jde o parametry i vztah ke struktuře zobrazovaného originálu; usnadňují také i žádoucí možnost redukce struktury schemat. Ze dvou modelů dýchacích cest (tj. jednak modelu z hlediska podajnosti generací dýchacích cest, jednak modelu z hlediska

proudění vzduchu) autor odvodí zjednodušené náhradní schéma dýchacích cest třetího (z původního sedmnáctého) řádu s odpovídajícími hodnotami parametrů. Výsledný model respiračního systému spolu se složkou zobrazující také další dynamické vlastnosti předmětného objektu (tj. elasticitu plic a elasticitu hrudního koše, reprezentované opět dvěma elektrickými obvody s prvky RLC a s parametry převzatými z literatury) je lineárním modelem plicní mechaniky, který vyhovuje možnosti spojení s (dále uvedeným) modelem ventilátoru do výukového simulátoru.

Popis a realizace modelu ventilátoru a celé struktury modelu umělé plicní ventilace je v další samostatné kapitole, která obsahuje také stavový popis a rovnice modelu, ukázkou simulovaných průběhů respiračního tlaku, respiračního průtoku a alveolárního tlaku a dalších. Pro porovnání jsou uvedeny odpovídající průběhy publikované v manuálu komerčního ventilátoru, se kterými se jeví prakticky shodné.

Popis a hodnocení využitelnosti metod ARX k identifikaci veličin modelu je téma další kapitoly. Cílem identifikace je respirační tlak za některých odlišných fyziologických podmínek (s předpokladem dalších možností uplatnění modelu). Testovány jsou čtyři metody ARX, jako úspěšné a vhodné hodnoceny ARX metody s využitím zapomínání.

Téma poslední kapitoly je multimediální grafické rozhraní výukového modelu, který je nejbližší, ale ne jedinou cílovou oblastí uplatnění modelů vytvořených v této diplomové práci. Pro lékařskou výuku navrhovaný тренаžer je tvořen simulátorem, který je propojený s multimediálními komponentami s animací zobrazující dýchání pacienta. Animace je řízena výstupy simulačního modelu, k dispozici je 9 vstupů a průběh řady výstupních veličin formou grafů a číselných hodnot.

Na konci poslední kapitoly je dvoustránkové hodnocení výsledků diplomové práce, které shrnuje cíle, postup řešení, další a event. předpokládané možnosti úprav a uplatnění výsledků také nad rámec základního prostředku pregraduální výuky.

Závěr: Po formální stránce je text uspořádán přehledně, vybaven potřebnými schématy a grafy, drobných chyb a méně obratných formulací je mizivě, rozsah je přiměřený. Obsah textu vystihuje téma, jeho některé širší souvislosti, podmínky a postup řešení – tj. postup vytváření modelu, při kterém autor práce dobře využívá data uvedená v odkazové literatuře a také možnosti Matlabu-Simulinku. Vytvořený model je využitelný v medicínské výuce, ale má i další možnosti využití, mimo jiné např. v oblastech, které diplomant sám naznačuje v závěrečném hodnocení práce. Dosažené výsledky i zvolené postupy řešení - tj. korekce Guytonova modelu a vytvoření modelu umělé plicní ventilace - splňují požadavky zadání a proto diplomovou práci

**hodnotím známkou výborně** a doporučuji k obhajobě.

V Praze 8. června 2008

  
doc. MUDr. Zdeněk Wunsch, CSc.