

## WEBOVÉ SIMULÁTORY

Jiří Kofránek

### Anotace

Internet se dnes stává prostředím pro distribuci výukových programů včetně výukových simulátorů. Přednáška se zabývá přehledem technologií tvorby webově dostupných simulátorů. Zahrnuje i zkušenosti autora s různými technologiemi tvorby webově dostupných simulátorů.

### Klíčová slova:

*e\_Learnig, Model, Simulace, Web*

### 1. Úvod

Obdobně, jako počítače dnes již prakticky vytlačily psací stroje z kanceláří a staly se běžným kancelářským vybavením, lze očekávat, že se počítače propojené na vysokorychlostní internet v blízké budoucnosti stanou běžnou výukovou pomůckou. Zřejmě to ale nepůjde nijak závratně rychle. Jestliže textový procesor, tabulkový kalkulátor, kreslicí a prezentační program pokrývají značnou část potřeby automatizace administrativních prací, pak pro použití počítačů ve výuce je klíčovým limitujícím faktorem dostatek vhodných výukových programů.

Jejich tvorba není jednoduchá. Zdaleka nestačí jen převést skripta (případně doplněné multimediálními komponenty) do počítačem prezentovatelné podoby. Kombinace hypertextu, obrázků, zvuku, videa a interaktivních animací na jedné straně dává velké pedagogické možnosti pro názorné vysvětlení složitých problémů, na druhé straně však klade na autory výukových programů i použité technologie pro jejich tvorbu velké nároky.

V posledních letech se objevila celá plejáda výukových programů, využívajících interaktivní multimediální rozhraní pro vysvětlení složitých procesů v biomedicínských vědách ať již ve všeobecně dostupných (např. <http://www.apsarchive.org>) nebo komerčních (např. <http://interactivephysiology.com>) aplikacích. Většinou však jde o jen animace a nikoli o simulace.

### 2. Schola ludus v internetovém hávu

Staré čínské přísloví říká „*Co slyším, zapomenu, co spatřím, to si pamatuji, co dělám, tomu rozumím*“. Tuto starou čínskou moudrost potvrzují i moderní metody učení nazývané někdy jako „learning-by-doing“, kde mají velké uplatnění simulační hry. Kromě toho, simulační hry vnášejí do výuky prvek prožitku a zároveň i jistý stupeň hravé zábavy.

Rozšíření výukových multimediálních programů o simulační hry klade na tvůrce výukových aplikací a technologii tvorby další nároky, na druhé straně však výsledné možnosti interaktivních simulačních her jsou z didaktického hlediska nepoměrně větší než využití pouhých animovaných interaktivních ilustrací.

Výukové multimediální programy se simulačními komponentami nejsou jen moderní náhradou klasických učebnic. Jsou zcela novou výukovou pomůckou umožňující prostřednictvím výukových simulačních her názorně prozkoumat vykládaný problém ve virtuální realitě.

Internet, jako distribuční médium dokáže tyto nové výukové pomůcky učinit snadno dostupnými kdekoli po světě. Masové rozšíření internetu přineslo možnost snadné dostupnosti těchto moderních výukových pomůcek na pouhé kliknutí myši. Jejich vytváření však není jednoduché.

Spojení internetu, multimediálního prostředí, sloužícího jako zvukové a vizuální uživatelské rozhraní, se simulačními modely umožňuje studentům po připojení do kouzelné internetové pavučiny si prostřednictvím výukové simulační hry názorně ozřejmit dynamické vztahy mezi vykládanými pojmy.

Zapojení multimediálních výukových her do výkladu přináší zcela nové pedagogické možnosti zejména při vysvětlování složitě provázaných vztahů a pro aktivní procvičování praktických dovedností a ověřování teoretických znalostí.

Simulační hrou je možné bez rizika otestovat chování simulovaného objektu – např. zkusit přistávat virtuálním letadlem nebo, v případě lékařských simulátorů, léčit virtuálního pacienta, či testovat chování jednotlivých fyziologických subsystémů.

Právě zde nachází své moderní uplatnění staré krédo Jana Amose Komenského „Schola Ludus“ – tj. „škola hrou“ [4], které tento evropský pedagog razil již v 17. století.

Výklad pomocí internetem dostupných simulačních her je častý ve fyzice či chemii, méně časté je využití simulačních her a simulátorů v oblasti medicíny, což je zřejmě dané složitostí příslušných simulačních modelů.

Nicméně i v oblasti medicíny se na internetu dá najít řada výukových aplikací se simulačními hrami. Na pavučině internetu je možné najít k volnému pedagogickému použití mnohé výukové simulátory jednotlivých fyziologických subsystémů.

Tak například simulátor ECGsim (<http://www.ecgsim.org/>) umožňuje studovat tvorbu a šíření elektrického potenciálu v komorách srdce a studovat mechanismus vzniku komorového komplexu QRS za různých patologií – od poruch vedení vzruchu až po ischemie a infarkty [23]. Tlakově oběhové křivky v komorách srdce při různých patologiích srdce (chlopenních vadách, levostranném či pravostranném selhání) umožňuje sledovat simulátor srdce z Columbia Univerzity (<http://www.columbia.edu/itc/hs/medical/heartsim>), [2]. Simulátory anesteziologických přístrojů z University of Florida umožňují dávat anestézii virtuálnímu pacientovi (<http://vam.anest.ufl.edu/>) a sledovat příslušné fyziologické odezvy (složitější simulátory ale vyžadují placený přístup). Přenos krevních plynů a acidobazické parametry jsou tématem simulátoru OSA (Oxygen Status Algorithm), určeného pro výuku i klinickou praxi [18]. Poslední verze tohoto simulátoru z roku 2005 je dostupná na adrese <http://www.siggaaard-andersen.dk/OSA.exe>. Činnost neuronu a neuronových sítí umožňuje

studovat simulační program NEURON z Yale University (<http://www.neuron.yale.edu/neuron/>) [3, 7]. Výukový simulátor AIDA (<http://www.2aida.net/>) modeluje virtuálního diabetického pacienta a umožňuje sledovat vliv dávkování různých druhů inzulínu při zadaném příjmu potravy na glukózový metabolismus [15, 17]. Softwarové simulační hry pro výuku medicíny jsou i tématem nabídky řady komerčních firem, např. firmy Anesoft (<http://www.anesoft.com/>), Medical Simulation Corporation (<http://www.medsimulation.com>) a další nabízejí řadu softwarových simulátorů pro nejrůznější oblasti medicíny.

Výukové simulátory dnes šířeny prakticky téměř výhradně prostřednictvím internetu, což, na rozdíl od dřívější distribuce prostřednictvím CD ROM, usnadňuje šíření aktualizovaných verzí. Moderním trendem je spouštění simulačních výukových programů přímo v internetovém prohlížeči.

Nové možnosti, zatím ještě příliš často využívané, přináší využití virtuálního internetového 3-D světa pro lékařskou výuku. Virtuální 3D světy představují kolaborativní prostředí, zobrazitelné pomocí internetového prohlížeče. V tomto světě je každý účastník reprezentován figurkou (tzv. avatarem), kterého ovládá. Prostřednictvím svého avatara se může toulat po virtuálním světě (procházet se či dokonce teleportovat do jiných oblastí virtuálního světa), v reálném čase může komunikovat s okolními „avatary“ a provádět nejrůznější aktivity mimo jiné třeba i ve virtuálním 3D prostředí lékařského zařízení může pečovat o virtuálního pacienta. Virtuálním pacientem může být avatar ovládaný učitelem, ale také i naprogramovaný avatar propojený se simulačním modelem [5]. Jedním z nejrozšířenějších 3D virtuálních prostředí je 3D prostředí Second Life (<http://secondlife.com/>). Právě v tomto prostředí se v poslední době také nezdírá využívat i pro lékařskou výuku. [1, 5, 6, 21, 22].

### 3. Simulační modely pro výukové simulátory

Při vytváření simulátorů a výukových simulačních her je nutno řešit dva typy problémů:

Tvorba simulačního modelu – vlastní teoretická výzkumná práce, jejíž podstatou je formalizovaný popis reality vyjádřený matematickým modelem. Výsledkem je verifikovaný simulační model, který na zvolené úrovni přesnosti dostatečně věrně odráží chování modelované reality.

Tvorba vlastního multimediálního simulátoru, resp. tvorba výukového programu využívajícího simulační hry – je praktická realizace teoretických výsledků, která navazuje na výsledky řešení předchozího problému – tj. na vytvoření (a verifikaci) simulačního modelu. Zde jde o náročnou vývojovou práci, vyžadující skloubit nápady a zkušenosti pedagogů, vytvářejících scénář výukového programu, kreativitu výtvarníků, vytvářejících interaktivní multimediální komponenty a úsilí programátorů, kteří „sešijí“ výsledné dílo do konečné podoby.

Každý z těchto problémů má svou specifiku, a proto vyžaduje použít zcela odlišné vývojové nástroje.

Zatímco vytvoření vlastního simulátoru je spíše vývojářskou a programátor-

skou prací, tvorba simulačního modelu není vývojářský, ale poměrně náročný výzkumný problém související s hledáním adekvátního formalizovaného popisu modelované reality. Na základě formalizovaného popisu je formulován matematický model. Matematický model je implementován na počítači, kde je řešením příslušných rovnic matematického modelu simulováno chování reálného systému. Proto se o matematickém modelu, implementovaném na počítači, hovoří jako o simulačním modelu. Při tzv. verifikaci modelu je chování modelu je porovnáváno s chováním reálného systému. Rozdíly v chování vedou ke korekcím formalizovaného modelu (např. stanovením nových hodnot některých koeficientů modelu nebo přímo ke změnám rovnic modelu) do té doby, dokud se chování modelu ve zvolených mezích přesnosti neshoduje s chováním modelované reality. Teprve dostatečně dobře verifikovaný model je možné použít jako jádro vytvářeného výukového simulátoru.

V minulosti se simulační modely vytvářely přímo ve stejném vývojovém prostředí jako i vlastní simulátor (např. v programovacím jazyku Fortran, C++ či Java). V současné době se pro tvorbu a verifikaci simulačních modelů používají spíše vývojové nástroje než obecné programovací jazyky.

Pro vývoj modelů jsme dlouhá léta využívali vývojové prostředí Matlab/Simulink od firmy Matworks. V tomto prostředí je možné graficky vyjádřit matematické vztahy pomocí propojených bloků vyjadřujících jednotlivé matematické operace. V propojkách mezi jednotlivými bloky tečou signály, které přenášejí signály z výstupů jednoho bloku ke vstupům dalších propojených bloků. V hierarchicky uspořádaných blocích dochází ke zpracování vstupních informací na výstupní. Propojení bloků tak odráží spíše postup výpočtu, než vlastní strukturu modelované reality, proto se v této souvislosti hovoří o tzv. kauzálním modelování.

V tomto prostředí jsme vytvořili i volně šiřitelnou Physiobrary pro modelování fyziologických regulací. Knihovna obsahuje i dokumentaci zaintegrovanou do nápovědy k Matlab/Simulink. Knihovnu i příslušný instalátor lze bez omezení stáhnout z adresy <http://physiome.cz/simchips>.

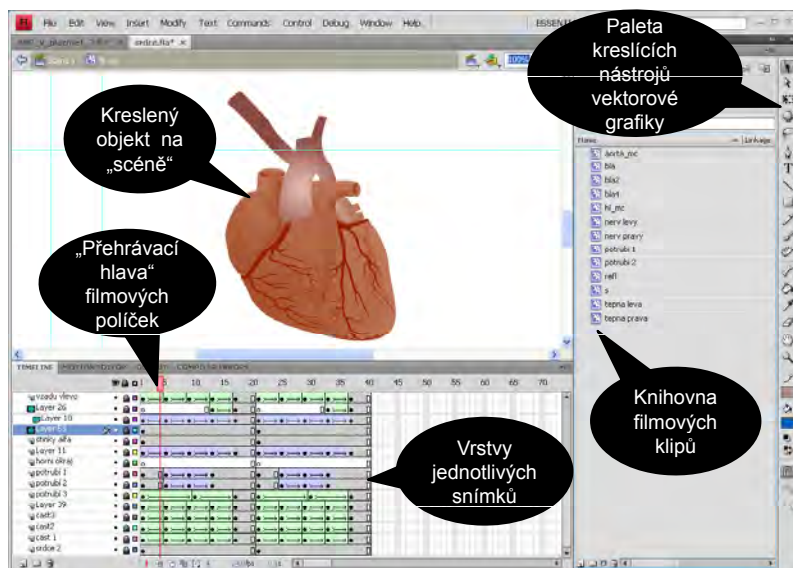
Při vytváření modelu je ale důležité, aby vlastní struktura modelu, spíše než vlastní algoritmus simulačního výpočtu, vystihovala především vlastní podstatu modelované reality. Proto se v moderních simulačních prostředích začíná stále více uplatňovat deklarativní (akauzální) zápis modelů, kdy v jednotlivých komponentách modelu popisujeme přímo rovnice a nikoli algoritmus jejich řešení. Propojováním jednotlivých komponent dochází k propojení soustav rovnic mezi sebou. Propojením komponent tak nedefinujeme postup výpočtu, ale modelovanou realitu - způsob řešení rovnic je úlohou příslušného překladače. Moderním simulačním jazykem, který je přímo postaven na akauzálním zápisu modelů je Modelica. Vývojové prostředí založená na jazyce Modelica je hlavním vývojovým nástrojem, v němž nyní vytváříme simulační modely. Podrobněji jsme o akauzálním modelování a Modelice referovali na loňském Medsoftu [14].

#### 4. Flashové webové simulátory jako „živé“ interaktivní ilustrace

Nejpřímočařejší cestou, jak vytvořit webový simulátor je vytvářet celou výukovou aplikaci ve vývojovém prostředí pro tvorbu tzv. RIA (Rich Internet Application) aplikací, které se snaží překlenout rozdíly mezi klasickou webovou aplikací a desktopovou aplikací. RIA aplikace se snaží v rámci webového prohlížeče napodobovat vzhled a chování desktopové aplikace a svým vzhledem a chováním poskytnout vyšší uživatelský komfort. Výhodou RIA aplikací je to, že program před spuštěním nevyžaduje zvláštní instalaci, pro její spuštění stačí pouze instalovaný plugin v internetovém prohlížeči.

Jednou z možností realizace RIA aplikací je využití Javascriptu a Java appletů. Touto cestou je například realizován výše zmíněný simulátor diabetického pacienta AIDA (<http://www.2aida.net>) i mnohé další simulační aplikace. Nevýhodou tohoto přístupu je poněkud těžkopádná složitějších grafických obrázků a animací.

Bohaté možnosti grafiky naopak umožňují aplikace využívající Adobe Flash Player. Vývojové prostředí Adobe Flash (a framework Adobe Flex) umožňuje vytvářet aplikace s interaktivními animacemi (Obrázek 1). Vývojové prostředí má uživatelsky vyzrálé rozhraní pro výtvarníky, vytvářejících základní animační prvky i rozhraní pro programátory využívající objektový jazyk ActionScript 3.0

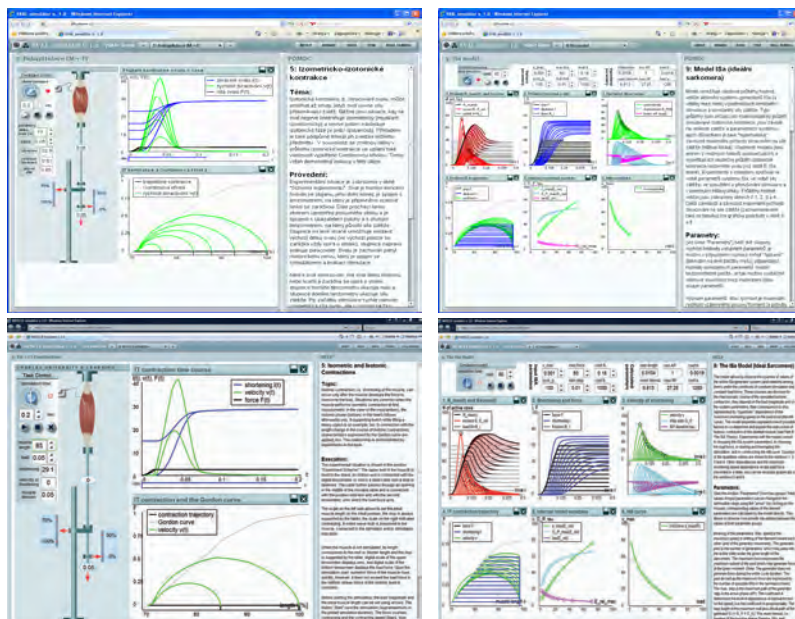


Obrázek 1 - Prostředí Adobe Flash poskytuje výtvarníkům nástroje pro kreslení vektorových obrázků. Do jednotlivých vrstev filmových políček je však (jako v příkladě na obrázku) také možno vložit instanci filmového klipu (MovieClip) z knihovny. Chování jednotlivých vizuálních (i nevizuálních) komponent je možno programovat (ve speciálním okně pro programování).

(syntaxí podobný Javě) a makrojazyk MXML pro popis uživatelského rozhraní ve vývojovém nástroji Adobe Flex.

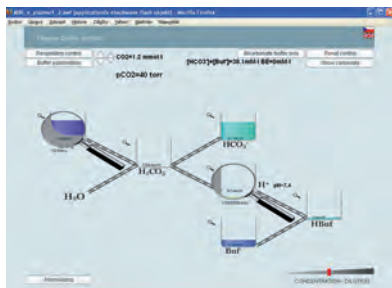
S tvorbou výukových simulátorů v prostředí Adobe Flash jsou dva problémy. Simulační model, vytvořený, odladěný a verifikovaný v prostředí pro vývoj modelů (Matlab/Simulink nebo Modelica) je nutné ručně přeprogramovat do jazyka ActionScript. Další problém spočívá v tom, že rychlost aplikací kombinujících složité numerické výpočty s interaktivní grafikou interpretovaných Adobe Flash Playerem je omezená. Z tohoto důvodu jsme v prostředí Adobe Flash vytvářeli výukové simulátory, u kterých simulační model na pozadí nebyl příliš složitý.

Na druhé straně, bohaté možnosti interaktivní grafiky a výsledky naší spolupráce s uměleckou školou Václava Hollara (kde jsme naučili výtvarníky pracovat ve vývojovém prostředí Adobe Flash) nám umožnili vytvářet graficky atraktivní výukové simulátory kombinované s výkladovými kapitolami. V prostředí Adobe Flash je vytvořeno i jádro našeho internetového Atlasu fyziologie a patofyziologie (<http://www.physiome.cz/atlas/>), koncipovaného jako multimediální výuková pomůcka, která názornou cestou prostřednictvím Internetu s využitím simulačních modelů by měla pomoci vysvětlit funkci jednotlivých fyziologických systémů, příčiny a projevy jejich poruch – <http://physiome.cz/atlas/> [10, 12, 13].

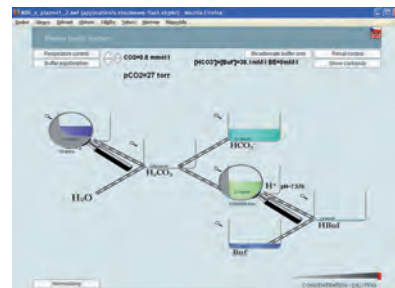


Obrázek 2 - Simulátor mechanických vlastností kosterního svalu je flashová aplikace koncipovaná jako výkladová kapitola zahrnující praktická cvičení s modelem v české i anglické verzi.

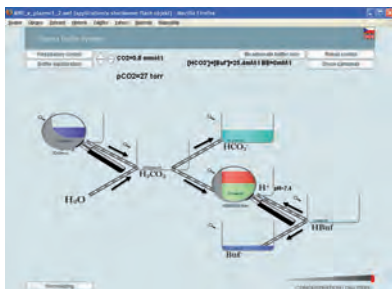




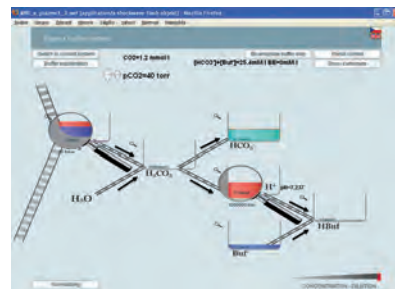
Obrázek 3a - Anglická verze Interaktivního výukového modelu pufrčního systému plazmy. Výšky hladin znázorňují hodnoty koncentrací. Počáteční stav.



Obrázek 3b - Ovládacím šoupátkem vyvoláme v modelu diluci, hladiny všech látek, včetně koncentrace  $\text{CO}_2$  a koncentrace vodíkových iontů, se sníží.



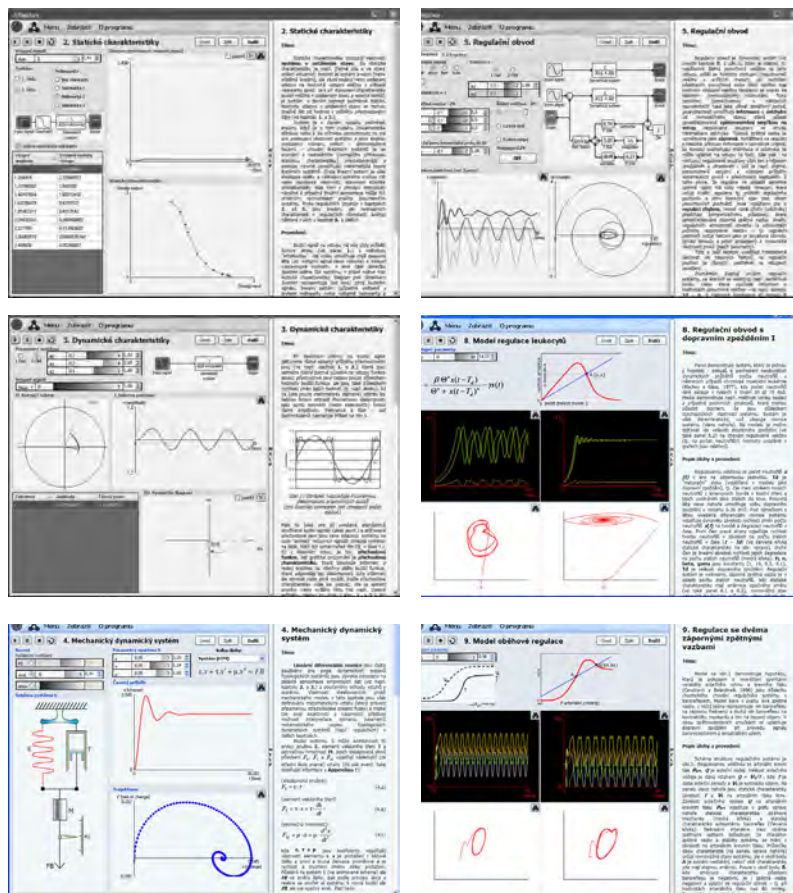
Obrázek 3d - Stiskem tlačítka „Pufření ekvilibrace“ zapojíme ustavení chemické rovnováhy v pufrčním systému a pH plazmy se vrátí na hodnotu 7.4.



Obrázek 3d - Respirace zvýší (původně po diluci sníženou) hodnotu koncentrace  $\text{CO}_2$  na původní hladinu 1,2 mmol/l. Po ustavení nové chemické rovnováhy se koncentrace vodíkových iontů zvýší a pH plazmy se sníží.

Projekt atlasu je otevřený – jeho výsledky jsou volně přístupné na internetu. Je vytvářen v české a anglické verzi. Je součástí elektronických výukových pomůcek v rámci sítě MEFANET (MEDical FACulties NETwork), soustřeďující elektronické učební texty lékařských fakult ČR a SR (<http://www.mefanet.cz>).

Atlas kombinuje interaktivní výkladové kapitoly a simulační hry s modely fyziologických systémů. Při tvorbě uživatelského rozhraní modelů, využívaných jako podklad pro simulační hry, připomíná spíše animované obrázky z tištěného Atlasu fyziologie [19] nebo Atlasu patofyziologie [20], než abstraktní regulační schémata využívaná ve výuce bioinženýrů. Na rozdíl od tištěných ilustrací, jsou ale obrázky tvořící uživatelské rozhraní multimediálních simulátorů „živé“ a interaktivní – změny proměnných simulačního modelu se projeví změnou obrázku. Pomocí takto koncipovaných interaktivních ilustrací je možno realizovat simulační hry, které lépe než statický obrázek nebo i prostá animace pomohou vysvětlit dynamické souvislosti ve fyziologických systémech



Obrázek 4 - Seznamovat posluchače medicíny se základními dynamickými vlastnostmi fyziologických regulačních systémů pouze pomocí tištěného textu, obsahujícího statická schémata struktur těchto systémů a popis některých jejich funkčních vlastností, je obtížné. Tuto problematiku se snaží přiblížit internetem volně dostupný výukový program, kde vykládaná látka je provázána se sadou simulačních experimentů.

a napomoci především k pochopení příčinných souvislostí v rozvoji patogeneze nejruznějších chorob.

Příkladem čistě flashového simulátoru, kombinujícího v sobě výkladovou i simulační část je simulátor mechanických vlastností svalů [24] vytvořený původně v prostředí Control Web a později celý přeprogramován jako čistě flashová aplikace v anglické i české verzi (viz Obrázek 2). Je přístupný na adrese <http://www.physiome.cz/atlas/sval/svalCZ/svalCZ.html>.

Jako příklad „obrázkového“ uživatelského rozhraní výukové simulační hry



vytvořené v prostředí Flash můžeme uvést model acidobazické rovnováhy plazmy, kde jsou pufrací systémy v uživatelském rozhraní znázorněny jako propojené nádoby zobrazující kompartmenty jednotlivých látek. *Obrázek 3)* Model je součástí atlasu a je dostupný v české i anglické verzi na adrese [http://www.physiome.cz/atlas/acidobaze/02/ABR\\_v\\_plazme1\\_2.swf](http://www.physiome.cz/atlas/acidobaze/02/ABR_v_plazme1_2.swf).

Výška „hladiny“ v těchto nádobách reprezentuje koncentrace. Chemické reakce jsou znázorněny jako „přelévání tekutiny“ mezi nádobami s jednotlivými složkami pufracích systémů. Do těchto nádob mohou „přitékat“ nebo „odtékat“ látky z/do metabolismu, respiračního systému nebo ledvin. Pomocí simulačních her s tímto modelem můžeme názorně vysvětlit vývoj různých poruch acidobazické rovnováhy.

Jiným příkladem flashového simulátoru je jednoduchý agregovaný model krevního oběhu, na němž je možné demonstrovat základní principy struktury a chování krevního oběhu a možnosti regulačního ovlivnění - <http://www.physiome.cz/atlas/cirkulace/05/SimpleUncontrolledSimulation.swf>.

Jeho ovládání je velmi jednoduché a webový simulátor slouží především k ujasnění základních vztahů mezi jednotlivými proměnnými oběhového systému (tj. tlaky a průtoky v malém a velkém oběhu) a základními (neurohumorálně řízenými) veličinami, které tlaky a průtoky ovlivňují (odpory, poddajnosti, objem cirkulující krve, kontraktilita levé a pravé komory).

## 5. Kde Adobe Flash nestačí

Simulátory, v jejichž pozadí je složitější model je nutné vytvářet v jiném prostředí než čistě Adobe Flash. Důležité jsou požadavky na rychlost grafiky, která ale nesmí omezovat schopnost numerických výpočtů. S obdobnými požadavky se setkáváme při tvorbě průmyslových měřících/řídících aplikací.

V minulosti jsme proto pro tvorbu simulátorů využívali prostředí Control Web (od firmy Moravské přístroje <http://www.mii.cz>), původně určené pro tvorbu průmyslových aplikací využívajících personální počítač s příslušnou řídicí/měřicí kartou, komunikující (s využitím příslušného ovladače) s vnějším technologickým zařízením. Pomocí rafinovaného triku (kdy jsme do softwarového ovladače měřicí/řídící karty vložili simulační model a signály, místo do připojených zařízení, pak směřovaly jako vstupy do modelu, zatímco místo čtení hodnot z periferií se četly výstupní hodnoty modelu) jsme získali možnost využívat Control Web pro rychlé sestavování simulátorů s bohatým uživatelským rozhraním.

Tímto způsobem jsme např. implementovali simulátor Golem [8]. Abychom automatizovali převod simulačního modelu vytvářeného v prostředí Matlab/Simulink do formy ovladače virtuální měřicí/řídící karty, vytvořili jsme generátor, který automaticky generuje zdrojový text tohoto ovladače v jazyce C++ přímo ze simulinkového modelu [9].

Vývojové prostředí Control Web umožňuje mimo jiné implementovat grafické flashové animace, které lze (jako ActiveX komponenty) řídit na základě výstupů simulačního modelu. Tímto způsobem jsme v prostředí Control Web

jsme vytvořili výukový model řízení glomerulární filtrace ledvin [11].

Aplikace vytvořené v prostředí Control Web lze spouštět v prostředí Windows – vyžadují však nainstalování. Přes webové rozhraní (např. Atlasu fyziologie a patofyziologie) je možné tyto aplikace distribuovat kliknutím na příslušné tlačítko instalačního balíčku zobrazitelného v prohlížeči.

Stálým problémem bylo udržovat soulad poloautomatického generátoru simulačního ovladače mezi novými verzemi Simulinku a Control Webu. Vývoj nových verzí Simulinku je rychlý. Jeho výrobce, firma Mathworks, stejně tak jako i výrobce Control Webu, firma Moravské přístroje pravidelně inovují svůj nástroj. Každá nová verze Simulinku nebo Control Webu nezdědka znamenala nutnost přepracovat vývojový nástroj, který generuje ze simulinkového modelu ovladač virtuální řídicí/měřicí karty v C++ se simulačním modelem. Krom toho přes veškerou snahu vnější vzhled aplikací vytvořených v ControlWebu byl až příliš formován průmyslovým zaměřením a aplikace připomínali spíše velín technologického zařízení než fyziologický obrázek (i přes možnosti vkládání flashových komponent, které ale běh aplikace dosti zpomalovaly).

Proto jsme od vývoje simulátorů v Control Webu ustoupili a složitější simulátory jsme začali vytvářet v prostředí .NET s využitím flashových komponent začleňovaných do takto vytvářených simulátorů prostřednictvím komponenty ActiveX. Vývojovým prostředím pro tvorbu simulátorů se stalo programovací prostředí Microsoft Visual Studio .NET. Grafické komponenty, vytvářené výtvarníky v prostředí Adobe Flash jsme propojovali (přes ActiveX) s jádrem simulátoru, kterým byl simulační model. Flashové grafické komponenty se tak chovaly jako „loutky“ řízené simulačním modelem.

Pro automatizaci převodu modelů, vytvořených v prostředí Matlab/Simulink jsme vytvořili softwarový nástroj, který ze Simulinkového modelu automaticky generoval jádro simulátoru jako komponentu .NET assembly.

Tímto způsobem byla jsem například vytvořili výukový program věnovaný základních dynamických vlastnostech fyziologických regulačních systémů - <http://physiome.cz/atlas/sim/RegulaceSys/> [25] (viz Obrázek 4), nebo výukový simulátor přenosu krevních plynů

[http://physiome.cz/atlas/sim/BloodyMary cs/](http://physiome.cz/atlas/sim/BloodyMary_cs/).

Simulátory se jediným kliknutím na příslušné tlačítko instalátoru ve webovém prohlížeči automaticky nainstalují a spustí na počítači klienta. Tímto způsobem můžeme v internetovém Atlasu fyziologie a patofyziologie nabízet v internetovém prohlížeči simulátory spustitelné jediným kliknutím.

Nutnost instalace programu (nabízeného přes internetové rozhraní) do počítače klienta ale vyžaduje, aby klient měl příslušná instalační práva na počítači, na němž pracuje, což ale často neplatí v počítačových učebnách.

Obtížnost tohoto přístupu je také neustálé překlenování nesourodých světů vývojového prostředí .NET (v němž je vytvářen vlastní simulátor) a Adobe Flash (v němž jsou vytvářeny grafické komponenty) a Matlab/Simulink (v němž je vytvářen simulační model).

## 6. Od Adobe Flash k Silverlightu, od Simulinku k Modelice

Z hlediska pedagogického efektu by proto bylo vhodné mít možnost spouštět a ovládat i složité modely přímo z webového prohlížeče bez nutnosti instalace.

Ukazuje se, že tato cesta je dnes možná, pokud celý simulátor vytvoříme tak aby byl spustitelný v novém prostředí Microsoftu – Silverlight. Silverlight je reakcí firmy Microsoft na dnes hojně rozšířený Flash-Player firmy Adobe.

Silverlight je webová platforma založená na technologii .NET, která úplně abstrahuje od použitého operačního systému i hardware, na kterém aplikace běží. Je určená pro tvorbu dynamického online obsahu a interaktivní práce s ním. Kombinuje text, vektorovou i bitmapovou grafiku, animace a video. Aplikace primárně běží v internetovém prohlížeči bez potřeby její instalace (jediná potřebná instalace je samotný Silverlight plugin).

Pomocí malé stažitelné komponenty (plugin) tedy Silverlight umožní interaktivní ovládání aplikací ve většině současných webových prohlížečů (Internet Explorer, Firefox, Safari) na různých hardwarových a softwarových platformách. Přímou podporu jsou nyní podporovány operační systémy Windows a Mac pro nejpoužívanější prohlížeče. Pro Linux je vyvíjena plně kompatibilní open source implementace Moonlight.

Aplikace vytvořené pro tuto platformu využívají podstatnou část .NET frameworku, který je součástí pluginu (a tudíž mohou provádět i poměrně složité výpočty).

Silverlight je tedy platformou umožňující přes internet distribuovat simulátory, které mohou běžet přímo v internetovém prohlížeči (a to i na počítačích s různými operačními systémy – stačí aby prohlížeč měl instalován příslušný plugin). Pro vývoj vlastního simulátoru je tak možné použít prostředí Microsoft Visual Studio s rozšířeními pro Silverlight. Implementačními jazyky simulátorů jsou C# a F# (funkcionální jazyk pro platformu .NET vhodný k implementaci vědeckých výpočtů).

Pro implementaci grafických komponent nyní místo Adobe Flash využíváme vývojové prostředí Microsoft Expression Blend, v němž jsme naučili pracovat i naše spolupracující výtvarníky. Pro usnadnění vytváření a testování animací, které budou posléze řízeny simulačním modelem, jsme vytvořili softwarový nástroj Animatester.

Při tvorbě modelů jsme přešli od prostředí Matlab/Simulink přešli k vývojovému prostředí založeném na jazyce Modelica, v němž modely vytvářejí mnohem efektivněji.

Simulační jádro v platformě Silverlight vyžaduje být realizováno jako řízený kód v prostředí .NET – to zajišťuje námi vyvíjená aplikace Modelica .NET generující zdrojový kód modelu a příslušného solveru algebroidních rovnic v C#. To znamená, že vlastní simulátor, jeho grafické interaktivní prvky i jeho simulační jádro jsou vytvářeny na jednotné platformě .NET. Odpadá tedy nutnost složitého přemostování prostředí .NET a Adobe Flash přes ActiveX komponenty.

V prostředí Silverlight může být simulátor snadno kombinován s výkladovou

kapitolou. Mnohem jednodušeji než v prostředí Adobe Flash lze realizovat synchronizace animací a zvukové stopy.

Simulátor i výkladová kapitola může být realizována jako skutečná webová aplikace, spustitelná přímo v internetovém prohlížeči s nainstalovaným pluginem Silverlight, bez nutnosti instalace na počítači klienta.

Námi používané metodice tvorby simulátorů je podrobněji věnován další příspěvek v tomto sborníku (Privitzer a spol, 2010).

## **7. Závěr – od Control Webu k webovým simulátorům**

Náš vývojový tým se tvorbou výukových simulátorů zabývá velmi dlouho. Pokrok v informačních technologiích je velmi rychlý a použitelné technologie se nám doslova měnily pod rukama. V průběhu posledních patnácti let jsme naši technologii tvorby simulátorů třikrát zásadně změnili. Tyto změny musely být dostatečně dobře promyšlené, protože každá změna technologie znamená zpočátku zdržení, způsobené tím, že členové vývojového týmu musí nejprve tuto technologii „vstřebat“, což určitou dobu trvá.

1. V první verzi technologie v polovině devadesátých let jsme simulátory vytvářeli ve vývojovém prostředí Control Web, původně určeném pro řídicí a měřicí aplikace v průmyslu. Modely jsme navrhovali, odlaďovali a identifikovali v tehdy relativně novém prostředí Matlab/Simulink. Když jsme nakonec vytvořili softwarový nástroj, který automaticky generoval zdrojový kód ovladače virtuální měřicí/řídicí karty pro Control Web, měli jsme možnost snadné a pohodlné aktualizace simulačního jádra vytvářených výukových simulátorů. Touto technologií jsme mimo jiné vytvořili simulátor fyziologických funkcí Golem.
2. Časem se ale ukázalo, že naše vývojové simulátory připomínaly spíše velín automatizované průmyslové linky, než elektronický nástroj pro lékařskou výuku. Zároveň se objevila možnost pomocí programu Macromedia Flash (nyní Adobe Flash) vytvářet ovladatelné animované obrázky, propojitelné pomocí technologie AxtiveX se svým okolím. Navázali jsme proto úzkou spoluprací se Střední uměleckou školou Václava Hollara a věnovali velké úsilí naučit pracovat s tímto nástrojem profesionální výtvarníky. Iniciovali jsme založení Vyšší odborné školy se zaměřením na obor interaktivní grafika, kde nyní také učíme (<http://www.hollarka.cz>). To nám otevřelo možnosti vkládat do uživatelského rozhraní výukových simulátorů graficky atraktivní obrázky, které jako loutky na nitích ovládal simulační model na pozadí. Naše simulátory pak obsahovaly interaktivní obrázky jak z lékařské učebnice. Místo vývojového nástroje Control Web jsme začali používat vývojové prostředí Microsoft .Net nebo, pro jednodušší simulátory, vývojové prostředí jazyka ActionScript a FlashPlayer v internetovém prohlížeči. Vytvořili jsme nové softwarové nástroje pro automatizaci převodu

modelu z vývojového prostředí Matlab/Simulink do prostředí .NET. Touto technologií jsme začali vytvářet náš internetový Atlas fyziologie a patofyziologie (<http://www.physiome.cz/atlas>). Simulátory realizované v prostředí Adobe Flash bylo možné spouštět přímo v okně internetového prohlížeče. Složitější simulátory ale vyžadovaly instalaci na počítači klienta, který musel mít příslušná přístupová práva.

3. Nedávno se objevila nová technologie Silverlight, kterou Microsoft reagoval na dnes velmi rozšířený Adobe Flash. Nová technologie od Microsoftu svými možnostmi Flash v mnohém překonává. V Silverlightu je nyní možné vytvářet numericky náročné simulátory s přitažlivým grafickým rozhraním spustitelné přímo v internetovém prohlížeči. To se jevílo velmi slibné, a proto jsme v roce 2008 zásadně změnili technologickou bázi řešení tohoto projektu. Abychom ale novou technologii mohli využít, museli jsme naučit naše spolupracující výtvarníky pracovat ve vývojovém prostředí Microsoft Expression Blend (které je pro ně náročnější než graficky více intuitivní prostředí Adobe Flash). Zároveň bylo nutno vytvořit softwarové nástroje, které umožňují lépe oddělit vývojové prostředí určené pro výtvarníka od prostředí pro programátora. Tyto nástroje výtvarníkům usnadňují tvorbu animací snadno propojitelných se simulačním modelem na pozadí. Na trhu se objevila i nová (tzv. akauzální) simulační prostředí, která umožňují jednotlivé části modelu popisovat přímo jako soustavu rovnic a nikoli jako algoritmus řešení těchto rovnic. Ukázalo se, že je daleko efektivnější začít naše modely vytvářet v akauzálním prostředí využívajícím simulační jazyk Modelica, než se spoléhat jen na nové akauzální knihovny v prostředí Simulink. Při vývoji simulačních modelů jsme se proto přeorientovali z vývojového prostředí Matlab/Simulink na vývojové prostředí pro jazyk Modelica. Nyní (v rámci mezinárodního sdružení Open Source Modelica Consortium) vyvíjíme pro překladač Modeliky generátor kódu v C#. To nám umožní spouštět v prostředí Silverlight model vyvinutý a odladěný v Modelice.

Současným výsledkem je tedy nová technologie tvorby webových simulátorů (včetně vytvoření sady softwarových nástrojů, umožňujících „bezešvé“ propojení vývojového nástroje pro tvorbu modelů využívajícího akauzální modelovací jazyk Modelica, vývojových nástrojů pro tvorbu interaktivní počítačové grafiky a vývojového prostředí pro tvorbu webových aplikací). Domníváme se, že nová technologie tvorby výukových simulátorů není ohraničena pouze oblastí medicíny a může mít i uplatnění v jiných oblastech.

### **Poděkování**

Tvorba výukových simulátorů a vývoj příslušných vývojových nástrojů byly podporovány granty MŠMT č. 2C06031 „e-Golem“, výzkumným záměrem MSM 0021620806 a společností Creative Connections s. r. o.

## Literatura

- [1.] Boulos, M. N., Hetherington, L., & Wheeler, S. (2007). *Second Life: an overview of the potential of 3-D virtual worlds in medical and health education*. *Health Information & Libraries Journal* (24), stránky 233-245
- [2.] Burkhoff, D., & Dickstein, M. L. (2003). *The heart simulator*. Načteno z <http://www.columbia.edu/itc/hs/medical/heartsim>
- [3.] Carnevale, N. T., & Hines, M. L. (2006). *The Neuron Book*. Cambridge: Cambridge University Press
- [4.] Comenius, J. A. (1656). *Schola Ludus, seu Encyclopaedia Viva*. Sarospatak.
- [5.] Danforth, D., Procter, M., Heller, R., Chen, R., & J. M. (2009). *Development of Virtual Patient Simulations for Medical Education*. *Journal of Virtual World Research* , 2, stránky <https://journals.tdl.org/jvwr/article/view/707/503>, 1-11
- [6.] Diener, S., Windsor, J., & Bodily, D. (2009). *Design and Development of Medical Simulations in Second Life and OpenSim*. EDUCAUSE Australasia 2009, Perth Western Australia. 3-6 May 2009 (stránky <http://hdl.handle.net/2292/4305>, 1-13). Perth: Educause Australasia
- [7.] Hines, M. L., & Carnevale, N. T. (2001). *NEURON: a tool for neuroscientists*. *The Neuroscientist*, 7, stránky 123-135
- [8.] Kofránek, J., Anh Vu, L. D., Snášelová, H., Kerekeš, R., & Velan, T. (2001). *GOLEM – Multimedia simulator for medical education*. V L. Patel, R. Rogers, & R. Haux (Editor), *MEDINFO 2001, Proceedings of the 10th World Congress on Medical Informatics*. 1042-1046. London: IOS Press. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/MEDINFO2001.pdf>
- [9.] Kofránek, J., Kripner, T., Andrlík, M., & Mašek, J. (2003). *Creative connection between 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*, stránky 677-687
- [10.] Kofránek, J., Matoušek, S., Andrlík, M., Stodulka, P., Wunsch, Z., Privitzer, P., a další. (2007). *Atlas of physiology - internet simulation playground*. In B. Zupanic, R. Karba, & s. Blažič (Editor), *Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modeling and Simulation, Vol. 2. Full Papers (CD ROM)* (stránky MO-2-P7-5: 1-9). Ljubljana: University of Ljubljana. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/EUROSIM2007.pdf>
- [11.] Kofránek, J., & Tribula, M. (2007). *Control web pro multimediální interaktivní ledvinu*. In Medsoft 2007, Zeithamlová, M. (Editor). Praha, Czech Republic, Agentura Acion M., str.93-100
- [12.] Kofránek, J., Mateják, M., Matoušek, S., Privitzer, P., Tribula, M., & Vacek, O. (2008). *School as a (multimedia simulation) play: use of multimedia applications in teaching of pathological physiology*. MEFANET 2008. CD ROM Proceedings, ISBN 978-80-7392-065-4 (stránky kofranek.pdf: 1-26). Brno: Masarykova Univerzita, Brno. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/MEFANET2008.pdf>
- [13.] Kofránek, J., Privitzer, P., Matoušek, S., Vacek, O., & Tribula, M. (2009). *Schola Ludus in modern garment: use of web multimedia simulation in biomedical teaching*. *Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Modelling and Control in Biomedical Systems, Aalborg, Denmark, August 12-14, 2009*, stránky 425-430. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/IFAC2009.pdf>
- [14.] Kofránek, J., Privitzer, P., Mateják, M., Tribula, M. (2009) *Akademické modelování – nový přístup pro tvorbu simulačních her*. In MEDSOFT 2009. Zeithamlová (Editor) Praha: Agentura Action M, Praha 2008, str. 31-75



- [15.] Lehmann, E. D., Tarin, C., Bondia, J., Teufel, E., & Deutsch, T. (2007). Incorporating a Generic Model of Subcutaneous Insulin Absorption into the AIDA v4 Diabetes Simulator. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 1, stránky 780-793.
- [16.] Privitzer, P., Šilar, J., Tribula, M., Kofránek, J.: Od modelu k simulátoru v internetovém prostředí. *Ibid*
- [17.] Reed, K., & Lehmann, E. D. (2005). Diabetes website review: [www.zaida.org](http://www.zaida.org). *Diabetes Technology & Therapeutics*, stránky 741-754
- [18.] Siggaard-Andersen, M., & Siggaard-Andersen, O. (1995). Oxygen status algorithm, version 3, with some applications. *Acta Anaesth Scand*, 39, Suppl 107, stránky 13-20.
- [19.] Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2003, české vydání 2004). *Taschenatlas der Physiologie*; české vydání: *Atlas fyziologie člověka* (6. vyd.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag, české vydání Praha: Grada
- [20.] Silbernagl, S., & Lang, F. (1998, české vydání 2001). *Taschenatlas der Pathophysiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, české vydání Praha: Grada
- [21.] Toro-Troconis, M., Partridge, M., & Barret, M. (2008). Game-based learning for the delivery of virtual patients in *Second Life*. *Issues and News on Learning and Teaching in Medicine, Dentistry and Veterinary Medicine*, 1, stránky 3-5
- [22.] Toro-Troconis, M., & Boulos, M. N. (2009). Musings in the state of, 3D virtual worlds for health and healthcare in August 2009. *Journal of Virtual Worlds Research*, 2, stránky <https://journals.tdl.org/jvwr/article/view/629/496>, 1-15
- [23.] van Oosterom, A., & Oostendorp, T. F. (2004). ECGSIM: an interactive tool for studying the genesis of QRS waveforms. *Heart*, 9, stránky 165-168
- [24.] Wünsch, Z., Kripner, T., Kofránek, J., & Andrlík, M. (2004). The mechanical properties of skeletal muscle - Multimedia simulation educational software. In G. Attiya, & Y. Hamam (Editor), *Proceedings of the 5th EUROSIM Congress on Modeling and Simulation. Full Papers CD Volume.* (stránky 28-32). Marne La Vallée. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/EUROSIMWunsch2004.pdf>
- [25.] Wünsch, Z., Matúš, M., & Kofránek, J. (2007). Physiological feedback modelling in medical education. In B. Zupanec, R. Karba, & S. Blažič (Editor), *Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modeling and Simulation, Vol. 2. Full Papers (CD)*. (stránky TU-1-P7-5: 1-7.). Ljubljana: University of Ljubljana. Práce je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/references/EUROSIMWunsch2007.pdf>

### Kontakt:

**MUDr. Jiří Kofránek, CSc.,**  
Oddělení biokybernetiky a počítačové  
podpory výuky,  
Ústav patologické fyziologie 1.LF UK  
U nemocnice 5, 121 53 Praha 2  
tel: +420 22496 5912  
e-mail: [kofranek@gmail.com](mailto:kofranek@gmail.com)  
<http://physiome.cz>