

4 | 20
15

URGENTNÍ MEDICÍNA

ČASOPIS
PRO NEODKLADNOU
LÉKAŘSKOU PÉČI

Urgentní medicína
je partnerem
České resuscitační rady



Urgentní medicína je vydávána
ve spolupráci se Společností
urgentní medicíny a medicíny
katastrof ČLS JEP



Urgentní medicína je vydávána
ve spolupráci se Slovenskou
spoločnosťou urgentnej medicíny
a medicíny katastrof SLS



Z OBSAHU VYBÍRÁME:

- Evakuace nemocnice – je někdo skutečně připraven?
- Advanced trauma life support (ATLS®) kurz – proč absolvovat?
- Úloha Bitúnok na Záchrane 2015 v Košiciach
- San Francisco z pohľadu neodkladnej zdravotnej starostlivosti
- Masivní transfuzní protokol – indikace a jeho praktická aplikace
- Modelování kardiovaskulárního systému – řízení a monitorace hemodynamických parametrů
- Systémové funkční hodnocení práce ZOS
- Použitie magnetu u pacientov s ICD posádkami RLP/RZP
- Potreba kognitívnej štruktúry záchranárov v súvislosti s rýchlosťou rozhodovania a dĺžkou praxe
- Role mužů v ošetrovatelství na jednotkách intenzivní péče a resuscitačních odděleních
- Žena versus muž v profesi zdravotnického záchranáře

Archiv 2001– 2013 na www.urgentnimedicina.cz

Urgentní medicína je v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik Rady pro výzkum a vývoj ČR.
Časopis je excerpován v Bibliographia medica čechoslovaca.

Vedoucí redaktorka / Editor-in-Chief:

Jana Šeblová, Praha

Odpovědný redaktor / Editor:

Jan Mach, České Budějovice

Korektury / Proofreading:

Nina Seyčková, Praha

Redakční rada / Editorial Board

Jan Bradna, Praha

Roman Gřegoř, Ostrava

Dana Hlaváčková, Praha

Stanislav Jelen, Ostrava

Čestmír Kalík, Příbram

Anatolij Truhlář, Hradec Králové

Mezinárodní redakční rada / International

Editorial Board

Jeffrey Arnold, USA

Abdel Bellou, Francie

Maaret Castrén, Švédsko

Barbara Hogan, Německo

Oto Masár, Slovensko

Francis Mencl, USA

Agnes Meulemans, Belgie

Christoph Redelsteiner, Rakousko

Marc Sabbe, Belgie

Štefan Trenkler, Slovensko

Externí recenzenti / External reviewers

Táňa Bulíková, Bratislava

Blanka Čepická, Praha

Jiří Danda, Praha

Viliam Dobiáš, Bratislava

Ondřej Franěk, Praha

Jan Havlík, Kostelec nad Labem

Petr Hubáček, Olomouc

Lukáš Humpl, Opava

Josef Karaš, Košice

Leo Klein, Hradec Králové

Jiří Knor, Praha

Jiří Kobr, Plzeň

Milana Pokorná, Praha

Roman Sviták, Plzeň

Jiří Šimek, České Budějovice

David Tuček, Hradec Králové

Pavel Urbánek, Brno

Jiří Zika, Praha

Členové redakční rady časopisu, mezinárodní redakční rady ani externí recenzenti nejsou v zaměstnaneckém poměru u vydavatele.

Časopis Urgentní medicína je vydáván od roku 1998, periodicita je čtyřikrát ročně, ISSN 1212-1924, evidenční číslo registrace MK ČR dle zákona 46/200 Sb.: MK ČR 7977.

Toto číslo předáno do tisku dne: /
Forwarded to press on: 22. 01. 2016

Sazba a produkce / Typesetting and production:

Jonáš Kocián, jonas@jungletown.cz

Zaslané příspěvky a fotografie se nevracejí, otištěné příspěvky nejsou honorovány. Texty neprocházejí redakční ani jazykovou úpravou. / Submitted manuscripts and photos are not returned, contributions are not monetarily rewarded. The texts do not go through the editorial and linguistic corrections.

Rukopisy a příspěvky zasílejte na adresu / Manuscripts and other contributions should be sent to: MUDr. Jana Šeblová, Ph.D., Fráni Šrámka 25, 150 00 Praha 5 nebo e-mail/or by e-mail: seblo@volny.cz

Vydavatel / Publisher: MEDIPRAX CB s. r. o.

Husova 43, 370 05 České Budějovice

tel.: +420 385 310 382

tel./fax: +420 385 310 396

e-mail: mediprax@mediprax.cz

Inzerce zasílejte na adresu vydavatele. Vydavatel neručí za kvalitu a účinnost jakéhokoli výrobku nebo služby nabízených v reklamě nebo jiném materiálu komerční povahy. / **Advertising should be sent to the publisher.** Publisher does not guarantee the quality and efficacy of any product or services offered in advertisements or any other material of commercial nature.

Předplatné / Subscription: Mediprax CB s.r.o.

POKYNY PRO AUTORY

Redakce přijímá příspěvky odpovídající odbornému profilu časopisu. V časopise jsou zveřejňovány původní práce, kazuistiky, souborné referáty či krátké zprávy, které jsou tříděny do následujících rubrik: Koncepce – řízení – organizace, Vzdělávání – zkušenosti, Odborné téma lékařské, Etika – psychologie – právo, Diskuse – polemika – názory, Resuscitace – zpravodaj České resuscitační rady, Informační servis.

Zasláním příspěvku autor automaticky přijímá následující podmínky:

1. zasláný příspěvek musí být určen výhradně pro časopis Urgentní medicína (UM) a pokud jej časopis přijme, nesmí být poskytnut k otištění v jiném periodiku,
2. uveřejněný text se stává majetkem UM a přetisknout jej celý nebo jeho část přesahující rozsah abstraktu lze jen se souhlasem vydavatele.

Autor nese plnou zodpovědnost za původnost práce, za její věcnou i formální správnost. U překladů textů ze zahraničí je třeba dodat souhlas autora; v případě, že byl článek publikován, souhlas autora i nakladatele. Příspěvek musí splňovat etické normy (anonymita pacientů, dodržení principů Helsinské deklarace u klinických výzkumů, skrytá reklama apod.).

Příspěvky procházejí recenzním řízením, které je oboustranně anonymní. Recenzovány jsou příspěvky do rubrik: Koncepce, řízení, organizace – Vzdělávání, zkušenosti – Odborné téma lékařské – Etika, psychologie, právo. Práce jsou posuzovány po stránce obsahové i formální. Na základě připomínek recenzentů může být text vrácen autorům k doplnění či přepracování nebo může být zcela odmítnut. V případě odmítnutí příspěvku nebude zasláný příspěvek vrácen. Redakce si vyhrazuje právo provádět drobné jazykové a stylistické úpravy rukopisu.

Náležitosti rukopisu

- Příspěvky musí být psané v českém, slovenském nebo anglickém jazyce.
- Text ve formátu .doc, .docx, .odt; písmo Times New Roman, velikost 12, řádkování jednoduché, styl normální, zarovnání vlevo, nesmí obsahovat tiskové efekty, nepoužívat barevná či podtržená písmena, stránky nečíslovat.
- Obrazová dokumentace musí být dodána samostatně v elektronické podobě (.jpg, .gif, .tif, .bmp, .eps, .ai, .cdr – rozlišení 300 DPI, písmo převedeno do křivek) nebo jako fotografie, diapositivy či tištěná předloha. Grafy je nutné zpracovat pro jednobarevný tisk.
- Pod názvem příspěvku jsou uvedeni autoři a jejich pracoviště včetně

MODELOVÁNÍ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU – ŘÍZENÍ A MONITORACE HEMODYNAMICKÝCH PARAMETRŮ

NADĚJE HAVLÍČKOVÁ¹, JAN HAVLÍK¹

¹ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická

Abstrakt

Kardiovaskulární systém je životně důležitou orgánovou soustavou zajišťující perfuzi tkání a orgánů, do kterých dodává kyslík a živiny a odvádí z nich zplodiny metabolismu. Onemocnění kardiovaskulárního systému patří mezi nejčastější příčiny úmrtí a jsou jednou z nejvíce se vyskytujících zdravotních komplikací populace. Lepší porozumění zákonitostem chování kardiovaskulárního systému, zejména vztahům mezi jednotlivými hemodynamickými parametry, může přispět k zefektivnění diagnostiky i léčby kardiovaskulárních chorob. Modelování kardiovaskulárního systému je jedním z prostředků k dosažení tohoto cíle. Na modelech kardiovaskulárního systému lze provádět měření, která by byla v klinické praxi invazivními či dokonce destruktivními, navozovat různé patologické stavy systému apod., a to vše bez nutnosti zátěže pacienta. Jednou z podmínek užítelnosti modelů je adekvátní možnost jejich řízení, monitorace a analýzy. Tento článek se zabývá problematikou modelování kardiovaskulárního systému, zejména pak právě řízením a monitorací hemodynamických parametrů modelů kardiovaskulárního systému. V článku je popsán systém vytvořený pro monitoraci a analýzu hemodynamických parametrů mechanického modelu kardiovaskulárního systému a pro jeho komplexní řízení. Systém mimo jiné umožňuje telemetrický přenos vitálních parametrů z reálného kardiovaskulárního systému na mechanický model, který tak adaptivně mění své chování na základě analýzy vitálních funkcí monitorované osoby. Článek popisuje též současně vyvinutý matematický model kardiovaskulárního systému vč. způsobu jeho řízení a monitorace.

Klíčová slova: Kardiovaskulární systém – hemodynamika – hemodynamické parametry – modelování – model kardiovaskulárního systému

Abstract

Modelling of the cardiovascular system – control and monitoring of hemodynamic parameters

The cardiovascular system is a vitally important system of organs providing tissue and organ perfusion. The system delivers oxygen and nutrients to tissues and organs, and drains metabolic waste products from them. Cardiovascular diseases rank among the most common causes of death and they are also one of the most commonly occurring health issues of the population in general. A better understanding of the cardiovascular system behaviour principles (in particular an understanding of the relationship between haemodynamic parameters) can contribute to an improvement in the efficient diagnosis and treatment of cardiovascular diseases. A modelling of the cardiovascular system is one of the means of achieving this aim. Using models of the cardiovascular system, measurements that would otherwise be invasive or even destructive in clinical practices can be performed, various pathological conditions of the system can be introduced, and so on. And all this without having to overload a patient with stress. An adequate ability to control, monitor and analyse a model is one of the conditions of the usefulness of models. This article deals with the modelling of the cardiovascular system, especially with controlling and monitoring the haemodynamic parameters of cardiovascular system models. The article describes a system designed for monitoring and analysing the haemodynamic parameters of a mechanical model of the cardiovascular system and for complex control of the model. In addition to that, the system enables the telemetry transmission of vital parameters of a real cardiovascular system to the mechanical model that adaptively changes its behaviour based on an analysis of the monitored individual's vital signs. The article also describes a simultaneously developed mathematical model of the cardiovascular system (incl. a description of its controlling and monitoring).

Key words: Cardiovascular system – haemodynamics – haemodynamic parameters – modelling – model of the cardiovascular system

ÚVOD

Kardiovaskulární systém, životně důležitou orgánovou soustavu zajišťující perfuzi jednotlivých tkání a orgánů, lze z anatomického a mechanického hlediska rozdělit na dvě základní části – část pohonnou (srdce) a část rozvodnou

(cévní systém). Základními ukazateli stavu kardiovaskulárního systému jsou srdeční frekvence (HR), tepový objem (SV), ejekční frakce (EF), srdeční výdej (CO), krevní tlak (BP), cévní rezistence (R, hydrodynamický odpor cév toku krve), compliance (C, objemová poddajnost cév při změně tlaku krve) a inertance (L) popisující setrvačnost toku krve. [1, 2]

K pochopení vztahů mezi jednotlivými hemodynamickými parametry, jejich vzájemného ovlivňování a k simulaci různých patologií kardiiovaskulárního systému napomáhají modely kardiiovaskulárního systému. Provádění experimentů na biologických systémech je složitou etickou otázkou, nese svá rizika a omezení. Modelování v této oblasti, ať pro výzkumné nebo edukativní účely, má proto svoji opodstatněnou úlohu.

Možností, jak modelovat kardiiovaskulární systém, je celá řada. Existují fyzické, matematické, konceptuální, statistické, logické, grafické a další modely kardiiovaskulárního systému. [3] Dva základní a zcela odlišné přístupy modelování kardiiovaskulárního systému – mechanický (fyzický) a matematický (počítačový) – jsou popsány níže.

Mechanický způsob modelování kardiiovaskulárního systému má své výhody i nevýhody. Výhodou je například demonstrativnost (názornost) těchto modelů a jejich využitelnost pro vývoj a testování biologických implantátů. Mezi nevýhody mechanického modelování patří materiálová náročnost a obtížnější modifikovatelnost v porovnání s matematickými modely. Mechanické modely si zpravidla zachovávají větší míru stochastičnosti (náhodnosti) oproti základním matematickým modelům.

Velmi rozšířené matematické modelování je založeno na popisu vlastností systému a jejich vzájemných vztahů matematickými rovnicemi. Matematický popis je vždy pouze aproximací fyzikální reality. Matematické modely se dělí na dvě hlavní kategorie, modely s koncentrovanými (soustředěnými) a distribuovanými (rozloženými) parametry. [3, 4]

REALIZOVANÉ MODELY KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

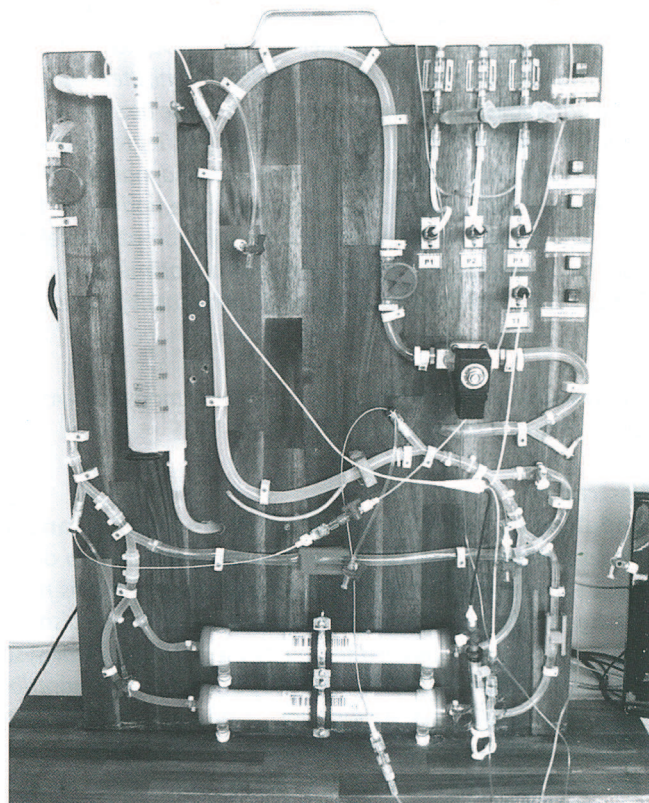
Mechanický model kardiiovaskulárního systému popsaný níže slouží zejména k edukaci budoucích biomedicínských inženýrů. Stěžejní částí celého systému je centrální jednotka umožňující řízení, monitoraci a analýzu vybraných hemodynamických parametrů mechanického modelu. Dále popsaný matematický model kardiiovaskulárního systému je inspirován mechanickým prototypem a lze na něm tak testovat úpravy konfigurace mechanického prototypu před jejich fyzickou realizací. Díky současné existenci obou modelů, mechanického i matematického, je možno též porovnávat různé modelovací metody.

Mechanický model kardiiovaskulárního systému

Mechanický model kardiiovaskulárního systému je znázorněn na obr. 1. Model se skládá ze soustavy hadic (s definovanými parametry rezistence (R), compliance (C) a inertance (L)) tvořících arteriální a venózní řečiště, hemodialyzačních filtrů reprezentujících kapilární část řečiště, membránového čerpadla zastávajícího funkci srdce, elektro-magnetických ventilů jakožto chlopní a dalších hydraulických prvků. Kapalným médiem kolujícím sousta-

vou je čistá voda ohřívána na teplotu lidského těla. Model simuluje proudění kapaliny jednotlivými částmi velkého krevního oběhu tak, aby bylo obdobné proudění krve ve fyziologickém krevním oběhu. Na modelu lze měřit „krevní“ tlaky (BP) klinicky používanými katétry pro invazivní měření krevního tlaku. Dále model umožňuje měření průtoku, resp. minutového („srdečního“) výdeje (CO), různými klinicky používanými metodami (termodilucí, Dopplerovskou echografií, popř. barvivovou dilucí). [5, 6]

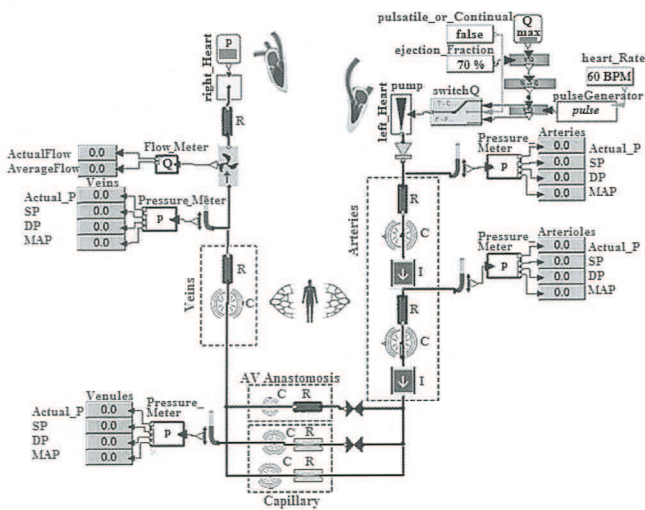
Obr. 1. Mechanický model kardiiovaskulárního systému



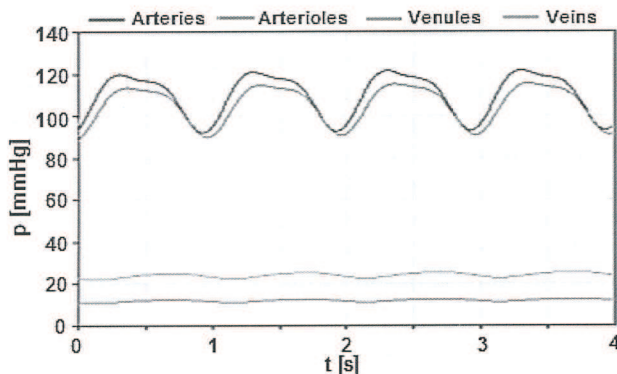
Matematický model kardiiovaskulárního systému

Vyvinutý matematický model kardiiovaskulárního systému (viz obr. 2) je modelem s koncentrovanými parametry (0D). Model je implementován v deklarativním kauzálním modelovacím jazyku Modelica. Model se opírá o analogie mezi hydrodynamickou a elektrickou doménou. Jednotlivé části řečiště jsou reprezentovány sériovou kombinací prvků rezistence, compliance a inertance (v elektrické doméně odporu, kapacity a indukčnosti). Pulsatilní tok obdobný fyziologické pulsní vlně je realizován pomocí skládání harmonických vlnění. Příklad časových průběhů tlaků v jednotlivých částech řečiště je zachycen na obr. 3.

Obr. 2. Matematický model kardiovaskulárního systému



Obr. 3. Příklad časových průběhů tlaků v jednotlivých částech řečiště



ŘÍZENÍ A MONITORACE HEMODYNAMICKÝCH PARAMETRŮ MODELŮ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

Řízení a monitorace parametrů modelů je zcela klíčovou částí modelování. Možnost modifikace parametrů modelů, možnost sledování tím navozených změn a schopnost zpětné interpretace výsledků simulací je podmínkou užitelnosti modelů. Různé metody modelování často vyžadují odlišný přístup k problematice řízení a monitorace. Řešení této problematiky pro výše popsaný mechanický a matematický model kardiovaskulárního systému je probráno v následujícím textu.

Řízení a monitorace hemodynamických parametrů mechanického modelu kardiovaskulárního systému

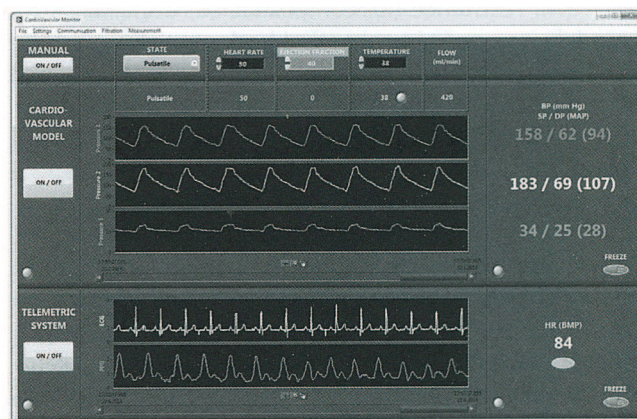
Řízení a monitorace hemodynamických parametrů mechanického modelu kardiovaskulárního systému jsou řešeny na více úrovních. Rezistence (R), compliance (C) a inertance (L) jednotlivých částí řečiště je definována samotnými konstrukčními prvky systému (parametry použitých hadic), lze je tedy ovlivňovat pouze mechanickým zásahem do komponent modelu. Řízení ostatních hemodynamických

parametrů a jejich monitoraci zprostředkovává vyvinutý kardiovaskulární monitor komunikující s řídicí elektronikou mechanického modelu kardiovaskulárního systému.

Kardiovaskulární monitor (dále jen monitor) je virtuálním přístrojem vyvinutým v grafickém programovacím prostředí LabVIEW spuštěným na běžném osobním počítači. Monitor slouží jako hlavní řídicí a monitorovací jednotka mechanického modelu kardiovaskulárního systému a také jako monitorovací jednotka zařízení pro telemetrické sledování vitálních funkcí monitorované osoby. Mechanický model může být řízen manuálně nebo automaticky (na základě analyzovaných vitálních signálů sledované osoby). Kardiovaskulární monitor umožňuje v reálném čase sledovat, zobrazovat a analyzovat vybrané hemodynamické parametry, např. provádět analýzu srdeční frekvence (HR) z elektrokardiogramu, analýzu systolických, diastolických a středních arteriálních tlaků (SP, DP a MAP) v různých místech krevního řečiště, analyzovat srdeční výdej (CO) a tepový objem (SV). Dále poskytuje funkci automatizovaného měření srdečního výdeje (CO) klinicky používanou termidiluční metodou.

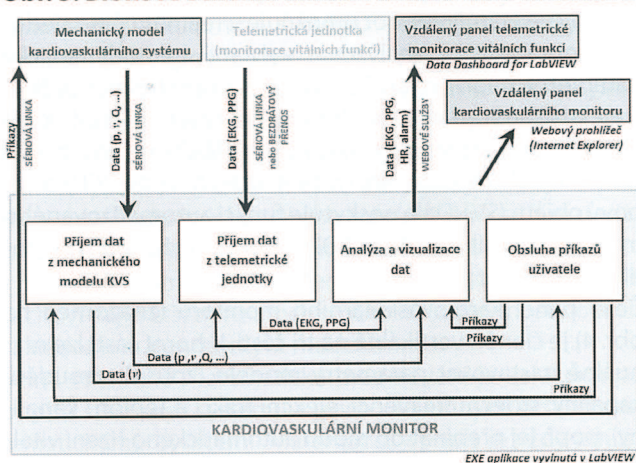
Čelní panel kardiovaskulárního monitoru (znázorněn na obr. 4) je členěn vertikálně na tři části. V horní části lze manuálně nastavovat parametry modelu (způsob proudění kapaliny, srdeční frekvenci, ejekční frakci a teplotu kapaliny), popř. jej přepínat do módu automatického řízení vitálními parametry sledované osoby. Ve střední části se zobrazují informace o stavu modelu (srdeční frekvence, ejekční frakce, časové průběhy tlaků, systolické, diastolické a střední arteriální tlaky, okamžitý průtok či střední hodnota průtoku (odpovídající srdečnímu výdeji), apod.). Dolní část podává informaci o vybraných vitálních funkcích telemetricky sledované osoby (elektrokardiogram, časový průběh periferní pulsni vlny a srdeční frekvenci). Monitor disponuje vzdálenými panely pro řízení a monitoraci z přenosných zařízení typu tablet či chytrý telefon, popř. z webového prohlížeče.

Obr. 4. Čelní panel kardiovaskulárního monitoru



Pro účely řízení, monitorace a synchronizace více zařízení (zde modelu a telemetrické jednotky) v reálném čase byla vyvinuta programová struktura umožňující efektivní časovou synchronizaci různě rychlých a výpočetně náročných dějů s různými prioritami. Struktura je založena na distribuci jednotlivých úloh do paralelních asynchronně vykonávaných vláken (viz obr. 5) komunikujících pomocí nástrojů pro synchronizaci procesů. Tyto a další použité programovací techniky podporují modulárnost, flexibilitu a adaptibilitu celého systému tak, aby se mohl stát prototypem pro další aplikace podobného typu.

Obr. 5. Blokové schéma kardiovaskulárního monitoru



Řízení a monitorace hemodynamických parametrů matematického modelu kardiovaskulárního systému

Řízení a monitorace hemodynamických parametrů matematického modelu kardiovaskulárního systému se odehrává výhradně na matematické úrovni prostřednictvím matematických rovnic (změnou jejich parametrů a matematickou analýzou signálů) bez nutnosti použití fyzických senzorů, analogově-digitálních převodníků, řídicí elektroniky apod. U vyvinutého matematického modelu lze tímto způsobem řídit srdeční frekvenci (HR), ejekční frakci srdce (EF) a parametry jednotlivých částí řečiště, jako jsou cévní rezistence (R), compliance (C) a inertance (L). V modelu jsou počítány okamžité hodnoty tlaků a systolické, diastolické a střední arteriální tlaky (SP, DP a MAP), okamžité hodnoty průtoku a střední hodnoty průtoku (odpovídající srdečnímu výdeji (CO)) v různých částech řečiště.

ZÁVĚR

Modelování kardiovaskulárního systému hraje důležitou roli jak v klinickém výzkumu, tak v edukaci odborníků a studentů. V článku byla probrána a řešena problematika řízení a monitorace hemodynamických parametrů modelů kardiovaskulárních systémů. Byl popsán systém vyvinutý pro monitoraci a analýzu hemodynamických parametrů mechanického modelu kardiovaskulárního systému a pro

jeho komplexní řízení. Byl též popsán současně vyvinutý matematický model kardiovaskulárního systému založený na analogiích mezi hydrodynamickou a elektrickou doménou. Oba modely kardiovaskulárního systému nachází využití při simulaci proudění krve jednotlivými částmi velkého krevního oběhu a při analýze hemodynamických parametrů za navozených stavů systému. Vyvinutý systém pro řízení a monitoraci mechanického modelu kardiovaskulárního systému navíc umožňuje řízení modelu na základě vitálních funkcí telemetricky sledované osoby.

Literatura

1. SILBERNAGL, S. – DESPOPOULOS, A. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd. Praha : Grada, 2004. 448 s. ISBN: 80-247-0630-x.
2. WESTERHOF, N. - STERGIOPULOS, N. - NOBLE, M. *Snapshots of Hemodynamics*. 2. vyd. New York : Springer Science + Business Media, 2010. 200 s. ISBN 978-1-4419-6362-8.
3. COBELLI, C. – CARSON, E. *Introduction to modeling in physiology and medicine*. Academic Press series in biomedical engineering. Boston : Academic Press, 2008. 324 s. ISBN 9780121602406.
4. SHI, Y. – LAWFOR, P. – HOSE, R. *Review of Zero-D and 1-D Models of Blood Flow in the Cardiovascular System*. *BioMedical Engineering OnLine*. [Online] 2011. [Citace: 01. 03. 2014.] Dostupné z: <<http://www.biomedical-engineering-online.com/content/10/1/33>>. DOI: 10.1186/1475-925X-10-33.
5. LOŽEK, M. – HAVLÍČKOVÁ, N. – HAVLÍK, J. *Adaptive Mechanical Model of Cardiovascular System In: 19th International Conference on Applied Electronics 2014*. Pilsen: University of West Bohemia, 2014, . ISSN 1803-7232. ISBN 978-80-261-0276-2.
6. LOŽEK, M. – HAVLÍK, J. *Mechanický model kardiovaskulárního systému*. *Zborník konferencie Trendy v biomedicínskom inžinierstve 2013*. Košice : Technical University of Kosice, 2013. ISBN 978-80-8086-208-4.

Ing. Naděje Havlíčková

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Technická 2
166 27 Praha 6 – Dejvice
e-mail: havlinad@fel.cvut.cz

Příspěvek došel do redakce 6. prosince 2015, po recenzním řízení přijat k tisku 28. prosince 2015.