

VÝUKOVÝ WEBOVÝ SIMULÁTOR KREVNIHO OBĚHU

Jiří Kofránek, Marek Mateják, Filip Ježek, Pavol Privitzer, Jan Šilar

Anotace

Pro vysvětlování problematiky regulace minutového objemu srdečního a venózního návratu je velmi vhodné využívat simulační hry s modelem spustitelným v internetovém prohlížeči. Vytvořili jsme proto výukovou aplikaci využívající námi vyvinutou technologii tvorby webových simulátorů o které jsme referovali na minulém MEDSOFTu. Jejím základem je scénář výukového programu využívající multimediální simulační hry v internetovém prohlížeči. Modely byly implementovány v jazyce Modelica. Grafické animační komponenty byly vytvářeny v prostředí Microsoft Expression Blend. Modely v jazyce Modelica byly přeloženy do jazyka C# pomocí překladače Open Modelica a námi vyvinutého generátoru kódu do jazyka C#. Model byl propojen s animačními komponenty a s numerickým řešičem algebrodiferenciálních rovnic pomocí námi vyvinutého Frameworku. Výsledkem je aplikace v prostředí Silverlight 4, spustitelná v internetovém prohlížeči.

Klíčová slova:

Fyziologie, internet, krevní oběh, Modelica Silverlight, výukové simulátory, webové simulátory

1. Úvod

Pomocí her se simulačním modelem je možné vysvětlit řadu dynamických souvislostí, které se pouze pomocí textu a obrázků vysvětlují obtížně. Jedním z klinicko fyziologických témat, jejichž správné pochopení je pro lékaře důležité, je klinická fyziologie krevního oběhu. Při jejím vysvětlování je využití her se simulačním modelem účinnou výukovou pomůckou.

2. Méně je někdy více

Z didaktického hlediska je nutné při výkladu vždy postupovat od jednoduchého ke složitějšímu. Podle tohoto principu je proto vhodné při výkladu využívat nejprve jednodušší agregované modely (s několika proměnnými), s jejich pomocí vysvětlit základní principy, a poté model (a popisovanou fyziologickou realitu) postupně zesložitovat.

Výukové simulační hry, které jsou součástí našeho internetového atlasu fyziologie a patofyziologie, nemusí mít vždy podklad ve velmi složitém a výpočetně náročném modelu se stovkami proměnných – ***i jednoduchý interaktivní model může být dobrým pomocníkem pro vysvětlení patogenetických řetězců rozvoje nejrůznějších patologických stavů.***

Tak například při výkladu fyziologie a patofyziologie oběhu není vhodné začínat simulační hrou s modelem, jehož složitost je zhruba na úrovni modelu HumMod (<http://www.hummod.org>) se stovkami proměnných.

Je vhodnější zpočátku zvolit jednoduchý agregovaný model, na němž je možné demonstrovat základní principy struktury a chování krevního oběhu a možnosti regulačního ovlivnění. Jako příklad uvádíme nejjednodušší **model cirkulačního systému s rozpojenými regulačními vazbami**, který je jako součást našeho atlasu, volně přístupný na adrese: <http://www.physiome.cz/atlas/cirkulace/05/SimpleUncontrolledSimulation.swf>.

Jeho ovládání (Obrázek 1) je velmi jednoduché a slouží především k ujasnění základních vztahů mezi jednotlivými regulovanými proměnnými oběhového systému, tj. tlaky, objemy a průtoky v malém a velkém oběhu

- systémový arteriální tlak (**PAS**) a celkový objem krve systémových v arteriích (**VAS**);
- plicní arteriální tlak (**PAP**) a celkový objem krve v plicních artériích (**VAP**);
- systémový venózní tlak (**PVS**) a celkový objem krve v systémových artériích (**VAS**);
- plicní venózní tlak (**PVP**) a celkový objem krve v plicních žilách (**VVS**)
- minutový objem srdeční **Q** (uvažujeme rovnovážný stav, kdy průtoky všemi částmi krevního řečiště jsou vyrovnané a rovnají se minutovému objemu srdečnímu;

a základními veličinami, které tlaky, objemy a průtoky ovlivňují, a samy jsou ale neurohumorálně řízené>

Jsou to:

- periferní odpory (systémový **RSyst** a plicní **RPulm**),
- čerpací funkce pravé **KR** a levé **KL** komory – v modelu realizovaná tím nejjednodušším způsobem jako sklon Starlingovy křivky (vyjadřující závislost minutového objemu srdečního **Q** na plicních tlacích v pravé **PVS** a levé síni **PVP**),
- poddajnosti systémových artérií **CAS**, plicních artérií **CAP**, poddajnosti systémových žil **CVS** a plicních žil **CVP** žil (vyjadřující závislost tlaku v na náplni cév),
- celkový objem cirkulující krve **VB**;
- celkový reziduální objem **VO** (objem krve, který nenapíná cévy) - celkový objem krve se rovná součtu objemů v jednotlivých částech krevního řečiště a tohoto reziduálního objemu).

Organismus tyto veličiny reguluje (rezistence je řízena nervovou a humorální regulací, změna frekvence a inotropie myokardu mění sklon Starlingovy křivky, venózní tonus velkých žil mění jejich poddajnost a objem cirkulující krve je ovlivňován především činností ledvin, renin-angiotenzinovou regulací aj.). V agregovaném modelu jsou však tyto veličiny vstupními (tj. neregulovanými) veličinami – cílem simulační hry s modelem je ozřejmit si význam těchto veličin pro řízení tlaků, minutového objemu a distribuci objemu krve mezi jednotlivými částmi krevního řečiště.

V agregovaném modelu v rovnovážném stavu platí

• **Ohmův zákon:**

$$Q=(PAS-PVS)/Rsyst;$$

$$Q=(PAP-PVP)/RPulm;$$

- **Starlingova křivka** aproximovaná lineární závislostí minutového objemu srdečního Q na plnicích tlacích pravého a levého srdce:

$$Q=KR*PVS;$$

$$Q=KL*PVP;$$

- **Poddajnost cév** vzhledem k náplni:

$$VAS=CAS*PAS;$$

$$VVS=CVS*PVS;$$

$$VVP=CVP*PVP;$$

$$VAP=CAP*PAP;$$

- **Celkové množství krve** je **VB** jako součet reziduálního objemu krve **VO** a objemů jednotlivých částí krevního řečiště:

$$VB=VO+VAS+VVS+VAP+VVP;$$

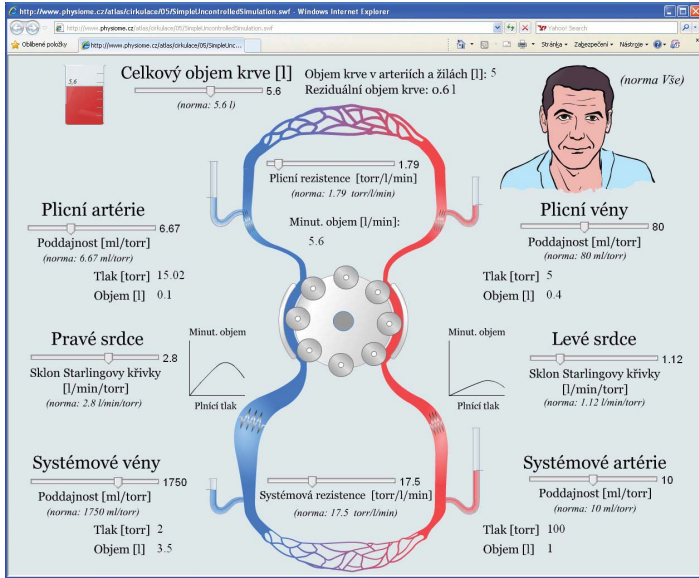
Simulační hrou s tímto jednoduchým modelem oběhu je možné studentům názorně vysvětlit jakým způsobem se uplatňuje regulace základních veličin oběhového systému v patogeneze různých poruch oběhového systému.

Ukažme si nyní, jak s tímto nejjednodušším modelem je možné realizovat **simulační hru rozvoje pravostranného cirkulačního selhání**.

Stiskem tlačítka „norma Vše“ uvedeme model do výchozího normálního fyziologického stavu (Obrázek 1). Pak šoupátkem snížíme sklon Starlingovy křivky v pravém srdci – modelujeme tím snížení stažlivosti pravého srdce při akutním pravostranném oběhovém selhání (Obrázek 2). Minutový objem srdeční poklesne na hodnotu 3,29 l/min, střední systémový arteriální tlak klesne na 59,86 torr.

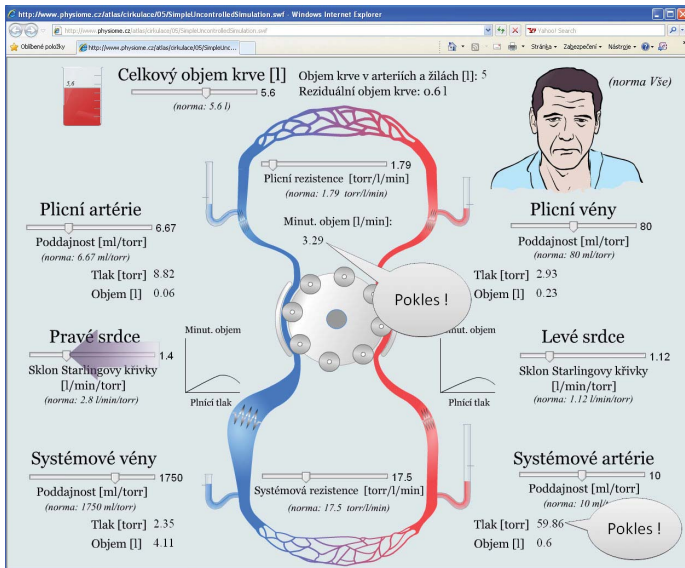
Sympaticus reaguje na pokles krevního tlaku výraznou vazokonstrikcí především ve splanchnické oblasti, s účelem zachovat perfúzi koronárních cév. Posunem šoupátka doprava proto zvýšíme periferní systémovou rezistenci na 28.36 torr/l/min (Obrázek 3) – střední arteriální tlak stoupne na hodnotu 89, 18 torr, minutový objem srdeční však dále poklesne z 3,29 l/min na 3,07 l/min!

Sympaticus nemá ovšem vliv jen na vazokonstrikci arteriol a následné zvýšení periferního odporu. Zvyšuje též tonus velkých žil, což se projeví tím, že při stejné náplni krve v nich stoupne tlak – zvýšení venózního tonu se dá modelovat snížením poddajnosti systémových vén (Obrázek 4). Snížení poddajnosti z 1750 ml/torr na hodnotu 979 ml/torr zvedne tlak ve velkých systémových žilách, a tím i plnicí tlak v pravé síni, což vede ke zvýšení minutového objemu srdečního (zároveň ale zvýšení venózního tlaku vede k vyšší filtraci v kapilárách a ke vzniku edémů). Střední arteriální tlak stoupne a k jejímu udržení na normální hodnotě 100 torr není nutno udržovat rezistenci v systémovém řečišti na příliš vysoké hodnotě. Šoupátkem ji proto snížíme z hodnoty 28,36 torr/l/



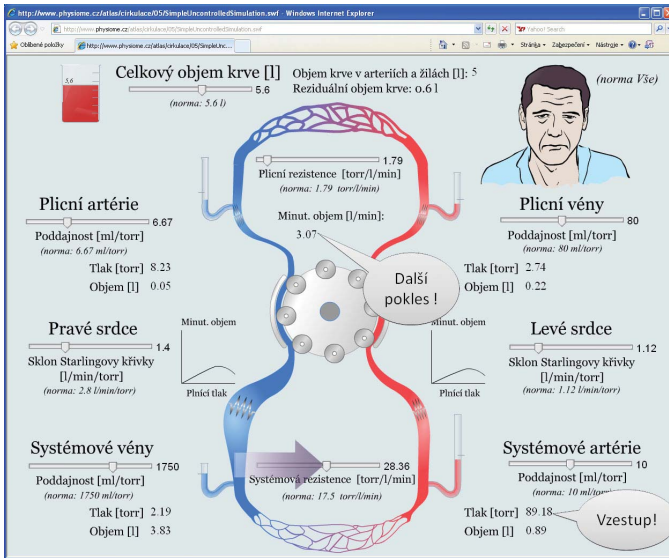
A

Obrázek 1 - Využití jednoduchého modelu (neřízeného) cirkulačního systému pro vysvětlení patogeneze pravostranného cirkulačního selhání. A - počáteční stav.

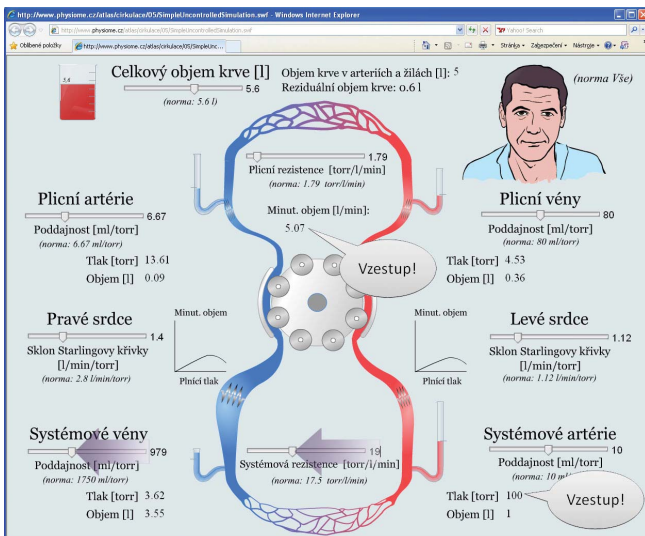


B

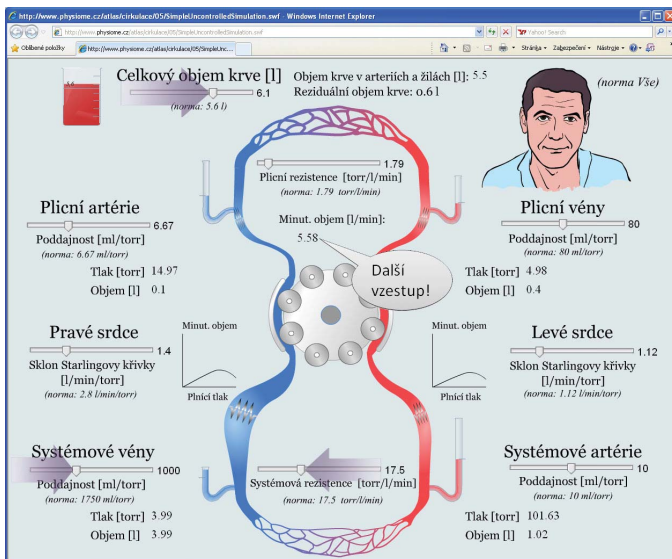
Obrázek 2 - Využití jednoduchého modelu (neřízeného) cirkulačního systému pro vysvětlení patogeneze pravostranného cirkulačního selhání. B - snížení kontraktility pravého srdce.



Obrázek 3 – Využití jednoduchého modelu (neřízeného) cirkulačního systému pro vysvětlení patogeneze pravostranného cirkulačního selhání. C – periferní vazokonstrikce.

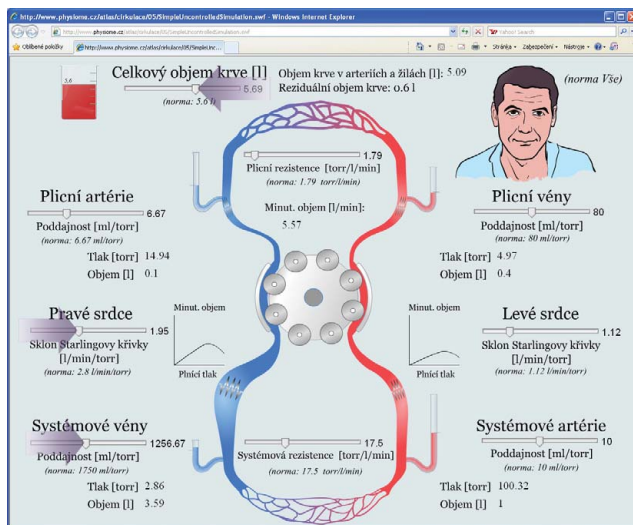


Obrázek 4 – Využití jednoduchého modelu (neřízeného) cirkulačního systému pro vysvětlení patogeneze pravostranného cirkulačního selhání. D – venokonstrikce velkých žil.



E

Obrázek 5 – Využití jednoduchého modelu (neřízeného) cirkulačního systému pro vysvětlení patogeneze pravostranného cirkulačního selhání. E – retence objemu extracelulární tekutiny



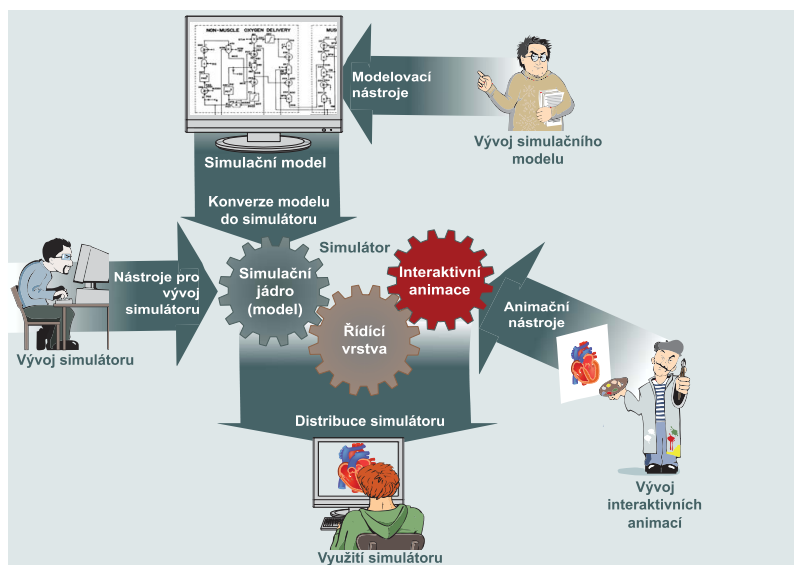
F

Obrázek 6 – Využití jednoduchého modelu (neřízeného) cirkulačního systému pro vysvětlení patogeneze pravostranného cirkulačního selhání. F – podání kardiotonik a diuretik.

min na hodnotu 19 torr/l/min. Minutový objem srdeční také stoupl z 3,29 l/min k hodnotě 5,07 l/min.

V simulační hře lze pokračovat dále tím, že ukážeme význam zvýšení celkového objemu krve, který nastane v důsledku aktivace renin-angiotenzin-aldosteronové smyčky (Obrázek 5). Pokud šoupátkem zvýšíme objem cirkulující krve o 500 ml tj. z 5,6 l na 6,1, je možné na modelu ukázat, že k udržení normálního minutového objemu srdečního a normálního středního arteriálního tlaku je možno dále snížit periferní rezistenci až na normu a zároveň snížit venokonstrikci (tj. zvýšit poddajnost velkých žil – postačí ji udržovat na 100 ml/torr).

V simulačním experimentu lze dále demonstrovat i vliv terapie: léčení kardiotoniky zobrazíme zvýšením sklonu Starlingovy křivky a podání diuretik simulujeme snížením zvýšeného objemu cirkulující krve – důsledkem je snížení



Obrázek 7 – Pracovní postup při tvorbě interaktivních simulátorů. Simulační model (tj. matematický model implementovaný na počítači) je vytvářen, testován a identifikován pomocí softwarových modelovacích nástrojů. Simulátor je vytvářen v softwarovém vývojovém prostředí odlišném od modelovacího prostředí, v němž byl vytvořen simulační model. Proto je zapotřebí vytvořený model přenést do simulátoru - což v praxi znamená naprogramovat simulační jádro simulátoru (tuto konverzi je možné automatizovat pomocí speciálně vytvořených konverzních programů). Součástí uživatelského rozhraní simulátoru jsou interaktivní animace, vytvářené pomocí softwarových animačních nástrojů. Interaktivní animace je pak nutné v simulátoru propojit se simulačním jádrem (animace jsou pak řízené modelem) - to je úlohou tzv. řídicí vrstvy. Vytvořený simulátor je pak distribuován uživatelům - pomocí CD ROM nebo prostřednictvím internetu. Simulátor se nainstaluje do počítače uživatele, některé simulátory jsou schopny běžet přímo v internetovém prohlížeči bez nutnosti instalace.

Technologie používané pro vývoj interaktivních simulátorů					
Platforma	Modelovací nástroje	Konverze modelu do simulátoru	Nástroje pro vývoj simulátorů	Animační nástroje	Distribuce simulátoru
Control Web	Simulink / Matlab	Automatická	vývojové prostředí Control Web, C++	Animační nástroje v prostředí Control Web, Adobe Flash	CD ROM s instalátorem nebo stažení instalačního programu z Internetu
Adobe Flash	Simulink / Matlab	Manuální	jazyk Action Script (Adobe Flash, Adobe Flash Builder)	Adobe Flash	Internetový prohlížeč (se zásuvným modulem Flash Player)
.NET	Simulink / Matlab	Automatická	Microsoft Visual Studio	Adobe Flash	Instalace do lokálního počítače z Internetu
Silverlight	Modelica	Automatická	Microsoft Visual Studio	Microsoft Expression Blend, Animate	Internetový prohlížeč (se zásuvným modulem Silverlight).

Tabulka 1 – Námi využívané technologie tvorby výukových interaktivních simulátorů.

tlaku ve velkých žilách s následným snížením otoků (Obrázek 6).

Zmíněný příklad je ukázkou toho, jak **simulační hry** i s jednoduchým modelem **přispějí k lepšímu pochopení významu uplatnění jednotlivých regulačních okruhů** v patogeneze nejrůznějších patologických stavů a v následných terapeutických zásazích.

Uvedený příklad je jednoduchý simulátor s tím nejjednodušším modelem vytvořený v prostředí Microsoft Flash (a naprogramovaný v jazyce ActionScript). Pro složitější simulátory musíme využít komplikovanější technologií.

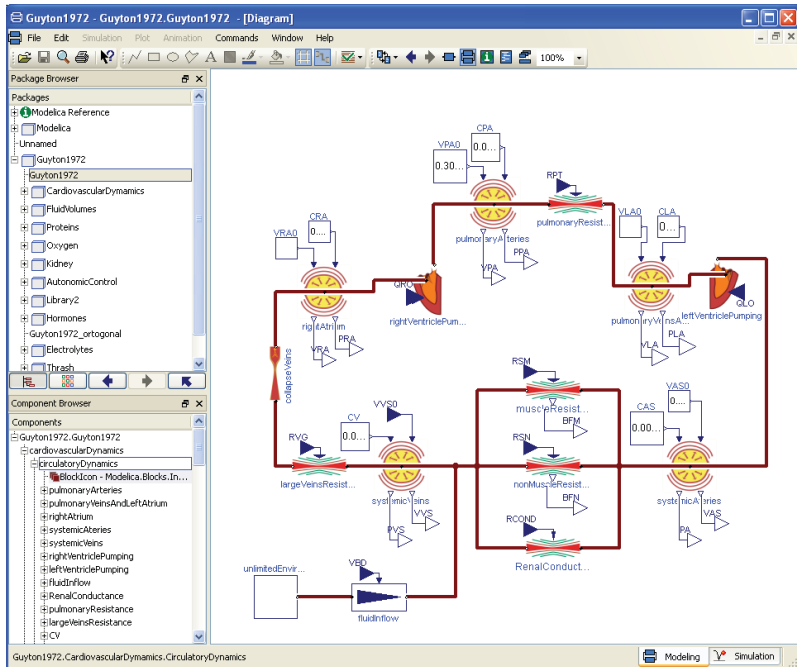
3. Od „umění“ k „průmyslu“ při tvorbě výukových simulátorů

Tvorba kvalitního výukového softwaru, který by dokázal využít potenciál, který rozvoj informačních a komunikačních technologií přinesl, dnes nestojí na pili a nadšení jednotlivců. Je to náročný a komplikovaný projekt, vyžadující **týmovou spolupráci** řady profesí – od zkušených učitelů, jejichž scénář je základem kvalitní výukové aplikace, přes systémové analytiku, kteří jsou ve spolupráci s profesionály daného oboru odpovědní za vytvoření simulačních modelů pro výukové simulační hry, výtvarníky, kteří vytvářejí vnější vizuální podobu, až po programátory, kteří celou aplikaci „sešijí“ do výsledné podoby (Obrázek 7).

Aby mezioborová spolupráce byla účinná, je zapotřebí pro každou etapu vývoje mít k dispozici řadu **specifických vývojových nástrojů a metodologií**, které práci jednotlivých členů týmu usnadní a pomohou jim překonat

Porovnání technologií pro vývoj interaktivních simulátorů		
Platforma	Výhody	Nevýhody
Simulátory na platformě Control Web	Jednoduché vytvoření uživatelského rozhraní z rozsáhlé nabídky virtuálních přístrojů. Automatické generování zdrojového programu pro simulační jádro ze Simulinku	Pracuje pouze pod operačním systémem MS Windows Příliš technický tvar uživatelského rozhraní, připomínající spíše velín průmyslového zařízení než obrázek z fyziologické učebnice. Omezený počet možných flashových animací. Nutnost distribuce s instalátorem provozního programu Control Web. Nutnost instalace na počítači klienta.
Simulátory na platformě Adobe Flash	Běží přímo v internetovém prohlížeči (s instalovaným zásuvným modulem Flash Player) na různých operačních systémech Bohaté možnosti vytváření animovaného uživatelského rozhraní.	Nutnost manuální konverze modelu ze Simulinku do jazyka ActionScript. Relativně pomalé simulační jádro (vhodné pro realativně malé modely)
Simulátory na platformě .NET	Automatické generování zdrojového programu pro simulační jádro ze Simulinku. Rychlé simulační jádro umožňuje vytváření výpočetně náročných simulátorů.	Běží pouze pod MS. Windows. Vyžaduje instalaci programu na počítači klienta (pomocí technologie ClickOnce je však možno aplikaci nainstalovat a spustit z internetového prohlížeče)
Simulátory na platformě Silverlight	Běží přímo v internetovém prohlížeči (s instalovaným zásuvným modulem pro Silverlight) na různých operačních systémech. Rychlé simulační jádro umožňuje vytváření výpočetně náročných simulátorů. Deklarativní tvorba modelů (pracující přímo s rovnicemi) v jazyce Modelica. Automatické generování zdrojového programu pro simulační jádro z Modeliky. Společné prostředí pro simulační jádro i interaktivní animace. Při vytváření interaktivních animací nástroj Animtester poskytuje rozhraní mezi výtvarníky a programátory	Silverlight není v prohlížečích zatím tak rozšířen tak jako Flash Player

Tabulka 2 – Výhody a nevýhody námi používaných technologií tvorby výukových interaktivních simulátorů.



Obrázek 8 – Připravený model cirkulačního systému pro výukový simulátor v Modelice (v prostředí Dymola).

mezioborové bariéry [3-5,7]. K vytvoření i ovládnutí těchto nástrojů je zapotřebí věnovat značné úsilí, které se ale nakonec vyplátí.

Propojením různých profesí a technologií se **tvorba výukového softwaru** stává efektivnější, pozvolna přestává být výsledkem kreativity a pracovitosti jedinců a stále více získává **rysy inženýrské konstrukční práce** [6].

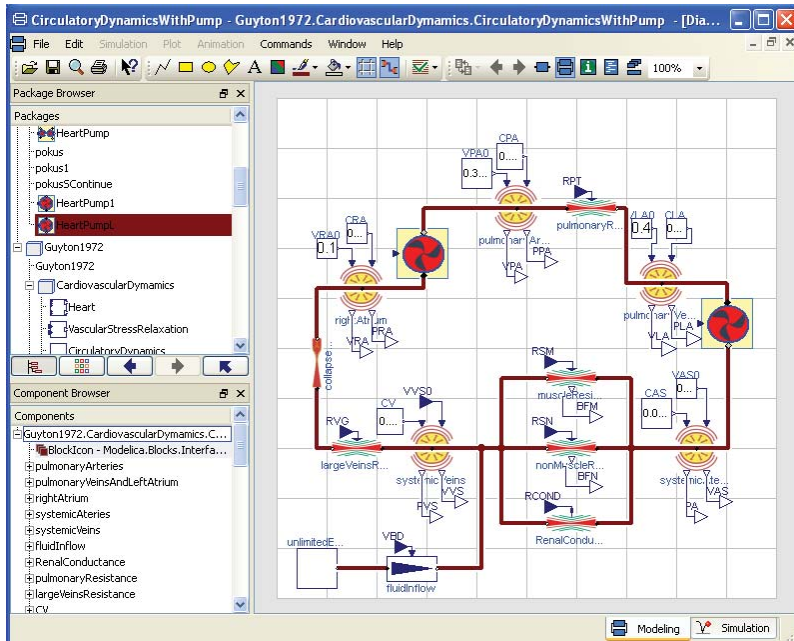
Během posledních patnácti let se využitelné technologie pro tvorbu výukových simulátorů doslova měnily pod rukama.

Objevovaly se nové technologie usnadňující tvorbu multimediálních animací, propojitelných se simulačním modelem na pozadí. Zároveň se objevily i simulační nástroje, usnadňující vytváření složitých hierarchicky organizovaných modelů.

Pro propojení jednotlivých vývojových nástrojů mezi sebou jsme si často museli vytvořit vlastní softwarové nástroje (např. pro automatizaci konverze modelů, vyvinutých v modelovacích nástrojích Simulink nebo Modelica do cílové platformy vytvářených simulátorů).

Přehled námi používaných technologií při vývoji simulátorů uvádí Tabulka 1. Porovnání výhod a nevýhod jednotlivých technologií uvádí Tabulka 2.

O našich technologiích tvorby interaktivních simulátorů podrobněji pojednává článek [4].



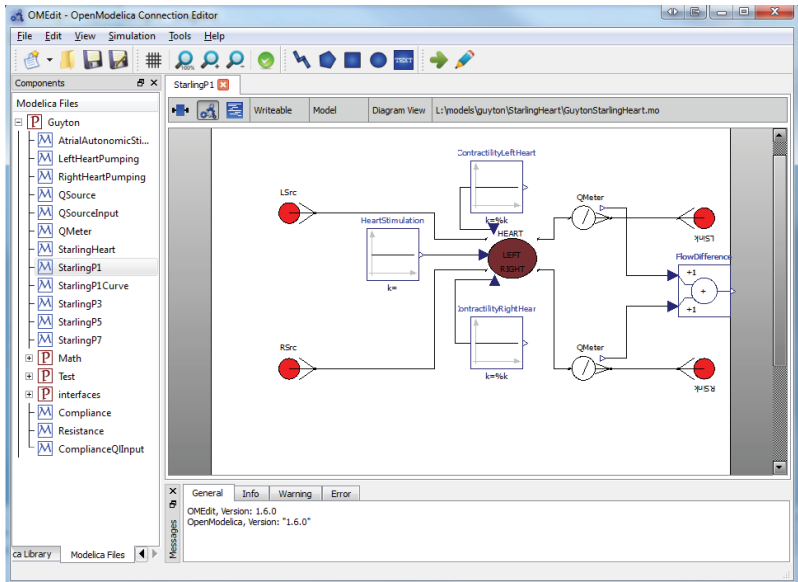
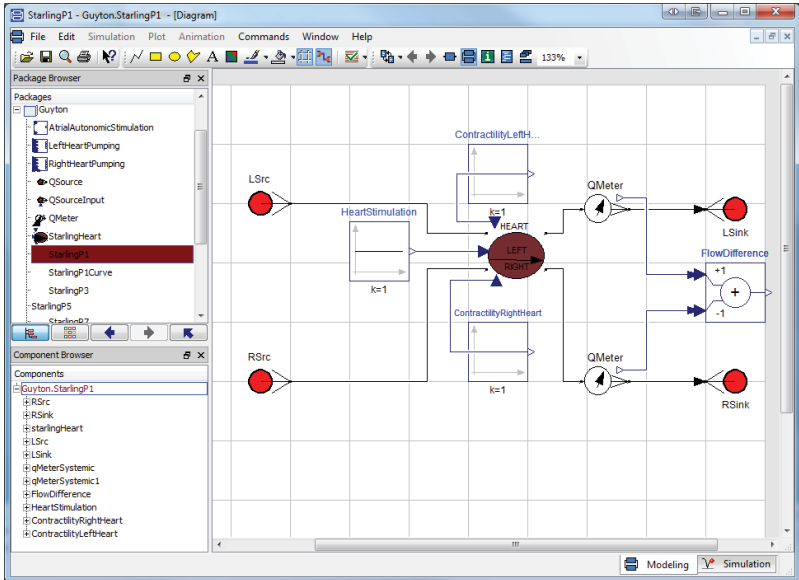
Obrázek 9 – Připravený model cirkulačního systému (kde je srdce nahrazeno čerpadly) pro výukový simulátor v Modelice (v prostředí Dymola).-

4. Od scénáře, modelu a animací k webovému simulátoru

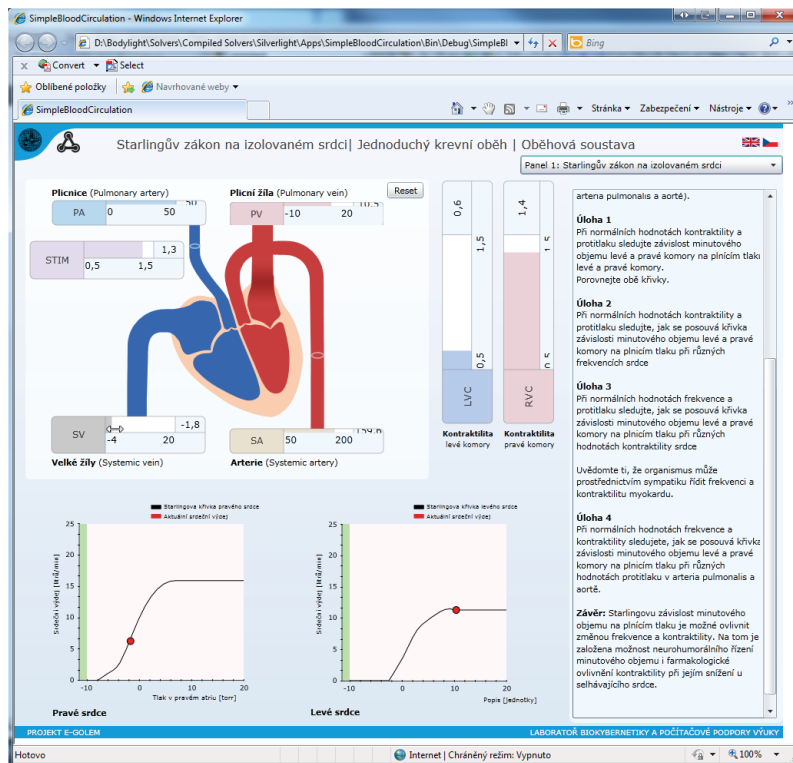
Základem každé výukové aplikace je kvalitní scénář - v daném případě chceme vytvořit výukový program, který pomocí série her studenti seznámí se základními vztahy v oběhovém systému. Každý simulátor bude provázen výkladem a každá interaktivní simulace bude mít určitý pedagogický cíl. Tak např. studenty chceme seznámit s tím, že Frank-Starlingův zákon (tj. závislost minutového objemu na plnicím tlaku) má význam pro koordinaci práce levé a pravé komory. Pak chceme pomocí simulační hry seznámit studenty s významem a řízením žilního návratu. V simulačním experimentu pak srdce nahradíme pumpou a studenti budou sledovat jak se bude měnit závislost tlaku v síni na minutovém objemu srdečním při různém periferním odporu (který bude mít za následek změnu sklonu křivky venózního návratu), změně venózního tonu či změně objemu krve (což způsobí posun křivky).

Pak chceme pomocí simulátoru předvést, že rovnovážný bod (hodnota plnicího tlaku a minutového objemu srdečního) bude na průsečíku Starlingovy křivky a křivky srdečního návratu [2].

Nakonec předvedeme jak se budou měnit obě křivky v průběhu různých patologických stavů – např. při kardiogenním, hypovolemickém, obstrukčním nebo distribučním šoku.



Obrázek 10 – Fragment modelu cirkulačního systému realizujícího Frank-Starlingův zákon. – Model byl vytvořen v prostředí Dymola (horní obrázek), pak byl přenesen do prostředí Open Modelica (dolní obrázek), kde byl přeložen, a kde byl vygenerován kód v C#.



Obrázek 11 – Panel výukového programu (propojený se simulačním modelem na pozadí) pro platformu Silverlight. .

Modely pro simulační hry vytvoříme v Modelice^[1]. Pro vývoj modelů využíváme profesionální prostředí Dymola od firmy Dassault Systems. Existují i jiná vývojová prostředí využívající jazyk Modelica, avšak zatím je prostředí Dymola nejlepší.

Odladěné modely pak překládáme v prostředí Open Modelica do jazyka C# (generátor kódu do C# jsme vytvořili v rámci Open Source Modelica Consortium (<http://www.ida.liu.se/labs/pelab/modelica/OpenSourceModelicaConsortium.htm>)). Modely v C# (kombinované s numerickým řešičem) umožní propojit model do vyvíjené aplikace na platformě Silverlight, a simulátor pak může být distribuován prostřednictvím internetu a spuštěn přímo v prostředí internetového prohlížeče.

Na Obrázku 8 a 9 jsou uvedeny připravené modely pro simulační hry v prostředí Dymola. Na Obrázku 10 je pak fragment modelu v Dymole a tentýž program v prostředí OpenModelica, který po přeložení vygeneruje program v C#. Propojením simulátoru na uživatelské rozhraní (Obrázek 11) vytvořené

v prostředí Microsoft Expression Blend umožní distribuovat simulátor prostřednictvím internetu a spouštět ho jako aplikaci přímo v internetovém prohlížeči (s nainstalovaným rozšířením Silverlight).

Uživatelské rozhraní a animace nám vytvářejí profesionální výtvarníci. Pro snadnější komunikaci výtvarníka s programátorem, implementujícím vlastní simulátor, i pro komunikaci výtvarníka s autorem návrhu výukové aplikace, jsme vytvořili pomocný softwarový nástroj **Animtester**^[4] viz Obrázek 12, s jejichž využitím mohou designéři-grafici tyto animační „loutky“ vytvářet a ladit bez nutnosti dalšího programování. Animtester se vloží jako komponenta do vývojového nástroje Microsoft Expression Blend a umožní z vytvořených animací vygenerovat vlastnosti grafického prvku ovládané zvenčí pomocí ovládacích prvků (šoupátek a tlačítek). V následně vygenerované aplikaci si jak výtvarník, tak i autor návrhu výukové aplikace (pedagog) může ověřit, jak se animovaná komponenta bude chovat.

Výtvarník je tak odstíněn od programátorských detailů aplikace. Obdobně, tvůrce návrhu výukové aplikace se nemusí věnovat detailům implementace grafického návrhu a může v komunikaci s výtvarníkem snadněji dosáhnout realizaci svých představ.

Úlohou programátora, implementujícího vlastní simulátor, je propojit vygenerovaný grafický objekt se simulačním modelem na pozadí. Takto vytvořené animační „loutky“ je možné, přes hodnoty ovládající jejich tvar, **přímo napojit na výstupy modelů a není potřeba** zvlášť přidávat **další programovou mezivrstvu pro propagaci dat**, jako tomu bylo při použití **Flashových animací**.

Použití grafických možností platformy **Silverlight** tedy více než nahrazuje původní přístup s použitím animací založených na platformě Adobe Flash. Při tvorbě animací jako vizuálního rozhraní pro simulátory proto **nepotřebujeme platformu Adobe Flash**, kterou je možno **plně nahradit novými nástroji pro tvorbu animací firmy Microsoft**.

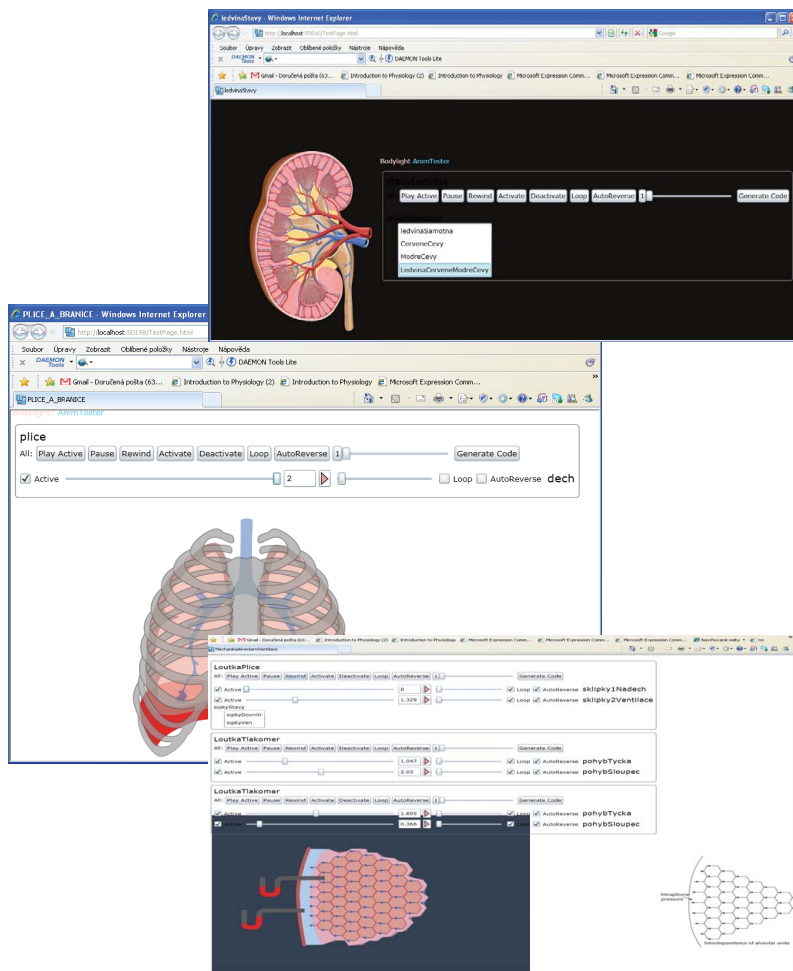
Nakonec vytvořený výukový nástroj otestujeme ve výuce. Práve testování ve výuce přinese nové podněty pro modifikaci simulátoru nebo vytvoření dalších výukových pomůcek využívajících simulační hry.

5. Závěr

Spojení Internetu, multimediálního interaktivního prostředí a simulací přináší nové možnosti pro efektivnější výukové pomůcky využívající řešení problémů ve virtuální realitě. Na druhé straně klade další nároky na přípravu výukového softwaru.

Literatura

- [1.] Fritzon, P. (2003). *Principles of object-oriented modeling and simulation with Modelica* 2.1. Wiley-IEE Press.
- [2.] Guyton, A.C., Hall J. E. *Textbook of Medical Physiology*. 11. vydání, Elsevier, Saunders, 2006.
- [3.] Kofránek, J., Kripner, T., Andrlík, M., & Mašek, J. (2003). *Creative connection between*



Obrázek 12 – Chování vytvářené grafické aplikace lze s využitím Animesteru snadno ověřovat v internetovém prohlížeči. Tak např. přepínáním stavů ve schématu ledvin se zapíná i vypíná viditelnost jednotlivých částí cévního řečiště, ve schematickém animovaném obrázku znázorňujícím mechaniku alveolů lze pomocí šoupátek a knoflíků, animaci řídit, přepínat směr šipek, řídit jejich velikost a měnit hladiny v symbolických měřičích intraalveolárního a interpleurálního tlaku, na schématu hrudníku lze šoupátky řídit pohyby bránice postavení a žebber, na animovaném schématu přenosu krevních plynů je možno měnit vizualizaci průtoku krve, toků kyslíku a oxidu uhličitého atd. Animester tak představuje vizuální rozhraní pro komunikaci výtvarníka s tvůrcem scénáře a programátorem. Scénárista se může přesvědčit, zda ilustrace, ovladatelná pomocí Animesteru, odpovídá záměrům scénáře a programátor vidí, jaké proměnné bude muset v nastavovat aby řídil chování animace.

- multimedia, simulation and software development tools in the design and development of biomedical educational simulators. Simulation Interoperability Workshop, Position papers, Volume II, paper 03F-SIW-102., (str. 677-687).*
- [4.] Kofránek, J., Mateják, M., Privitzer, P. (2010). *Web simulator creation technology. In ME-FANET report, vol. 3 (Dušek, Vladimír Mihál, Stanislav Štípek, Jarmila Potomková, Daniel Schwarz, Lenka Šnaidrová, Eds.). Institute of Biostatistics and Analysis. Masaryk University, 2010, ISSN 1004-2961, str. 52-97. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/mefanetreport3.pdf>*
- [5.] Kofránek, J., Matoušek, S., Ruzs, J., Stodulka, P., Privitzer, P., Mateják, M., Tribula M. (2011) *The Atlas of physiology and pathophysiology: web-based multimedia enabled interactive simulations. Computer Methods and Programs in Biomedicine (2011) doi:10.1016/j.cmpb.2010.12.007, práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/cmpb2011.pdf>.*
- [6.] Kofránek, J., Andrlík, M., Kripner, T., & Stodulka, P. (2005). *From Art to Industry: Development of Biomedical Simulators. The IPSI BgD Transactions on Advanced Research, 1 #2(Special Issue on the Research with Elements of Multidisciplinary, Interdisciplinary, and Transdisciplinary: The Best Paper Selection for 2005), str. 62-67. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/IPSI2005.pdf>.*
- [7.] Kofránek, J., Snášelová, H., Anh Vu, L. D., & Svačina, Š. (2001). *Multimedia simulation games in medical education. V E. J. Kerckhoffs, & M. Šnorek (Editor), Proceedings of European Simulation Multiconference, Prague 2001. (str. 995-999). Erlagen: SCS Publishing House.*

Poděkování

Práce na tvorbě výukových lékařských simulátorů je mimo jiné podporována z projektu SVV-2010-254260507 a projektem MPO FR—TI3/869.

Kontakt:

MUDr. Jiří Kofránek, CSc.

Ústav patologické fyziologie 1.LF UK a VFN

Praha, U nemocnice 5, 128 53 Praha 2

tel: +420 777-68-68-68

e-mail: kofranek@gmail.com

Mgr. Marek Mateják

Ing. Filip Ježek

MUDr. Mgr. Pavol Privitzer

Ing. Jan Šilar