

Jiří Kofránek, David Polák, Jan Šilar, Filip Ježek,
Arnošt Mládek, Marek Mateják, Tomáš Kulhánek

NOVÁ GENERACE ELEKTRONICKÝCH UČEBNIC SE SIMULAČNÍM JÁDREM

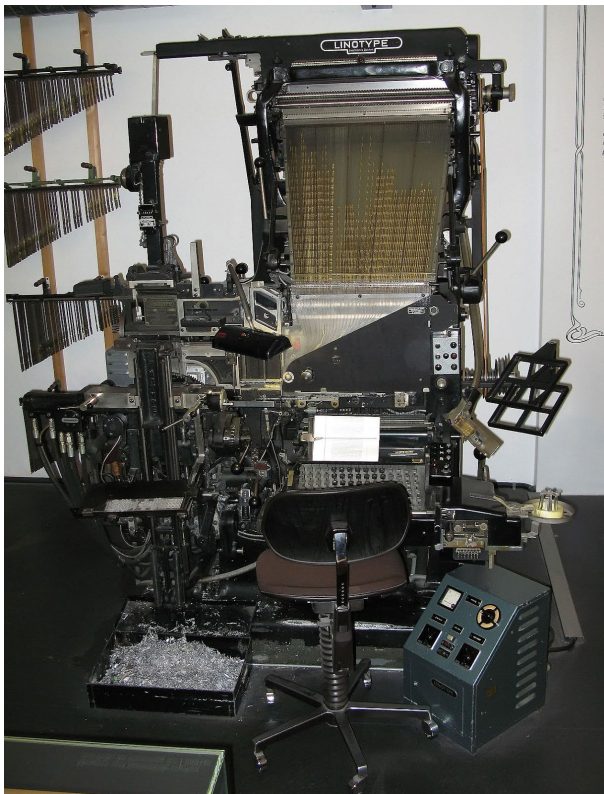
Jiří Kofránek, David Polák, Jan Šilar, Filip Ježek,
Arnošt Mládek, Marek Mateják, Tomáš Kulhánek

Abstrakt

V poslední době se objevily nové elektronické učebnice, propojící hypertext, simulační modely a interaktivní grafiku (řízenou modelem na pozadí), které přinášejí zcela nové možnosti pro vysvětlování složitě propojených regulačních vztahů zejména v medicíně. Jsou to většinou aplikace typu client-server, kdy celá aplikace běží na serveru a uživatel se k ní připojuje většinou pomocí internetového prohlížeče či jiného dedikovaného rozhraní. Existují také aplikace které pracují lokálně na klientském počítači nebo tabletu. My jsme vyvinuli technologii Bodylight.js, která umožňuje tvorbu obdobných výukových aplikací s interaktivními simulátory spustitelnými přímo v internetovém prohlížeči na jakékoli platformě či operačním systému (notebooku, tabletu či chytrém telefonu), o níž jsme referovali v loňském ročníku MEDSOFT. V tomto sdělení tuto technologii popíšeme podrobněji a ukážeme i první aplikace.

1 Úvod

Když praotec softwarového inženýrství Donald Knuth v roce 1965 dokončil tři tisíce stránkový rukopis první části své slavné učebnice programování Art of Computer Programming [1], počítal, že do jedné vytištěné stránky se vejde pět ručně psaných



Obrázek 1 – Sázeč stroj Linotype z roku 1965. Na těchto strojích se sázely knihy a časopisy. Stroj umožňoval vysázet text po jednotlivých řádcích, kam stroj skládal formy pro jednotlivé litery do matrice pro odlévání. Matrice řádků se odlévaly jako celek a řádky se skládaly do matic pro tisk jednotlivých odstavců. Sazba knih s množstvím symbolů a matematických rovnic byla náročná, odstraňování chyb a překlepů při korekturách bylo pracné. Na obdobných strojích bylo vysázeno první vydání tří dílů učebnice programování Donalda Knutha (převzato z Wikipedie).



Obrázek 2 – Knuthova učebnice programování (The Art of Computer Programming) byla první rozsáhlou knihou, která byla vysázena počítačovou sazbu pomocí programu TEX, který Donald Knuth vytvořil po neblahých zkušenostech s klasickou sazbou prvního vydání své učebnice.

stránek. Vydavatel mu však řekl, že místo toho se do jedné vytištěné stránky stěží vejde tak jeden a půl stránky rukopisu. Výsledkem bylo, že rukopis se rozlezl do třídílné monografie postupně vydané v letech 1968, 1969 a 1973 čítající dohromady 2000 tištěných stran plných matematických výrazů. Vysázet složitý text zahrnující různé matematické symboly nebylo jednoduché. V té době se knihy sázely odléváním jednotlivých liter. Pro usnadnění existovaly sázeč stroje, na nichž se pomocí klávesnice „sázely“ negativní matrice a teprve hotový řádek se odlišil jako celek (proto přízvisko „horká sazba“). Zvláště složitě bylo ovšem odlévání matematických vzorců, které zabíraly několik řádek.

S tím jak nakladatelství postupně na tiskařských strojích sázelo jeho knihu nebyl Knuth příliš spokojen. Během korektur připravovaného textu se objevovalo mnoho chyb, především v matematických vzorcích, a ani typografie za moc nestála.

Po strastiplné anabázi vysazení prvních třech dílů zamýšlené učebnice začal Knuth připravovat čtvrtý díl. Současně v roce 1976 připravil revidované vydání druhého dílu. V souvislosti s novým vydáním se ale objevily velké problémy. Formy pro odlévání příslušných znaků z prvního vydání totiž již nebyly k dispozici, a formy pro jednotlivé litery by se musely připravit znovu.

V té době ale začala sázečím strojům konkurovat fotosazba, vytvářející tiskové předlohy na fotografický film. Protože se při ní přestalo používat odlévání, mluví se někdy o „studené sazbe“. Fotosázeč stroje zprvu promítaly na film jednotlivá písmena z negativů, později používaly obrazovku, na níž se obrazy písmen vytvářely počítačem. A to byl zásadní průlom.

Donald Knuth si řekl, že nikdo jiný neumí prohnát bity po paměti počítače lépe než on, v roce 1977 přerušil práce na další části své učebnice a pustil se do projektu programu pro automatickou sazbu. O osm let později (v roce 1985) nabídl veřejnosti svůj program nazvaný T_EX (čte se jako Tech, protože jeho název není psán latinkou, ale řecky, takže poslední písmeno v názvu je řecký znak chí). Název je inspirován starořeckým slovem τέχνη, znamenajícím „umění“, „dovednost“.

Knuth svůj T_EX nabídl široké veřejnosti, včetně podrobných popisů zdrojových kódů. Svou práci o elektronické sazbe shrnul do pětidílné monografie Computers & Typesetting [2–6].

Nová vydání Knuthovy knihy pak byla již vysázena pomocí tohoto nového programu. Ale nejenom jeho knihy. T_EX a jeho nadstavby (např. L^AT_EX) si záhy získaly velkou popularitu. V polovině osmdesátých let to první sázeč programy, které umožňovaly vytvářet profesionální sazbu na dostupných počítačích, včetně PC XT.

V roce 1988 se T_EX začal rozšiřovat v Československu – bylo to téměř konspirativní, uvědomme si, že v té době představoval T_EX prostředek pro sázení jakýchkoli tiskovin mimo dohled Úřadu pro tisk a informace. Petr Novák (tehdejší student z ČVUT) spolu s grafiky z Vysoké školy umělecko-průmyslové pro T_EX

vytvořil české a slovenské fonty a T_EX se rychle začal využívat, a kolem něj postupně vznikala komunita uživatelů [7]. Vlastní sazba se finalizovala na laserových tiskárnách, avšak srovnatelných výsledků bylo možné dosáhnout i s jehličkovou tiskárnou s čerstvou páskou. Tiskárna tiskla po mikrořádcích, kvílela jako cirkulárka, ale výsledek v rozlišení 380 dpi byl ohromující.

Dnes je počítačová sazba již dávno běžnou záležitostí a stroje na horkou sazbu jsou jen v muzejích. Každá tiskovina má tedy svou počítačovou reprezentaci a příprava elektronické knihy, kterou je možné zobrazit na obrazovce počítače, tabletu či elektronické čtečky dnes není z technického hlediska problémem.

2 Knihy bez papíru

Nyní existuje několik standardů, pro zobrazení elektronického textu - nejrozšířenější je formát pdf, jehož první verze byla zavedena firmou ADOBE v roce 1993. Ten byl ale původně určen především pro tisk.

Elektronické verze tištěných knih se staly žádaným zbožím - celá knihovna se vejde do jediného zařízení.

Při čtení textu na různých velkých obrazovkách se vyplatí mít možnost interaktivně vybírat velikost písma, řádkování a další parametry sazby - to vše umožňuje formát .ePub (dnes existuje ve verzi 3.2) zaštitěný W3C komunitou (<https://www.w3.org/community/epub3/>).

V roce 2004 zakladatel a generální ředitel Amazonu Jeff Bezos nařídil zaměstnancům společnosti vytvořit nejlepší elektronickou čtečku na světě, lepší než nabízel konkurenti. Původně se měla jmenovat Fiona. Konzultanti značky Michael Cronan a Karin Hibma vymysleli jméno Kindle, což znamená "zapálit oheň". Cítili, že to bude výstižná metafora pro čtení a intelektuální vzrušení. Pro své čtečky knih Amazon v roce 2005 koupil formát mobi a následně z něj později vyvinul vlastní formát .AZW (nicméně čtečky od Amazonu jsou schopny zobrazit i další formáty elektronických publikací např. pdf).

Čtečka Kindle první generace byla uvedena na trh v roce 2007. Dnes již existuje desátá generace těchto důvtipných zařízení, pracujících s elektronickým inkoustem umožňujícím kontrastní zobrazení černobílého obrazu (s různými stupni šedi) ve vysokém stupni rozlišení a kontrastu. Na rozdíl od tabletů, text neunavuje oči a knihu lze číst v dopadajícím světle stejně jako tištěnou publikaci.

Čtečky Kindle jsou integrovány s obsahem obchodu Kindle Store, nabízejícího milióny elektronických knih. Amazon také nabízí aplikace Kindle pro použití na jiných zařízeních a platformách (Microsoft Windows, MacOS, Android a IOS). Zároveň nabízí i cloudovou čtečku, která uživatelům umožňuje číst elektronické knihy pomocí moderních webových prohlížečů. Elektronické knihy se staly moderním fenoménem.

Elektronická kniha na tabletu či čtečce knih nezabírá místo v knihovně, knihy jsou hned po ruce. Můžeme je doprovázet libovolným množstvím vlastních poznámek, snadno se v nich hledá, chytřejší prohlížeče umožňují i předčítání elektronických textů. Přesto však elektronické knihy ani zdaleka nevytlačují klasické tištěné knihy, zvláště pokud mají kvalitní grafickou úpravu. Nicméně pro tištěné knihy je jejich elektronická podoba velkou konkurencí. Spolehlivou obranou není ani vkládání různých softwarových zabezpečení - na webu se při troše snahy dá sehnat řada programů, které různé DRM (Digital Right Management) ochrany odstraní. DRM ochrana je všeobecně vnímána značně negativně a je kritizována jako velmi neefektivní, protože ve svém důsledku šikanuje pouze poctivé uživatele, zatímco obsah získaný nelegálním způsobem takovou ochranou netrpí. Ukazuje se, že existují efektivnější způsoby, jak přimět uživatele k zakoupení legální kopie. Jedním z nich je neustálá inovace obsahu.

Zvláště v odborné literatuře se osvědčila kombinace elektronické a tištěné verze knihy. Do elektronické verze knihy je možné umístit informace, které se do tištěné (např. z důvodu místa) nevešly - tak např. každý výtisk nové učebnice patologie pro české lékařské fakulty [8], čítající cca tisíc stran ve třech svazcích obsahuje unikátní heslo, kterým je možné na webové stránce této učebnice (<https://ucebnice-patologie.cz/>) odemknout galerii doprovodných obrázků (mikroskopických preparátů apod.), jejichž prostudování je nezbytné pro úspěšné složení zkoušky z patologie ve 3. ročníku lékařského studia.

Jiným příkladem jsou odborné publikace nakladatelství Elsevier, jejíž tištěné verze se přes unikátní stírací heslo odkazují na portál "inkling.com" resp. na "StudentConsult" (<https://student-consult.inkling.com/>). Vedle elektronické verze tištěné knihy, uzpůsobené pro čtení na tabletech, čtečkách či chytrých telefonech, je na těchto portálech nabízen i další doprovodný materiál - videa, interaktivní obrázky, animace, i rozšiřující kapitoly.

Tak například k výpravně barevné tisíc tři sta stránkové učebnici lékařské fyziologie od Waltera Borona a Emile Bulpaepa [9] existuje bohatý doprovodný materiál, na jehož jednotlivé části v tištěné verzi učebnice přímo v textu upozorňují malé ikonky ve tvaru počítačové myši. Díky rozšiřujícímu materiálu je učebnice udržována stále aktuální a vložené interaktivní obrázky a animace podstatně usnadňují pochopení vykládané látky. Tato učebnice existuje také v čisté elektronické verzi (např. pro čtečky Kindle), nicméně barevná, bohatě ilustrovaná tištěná verze s kvalitní vazbou, v níž se příjemně listuje, je spíše vhodným doplňkem elektronické verze než obráceně.

3 Elektronické publikace se simulačním jádrem

Elektronické knihy jsou ale nejčastěji pouhou kopií tištěné verze - s tím rozdílem, že usnadňují čtení na různých formátech obrazovky, poskytují možnost změny velikosti písma, barvy pozadí apod., obsahují křížové vazby na rozkliknutí, vyhledává se v nich snadněji než pomocí rejstříku a navíc na čtecích zařízeních umožňují tvořit vlastní poznámky a výpisky. Kvalitnější elektronické publikace přidávají navíc ještě to, co v tištěné verzi knihy nejde: videosekvence (či zvukové stopy), nebo interaktivní animace.

Zcela novou kvalitu ale přinášejí elektronické publikace propojující hypertext a multimédia se simulačním modelem na pozadí. Elektronické publikace se simulátorem využívají počítač nejen jako zobrazovací zařízení, ale také jako výpočetní stroj.

Prvními (a zdá se, že zatím zcela výjimečnými) elektronickými učebnicemi se simulačními modely na pozadí je série učebnic týkajících se fyziologie, patofyziologie a kliniky cirkulačního systému od Daniela Burkhoffa a spol. [10]. Původně byla vyvíjena pro Apple iPad (Obr. 3). Burkhoffovy elektronické učebnice po nainstalování využívají iPad jako počítač. Využívají i možnosti zjištění polohy tabletu - je-li iPad v horizontálním postavení je na obrazovce tabletu elektronická učebnice, překlopíme-li tablet do horizontální polohy, elektronická kniha zmizí a objeví se složitý komplexní model srdeční hemodynamiky (Obr. 4). Na tomto modelu je možné nastavit sady parametrů pro simulaci nejrůznějších onemocnění a také modelovat vliv některých léčiv. Souběžně je možné sledovat hodnoty řady proměnných v čase. Překlopíme-li iPad opět do vertikální polohy, vrátíme se zpět k elektronické učebnici.

Úspěch elektronických učebnic se simulačním jádrem vedl společnost PVLoops k tomu, že vypracovala client-servovou technologii s využíváním cloudu a nabídla tyto elektronické učebnice, a s nimi propojené modely, i pro další platformy prostřednictvím internetového prohlížeče. Vlastní výpočet simulačního modelu probíhá na vzdáleném cloudovém serveru (Obr. 5).

Příklad elektronických publikací společnosti PVLoops ukazuje, že spojení interaktivního multimediálního prostředí se



Obrázek 3 – Pro Ipad společnost PVLoops LLC vyvinula několik elektronických učebnic týkajících se fyziologie, patofyziologie a kliniky cirkulačního systému. V pozadí elektronických učebnic je matematický model. To umožní doprovázet výklad pomocí interaktivních obrázků a grafů, řízených modelem na pozadí, což napomáhá lepšímu pochopení podstaty vykládaných jevů.



Obrázek 4 – Elektronická učebnice mimo jiné nabízí řadu příkladů, kdy v okénkách se záhlavím "Try it now" ("Teď si to vyzkoušejte") může čtenář sledovat reakci jednotlivých částí oběhového systému na změnu hodnot vstupních parametrů nastavovaných pomocí táhlíček. Ve vertikální poloze je na iPadu zobrazena elektronická učebnice, přeploíme-li iPad horizontálně, objeví se běžící komplexní model srdeční hemodynamiky.

počítačovými modely přináší zcela nové pedagogické možnosti zejména pro vysvětlování složitě provázaných vztahů pomocí simulačních her.

Pedagogická efektivita využití simulačních her potvrzuje dva a půl tisíce let starou Konfuciovu myšlenku: „Co slyším, to zapomenou, co spatřím, to si pamatuji, co dělám, tomu rozumím“.

V nové generaci elektronických učebnic se simulačními hrami nachází své současné uplatnění staré krédo Jana Amose Komenského ze 17. století: „Schola Ludus“ – tj. „škola hrou“ [11].

4 Náš přístup

Internet, hypertext, multimédia a interaktivní grafika řízená modelem na pozadí – to je skutečná škola hrou pro 21. století, která pomocí simulačních her jak norimberským trychtýřem může pomocí studentům pochopit složitě dynamické souvislosti.

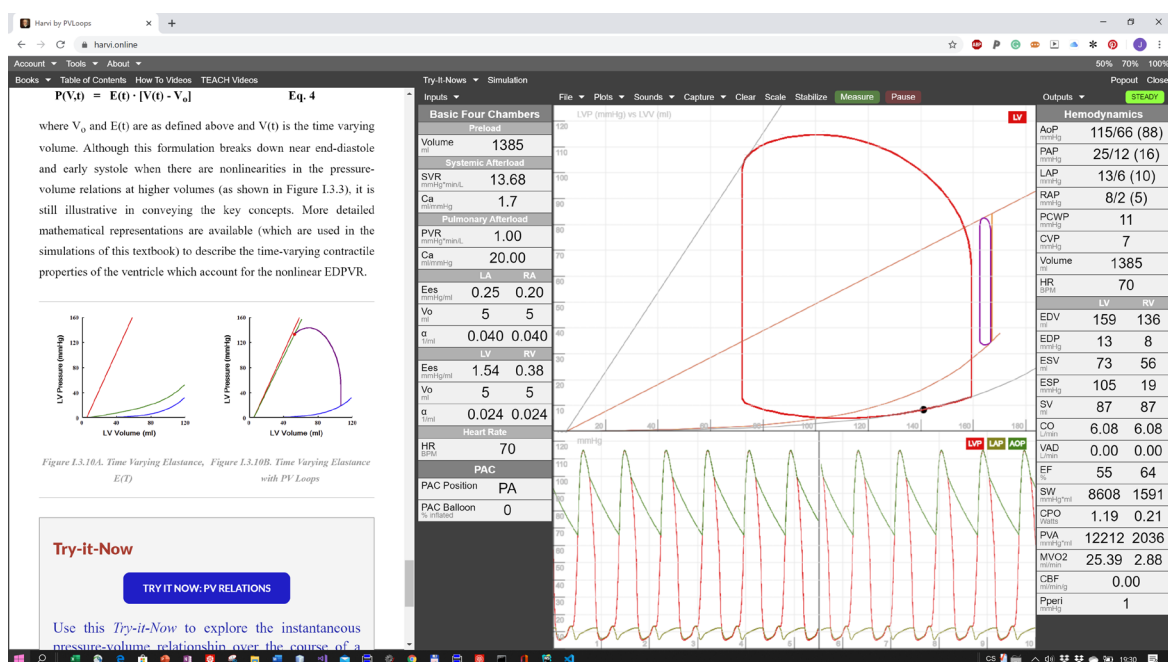
Proto jsme již před lety začali vytvářet projekt internetového atlasu fyziologie a patofyziologie, soustředujícího simulační hry propojené s výkladovými kapitolami [12].

Léta jsme se věnovali i rozvoji technologie tvorby interaktivních simulátorů [13,14]. Tak, jak šel technologický pokrok, se nám postupně měnily technologie pod rukama a přinášely nové možnosti i nové výzvy.

Současnou výzvou je nová generace elektronických učebnic se simulačním jádrem.

Chceme vytvářet výukové simulační aplikace, přímo spustitelné v internetovém prohlížeči bez závislosti na serveru nebo API. Obecně se tento přístup označuje jako "backendless", "serverless" nebo "unhosted" (<https://unhosted.org/>), tj. webová aplikace není závislá na konkrétním API či serverovém rozhraní a může fungovat offline a být distribuována tzv. statickým webem, případně nechat na uživateli, jaké API a kde použije.

Modely chceme nadále vyvíjet v akauzálním prostředí jazyka Modelica, s nímž máme dlouhodobé zkušenosti. V Modelice jsme např. v minulosti vytvořili aplikační knihovnu Physiobrary pro modelování fyziologických systémů (<http://www.physiolibrary.org>) [15–17] a také i chemickou knihovnu [18], kterou



Obrázek 5 – Úspěch elektronických učebnic se simulačním jádrem vedl k tomu, že společnost PVLoops nabídku rozšířila i na ostatní platformy. K jejich provozování stačí prohlížeč a připojení k internetu. Simulace je nabízena formou client-server. V dané ukázce je na levé straně obrazovka elektronická učebnice s pohyblivými grafy řízenými modelem na pozadí a v pravé části je běžící simulační model.

chceme dále rozšiřovat. Tyto knihovny jsme mimo jiné využili při implementaci rozsáhlého modelu lidské fyziologie HumMod (<http://www.physiomodel.org/>) [19–21]. Dnes Modelicu využíváme jako základní jazyk pro tvorbu simulačních modelů.

Pro profesionální vzhled výukových simulačních aplikací je zapotřebí do návrhu a tvorby vizualizace vytvářené aplikace zapojit profesionální výtvarníky. Součástí našeho vývojového týmu jsou proto také výtvarníci, kteří ve své práci využívají profesionální nástroje od firmy Adobe. Práci s těmito nástroji také učíme v rámci naší dlouhodobé spolupráce s Vyšší odbornou a Střední uměleckou školou Václava Hollara, kde se podílíme i na výuce oboru "interaktivní grafika".

Zároveň ale chceme, aby naše výukové simulátory nebyly příliš závislé na platformě a operačním systému, na kterém běží. Společným prvkem uživatelských výpočetních zařízení - od chytrých telefonů, přes tablety až k počítačům, bez ohledu na operační systém, na kterém pracují, je webová platforma. Chceme-li vytvořit na platformě nezávislou technologii simulátorů, jsou internetové prohlížeče jedinou možností, jak tento cíl realizovat.

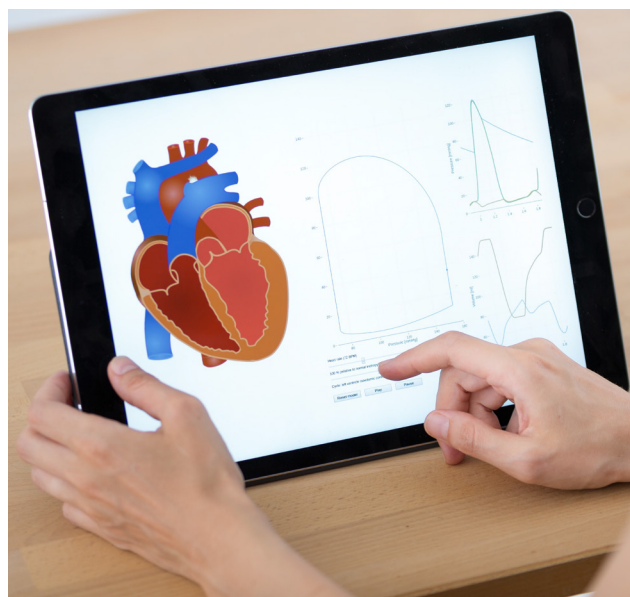
Přitom je třeba vzít v úvahu, že internetové prohlížeče se v posledních několika letech zásadně změnily. Webový prohlížeč a vykreslovač se v současné době stal tím, čím byl operační systém v minulém století. Proto jsme si pro implementaci našich simulátorů zvolili právě webové technologie (viz Obr. 6).

Klíčem k úspěchu při vytváření výukových aplikací je mezioborová spolupráce zkušených pedagogů, vytvářejících celkový návrh výukové aplikace, výtvarníků, kteří vytváří interaktivní grafiku - a také "grafické loutky" řízené modelem na pozadí (obrazně řečeno - obrázky "visící na nitích jednotlivých proměnných simulačního modelu jako grafické loutky"). Výtvarníci také celé aplikaci dodají profesionální vzhled.

Mozkem celé simulační aplikace je počítačový model běžící na pozadí výukové aplikace. Proto podstatným členem týmu je tvůrce matematických modelů implementovaných na počítači.

Celý tým ovšem musí spolupracovat jako celek a musí mít určitý překryv znalostí (viz Obr. 7).

Úspěšná práce multioborového týmu závisí také na výběru vhodných nástrojů a technologií (Obr. 8).



Obrázek 6 – Naším cílem je vytvářet výukové simulátory, které budou schopny běžet na jakékoli platformě (na počítači, tabletu nebo smartphonu) v různých operačních systémech pouze ve webovém prohlížeči, pokud možno i bez nutnosti stálého připojení k internetu.

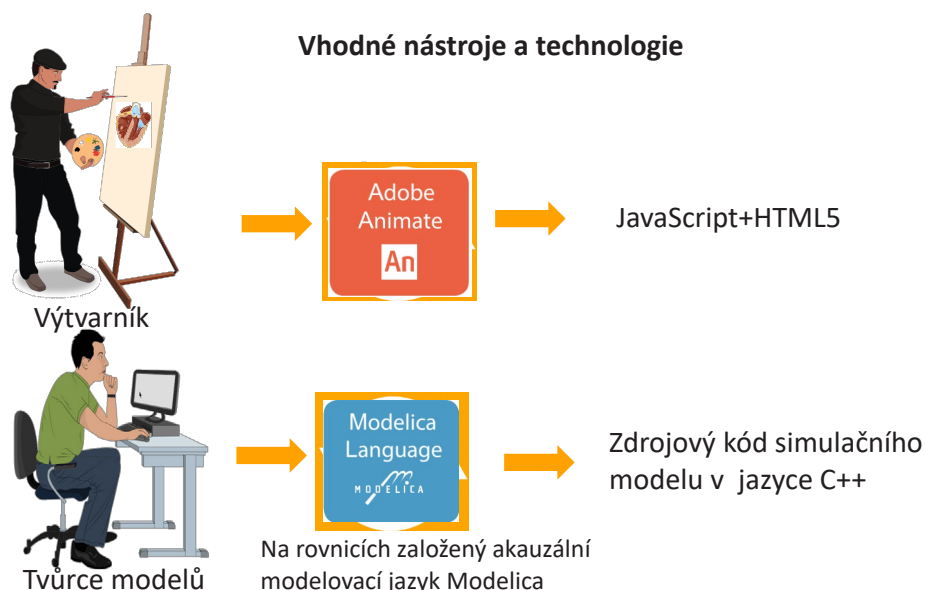
Jedním ze špičkových profesionálních nástrojů pro počítačovou grafiku jsou produkty firmy Adobe. Naši výtvarníci s nimi umí pracovat, ba co více, práci s těmito nástroji také učí na Vyšší odborné škole Václava Hollara.

Pro tvorbu animací využíváme software Adobe Animate, který vychází z původního nástroje pro tvorbu flashových animací Adobe Flash. Současný software Adobe Animate je přední špičkový nástroj pro tvorbu atraktivního interaktivního obsahu pro počítače, smartphony, tablety a televizory, podporuje novější platformy, jako jsou Android™, Apple iOS a Adobe AIR®.

Důležité je, že projekty v Adobe Animate je možné také vyexportovat jako zdrojový kód jazyka JavaScript s cílem, aby se animace chovaly v prohlížečích stejně, jako kdyby to byl normální výstup přehrávače Adobe Flash. K tomu Adobe využívá knihov-



Obrázek 7 – Základem úspěchu je interdisciplinární spolupráce profesionálů z různých oblastí. Pedagog vytváří scénář výukové aplikace a text učebnice (včetně konceptuálního návrhu obrázků a simulačních experimentů). Tvůrce modelů vytváří simulační modely využívané ve výukové aplikaci. Výtvarník vytváří interaktivní grafiku a výtvarný návrh celé aplikace. Interaktivní obrázky řízené modelem na pozadí se chovají jako "grafické loutky" - jejich tvar se může měnit podle hodnot simulačního modelu na pozadí. Všichni odborníci musejí být zvyklí pracovat spolu - pedagog musí chápat podstatu simulačního modelu a navrhovat jeho pedagogické využití, výtvarník musí umět navrhnout "grafickou loutku" a její řízení podle hodnot proměnných modelu, tvůrce modelu musí chápat smysl celé výukové aplikace a navrhnout vhodné propojení modelu s textovými a grafickými vstupy a výstupy. Tato multioborová spolupráce předpokládá určitý překryv znalostí.



Obrázek 8 – Při tvorbě aplikace využíváme vhodné nástroje a technologie. Výtvarník používá profesionální nástroje pro tvorbu interaktivní grafiky, např. Adobe Animate. Výsledkem je návrh animovaného obrázku ve formě vygenerovaného kódu HTML5 a JavaScriptu. Tvůrce modelů pracuje s vývojovým prostředím jazyka Modelica. Jazyk Modelica se řadí k tzv. na rovnicích založeným (equation based) jazykům. Model se popisuje soustavou rovnic a tvůrce modelu se nemusí starat o algoritmus numerického výpočtu hodnot výstupních proměnných modelu z hodnot vstupních proměnných. Nalezení (kauzálního) algoritmu řešení soustavy rovnic je úlohou překladače jazyka, který pro simulační numerické výpočty vytvoří zdrojový text programu v jazyce C/C++.

nu Easel.js (<https://www.createjs.com/easeljs>), která umožňuje zobrazování animací za použití plátna HTML5 (HTML5 canvas). Naše technologie proto využívá Adobe Animate pro tvorbu interaktivních animací, které propojujeme se vstupy a výstupy modelu. V budoucnu ale není problém rozšířit podporu i pro jiné animační knihovny.

Základem naší technologie BodyLight.js je používání standardů (Obr. 9):

1. Standardy internetových technologií:

- HTML5 aECMAScript 6. Na poli internetových technologií se v posledních letech udály velké změny, způsobené novými verzemi internetových standardů, jako například standard HTML5, který v roce 2014 kromě mnoha dalších věcí, přidal vektorové a rastrové kreslicí plátno. V roce 2015 vznikla norma ECMAScript 6 výrazně zlepšující syntaktickou příjemnost jazyka JavaScript. Tyto technologie změnily

dnešní prohlížeče k nepoznání. Pryč jsou dny kdy jsme byli nuceni spoléhat se na proprietární řešení od třetích stran jako byly přehrávače Flash nebo Silverlight, jenom proto, abychom mohli v prohlížeči nasazovat aplikace podobné těm desktopovým. Díky vytrvalému mezinárodnímu úsilí dobrovolníků, standardizačních skupin a velkých internetových společností je dnes možné implementovat obsahově bohaté webové aplikace jako nikdy předtím. Jak HTML, tak i ECMAScript se nadále vyvíjejí. Tyto standardy jsou v dnešní době na ročním cyklu vydávání nových verzí, které jsou následně zapracovávány do prohlížečů v rekordních časech.

- **Standard WebAssembly** (<https://webassembly.org/>). Doposud se v prohlížečích používá JavaScript (v jeho nejnovější specifikaci ECMAScript 2019), který se v prohlížečích interpretuje. Proto rychlost programů, které je možno v prohlížečích spouštět, je omezena. Spouštět v prohlížečích numericky náročné simulační modely je proto problematické. Vše se však mění nástupem nového standardu WebAssembly. WebAssembly zavádí binární formát instrukcí, které jsou určeny pro vykonání uvnitř zásobníkového virtuálního stroje. S WebAssembly jsou spojena velká očekávání, protože primární implementace jeho virtuálního stroje byla dosažena ve všech moderních prohlížečích. Dnes je tedy možné psát kód ve vyšších programovacích jazycích, například C/C++/Rust, a mít za cíl kompilace prohlížeč, kde kód běží rychlostí srovnatelnou s rychlostí kompilovaného kódu v jazyce C.

2. Standardy pro modelování:

- **Modelica** (<https://modelica.org/>). Modelica je standardizovaný jazyk zaštitěný organizací Modelica Association, nikoli proprietární produkt jedné firmy. Dnes existuje řada vývojových prostředí, pracujících s jazykem Modelica - my používáme profesionální nástroj Dymola od firmy Dassault Systemes. Existuje ale i OpenSource vývojové prostředí OpenModelica (<https://openmodelica.org/>). Toto prostředí, vyvíjené konsorciem 22 firem a 28 univerzit (Open Source Modelica Consortium) je dnes velice vyzrálé a je možné ho používat i pro poměrně rozsáhlé aplikace. My ho např. používáme ve výuce oboru Modelování a Simulace na FEL ČVUT.
- **Standardizované rozhraní simulačních modelů: Functional Mock-up Interface** (<https://fmi-standard.org/>). Při praktickém využití modelů vyvstává často problém, jak propojit vytvořený simulační model s ostatními programy, které model využívají. Tento problém zvláště ostře vyvstal v automobilovém průmyslu, kde se často kombinují softwarové systémy různých výrobců. Proto se začalo volat po vzniku nějakého standardizovaného rozhraní mezi modelem a jeho okolím, který by dovolil propojit simulační model s okolím: tj. domluvit se jakým způsobem komunikovat se vstupními a výstupními proměnnými, jak zadávat hodnoty parametrů, jak spouštět model, třeba jen na určitý časový krok apod. Vývoj standardu, nazvaného "funkční maketové rozhraní" - Functional Mock-up Interface (FMI) inicioval Daimler AG s cílem zlepšit výměnu simulačních modelů mezi dodavateli a ostatními výrobcí programových systémů. První verze, FMI 1.0, byla vydána v roce 2010 a následovala FMI 2.0 v červenci 2014. K dnešnímu dni pokračuje vývoj standardu jako projekt sdružení Modelica Association. FMI je podporováno více než stovkou nástrojů a používá se v průmyslu a ve výzkumné a vývojové sféře v celé Evropě, Asii a Severní Americe.

FMI je standard, který podporuje jak komunikaci aplikace s modelem, tak i komunikaci více běžících dynamických modelů mezi sebou - tzv. kosimulaci pomocí kombinace xml souborů a C-kódu.

Vývojová prostředí pro jazyk Modelica - Dymola i OpenModelica umožňují model a jeho runtime exportovat podle standardu FMI do tzv. "funkčních maketových jednotek" - Functional Mock-up Unit (FMU) obsahujících zdrojový kód modelu v jazyce C a popisný xml soubor. V naší technologii pak takto vygenerovaný zdrojový text modelu v jazyce C transpilujeme do kódu WebAssembly, což umožňuje, aby simulační model běžel vysokou rychlostí na straně klienta v internetovém prohlížeči.

3. Standardy pro vizualizace - javascriptové knihovny a HTML5. Díky technologii WebAssembly do níž byl díky standardu FMI překompilován simulační model máme k dispozici simulační jádro webové aplikace, běžící v internetovém prohlížeči. Potřebujeme ale také vytvořit způsob komunikace s modelem. Měli bychom být schopni zobrazovat výstupní hodnoty modelu a měnit jeho vstupy, resp. parametry modelu. JavaScript pro zobrazení výstupů modelu poskytuje velké možnosti. Pro zobrazení grafů existuje celá řada JavaScriptových knihoven. Pro zobrazení hodnot v čase jsme si zatím vybrali opensourcovou grafickou knihovnu plotly.js (<https://plot.ly/javascript/>), která umožňuje zobrazení grafů v reálném čase. V budoucnu není problém doplatit podporu i pro jiné grafické knihovny, které možná odstraní výkonostní problémy, kterými Plotly trpí, zvláště když je vyžadována rychlá obnovovací frekvence.

Výstupem modelu ale nemusí být jenom graf. Pro výukové aplikace je výhodné, když je model propojen s animovanými obrázky. Animovaný obrázek je pak řízen hodnotami výstupů modelu na pozadí, stejně tak hodnoty vstupů (parametrů modelu) mohou být zadávány interakcí uživatele s animovanou komponentou.

Pro tvorbu interaktivních animací využíváme software Adobe Animate, který umožňuje vyexportovat animaci jako zdrojový kód jazyka JavaScript, využívající knihovnu Easel.js (<https://www.createjs.com/easeljs>), která k vykreslování animací používá plátno HTML5 (HTML5 canvas).

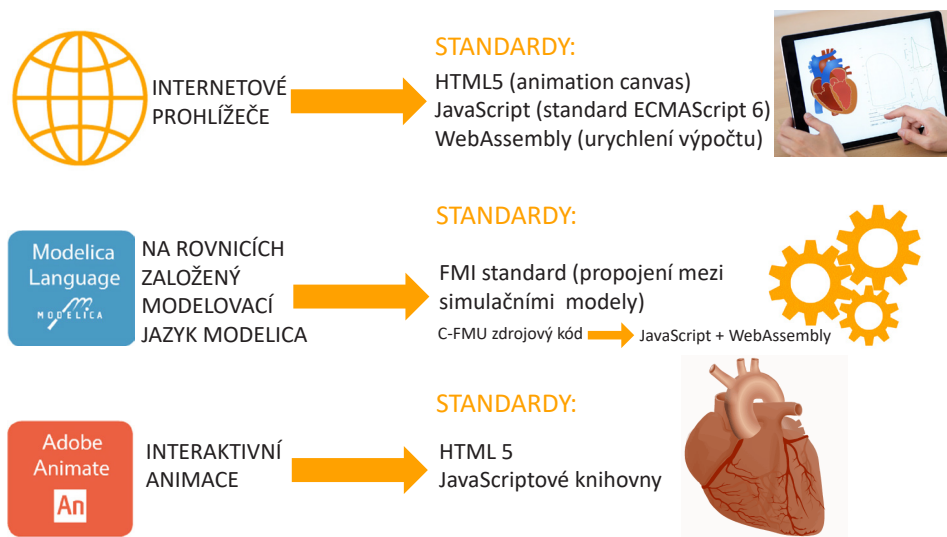
Na tvorbu finální aplikace jsme napsali vývojový nástroj nazvaný Composer, který umožňuje vizuální tvorbu webových stránek. Composer je napsaný v JavaScriptovém frameworku React (<https://reactjs.org/>) a jako jednostránková aplikace běží v prohlížeči. Composer hojně využívá výsledků opensourcového projektu Grapes.js (<https://grapesjs.com/>), který umožňuje jednoduché skládání rozložení (layout) stránky HTML.

Composer umožňuje načíst zkompileované WebAssembly FMU a vizualizace z Adobe Animate. Dále obsahuje ovládací prvky pro vstup do modelu; posuvníky, tlačítka a přepínače.

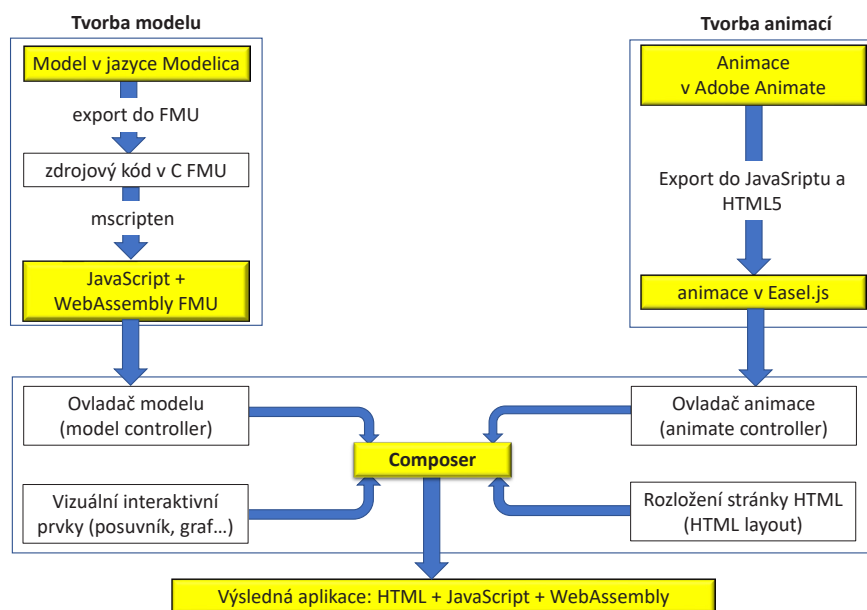
Výstupem z composeru je samostatný HTML soubor, který obsahuje zkompileovaný WebAssembly model a k němu obslužnou logiku výměny dat mezi modelem a animacemi. Dále pak zdrojový kód pro animace a její ovládací logiku.

Návaznost jednotlivých kroků naší technologie zobrazuje Obr. 10.

Composer je interaktivní vývojový nástroj, kam výtvarník umístí grafické komponenty a tvůrce modelů své zkompileované modely ve formě JavaScriptu a WebAssembly. Interaktivní formou je v Composeru možné vytvořit a odladit vizuální návrh aplikace. Composer umožňuje vygenerovat aplikaci spustitelnou v internetovém prohlížeči bez připojení k internetu. Aplikace se skládá z HTML5, zdrojových kódů v jazyce Javascript a WebAssembly. To je pak možné spustit ve všech moderních webových



Obrázek 9 – Naše technologie BodyLight.js využívá nové standardy. Pro internetové prohlížeče využíváme normu HTML5 s animačním plátnem (animation canvas), jazyk JavaScript podle nového standardu ECMAScript 6 a novou normu WebAssembly pro urychlení výpočtů v internetovém prohlížeči. Pro modelování využíváme jazyk Modelica, pro propojení modelu s okolním prostředím (interaktivní grafikou apod.) využíváme standard FMI. Tato norma nám umožní zdrojový text modelu, přeložený z jazyka Modelica do jazyka C ve formě tzv. standardizovaných jednotek C-FMU, standardizovaným způsobem překonvertovat do jazyka JavaScript a WebAssembly. Interaktivní animace jsou zakódovány do HTML5 a JavaScriptu s využitím příslušných grafických knihoven v jazyce JavaScript.



Obrázek 10 – Propojení tvorby modelu a animací v naší technologii BodyLight.js

prohlížečích, animovaná interaktivní grafika i veškeré simulační výpočty probíhají uvnitř internetového prohlížeče (Obr. 11).

Příklady aplikací vytvořených technologií BodyLight.js jsou uvedeny na obrázcích 12-13. Jedné z těchto aplikací - metabolismu železa, je věnován samostatný článek v tomto sborníku.

Pomocí technologie BodyLight.js je možné vytvářet elektronické učebnice, které kombinují hypertext, multimedia a interaktivní grafiku se simulačními modely na pozadí. Touto cestou vzniká zcela nový druh elektronických učebních materiálů.

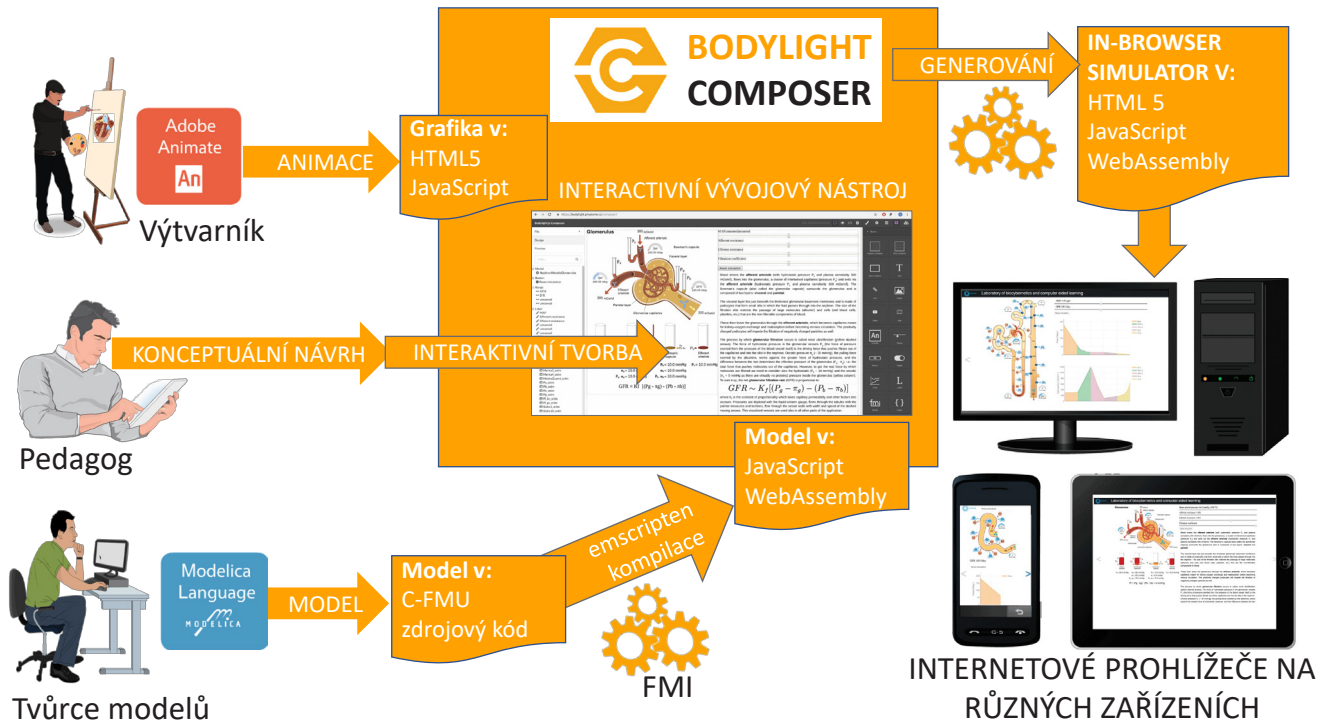
Základní webová stránka naší technologie BodyLight.js je na adrese <https://bodylight.physiome.cz/>. Tam je také k dispozici uživatelská dokumentace (včetně videotutoriálu) a vlastní nástroj Composer pro tvorbu webových simulátorů.

Bodylight.js je licencován pod licencí General Public License 3.0 a je nabízen pro kohokoli zdarma. Kolem naší nové technologie chceme postupně vytvářet komunitu uživatelů i přispěvatelů.

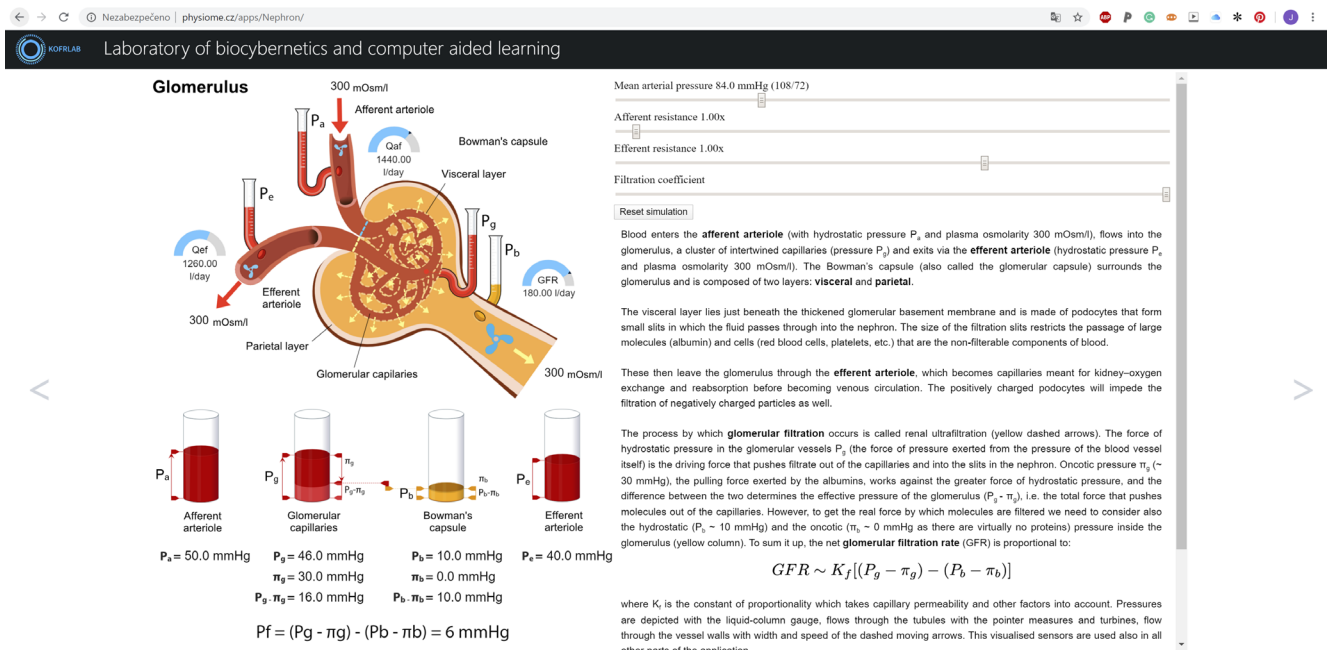
Technologie tvorby webových simulátorů BodyLight.js je velice čerstvá a zatím s ní sbíráme zkušenosti. Na mezinárodním fóru jsme o ní referovali v březnu loňského roku na 13. mezinárodní konferenci Modelica a v časopise Journal of Internet Medical Research [22,23].

Nástroje technologie BodyLight.js usnadňují vytváření výukových simulátorů nejen ve fyziologii, ale také v dalších oborech, kde lze chování systémů popsat matematickými rovnicemi, včetně biologie, fyziky, chemie, inženýrství a ekonomiky.

Na základě zkušeností s vytvářením výukových aplikací vznikají potřeby dalšího rozšíření této technologie. Zejména se formulují požadavky na další vývoj nástroje Composer.



Obrázek 11 – Pro vývoj aplikace využíváme námi vytvořený interaktivní vývojový nástroj BodyLight Composer. Výtvarník do tohoto nástroje umístí grafické komponenty ve formě HTML5 a zdrojového kódu v jazyce JavaScript. Model původně vytvořený v jazyce Modelica a přeložený do jazyka C ve formě tzv. jednotek C-FMU převedeme (emscripten kompilací) do JavaScriptu a WebAssembly. V nástroji BodyLight Composer navrhujeme vizuální tvář aplikace a propojení grafiky s proměnnými modelu. Nástroj nám umožní vygenerovat simulátor jako webovou aplikaci sestávající z HTML5, a zdrojových kódů v jazyce JavaScript a WebAssembly. Tuto aplikaci pak mohou přehrát všechny moderní webové prohlížeče. Grafika i simulační výpočty probíhají uvnitř internetového prohlížeče (proto hovoříme o in-browser simulačních výpočtech). Výsledná aplikace je proto spustitelná v internetovém prohlížeči na jakýchkoli zařízeních a operačních systémech a nevyžaduje trvalé připojení k internetu.

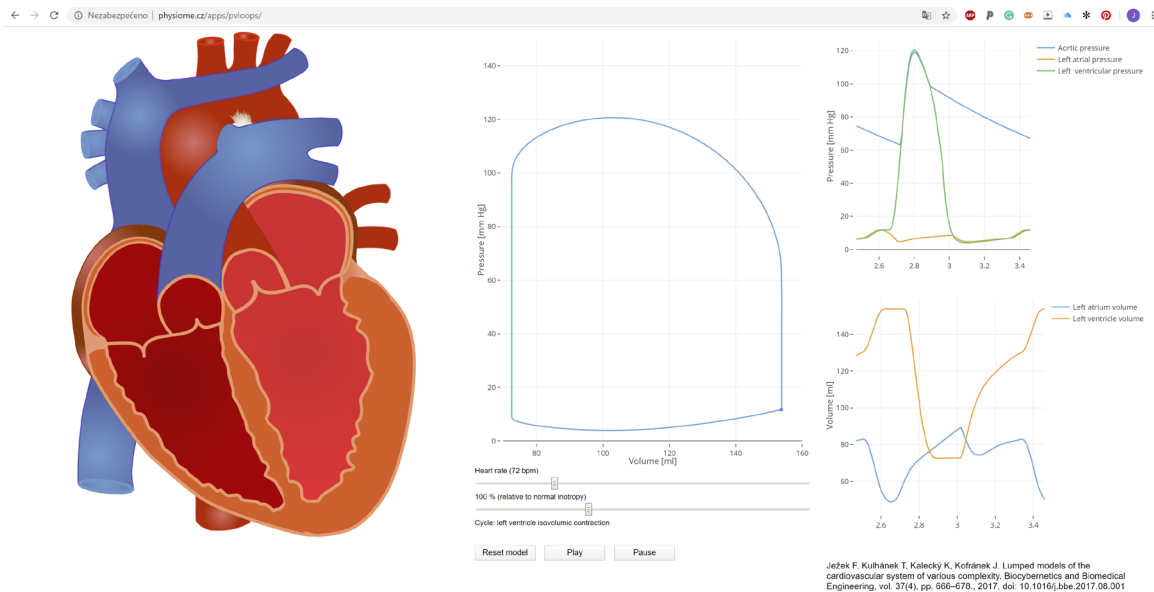


Obrázek 12 – Příklad vytvořené výukové aplikace, zaměřené na vysvětlení základních funkcí nefronu (<http://www.physiome.cz/apps/Nephron/>). Na obrázku je část věnovaná vysvětlením funkce glomerulu. O této aplikaci jsme referovali na 13. mezinárodní konferenci Modelica [22].

5 Závěr

Tvorba kvalitního výukového softwaru, který by dokázal využít potenciál, který rozvoj informačních a komunikačních technologií přinesl, dnes nestojí na pílí a nadšení jednotlivců. Je to ná-

ročný 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 vytvo-



Obrázek 13 – Příklad vytvořené výukové aplikace - tlakově-objemové křivky srdečního cyklu. V levé části obrázku je animovaný schematický průřez srdcem - příslušné chlopně se otevírají a zavírají podle dat v modelu, stejně tak se podle aktuálních hodnot objemu krve v síních a komorách naplňují a smršťují síně a komory pravého a levého srdce. V grafu uprostřed obrázku se průběžně vykresluje tlak a objem levé komory. V pravé horní části obrázku se zobrazují tlaky v levé síni, levé komoře a aortě, v pravé dolní části jsou vykreslovány objemy krve v levé síni a levé komoře. Aplikace je dostupná na adrese <http://www.physiome.cz/apps/pv/loops/>.

ření simulačních modelů pro výukové simulační hry, výtvarníky, kteří vytvářejí vnější vizuální podobu, až po programátory, kteří celou aplikaci „sešijí“ do výsledné podoby. Aby mezioborová spolupráce byla účinná, je zapotřebí pro každou etapu vývoje mít k dispozici řadu specifických vývojových nástrojů a metodologií, které práci jednotlivých členů mezioborového týmu usnadní a pomohou jim překonat mezioborové bariéry.

Unikátnost tvorby simulačních aplikací pomocí „BodyLight.js“ spočívá v tom, že umožňuje propojení a využití dvou různých technologií - technologií tvorby matematických modelů v moderním jazyce Modelica a technologii tvorby grafických komponent (vytvářených v nástrojích pro vývoj 2D a 3D interaktivní grafiky). Tím usnadní spolupráci profesionálů vytvářejících simulační modely (v jazyce Modelica), výtvarníků vytvářejících grafické komponenty (ve standardních profesionálních nástrojích pro tvorbu interaktivní grafiky) a pedagogů, vytvářejících scénář výukové simulační aplikace.

Literatura

- [1.] Knuth DE. *Art of Computer Programming, Volumes 1-4A Boxed Set*. Addison-Wesley Professional; 2011.
- [2.] Knuth DE. *The TEXbook, volume A of Computers & Typesetting*. Addison-Wesley Reading, MA; 1986.
- [3.] Knuth DE. *TEX: The Program, volume B of Computers and Typesetting*. Addison-Wesley Reading, MA; 1986.
- [4.] Knuth DE. *The METAFONTbook, volume C of Computers and Typesetting*. Addison-Wesley Reading, MA; 1986.
- [5.] Knuth DE. *METAFONT: The Program, volume D of Computers and Typesetting*. Addison-Wesley Reading, MA; 1986.
- [6.] Knuth DE. *Computer Modern Typefaces, volume E of Computers and Typesetting*. Addison-Wesley Reading, MA; 1986.
- [7.] Lhotka L. Počátky TeXu v Československu: paklík disket a příprava fontů na PC XT. In: root.cz [Internet]. 1 Oct 2018 [cited 3 Mar 2020]. Available: <https://www.root.cz/clanky/pocatky-texu-v-ceskoslovensku-paklik-disket-a-pripava-fontu-na-pc-xt/>
- [8.] Daum O, Dunder P, Hermanová M, Honsová E, Kodet R, Aleš MRR. *Pa-tologie, učebnice pro lékařskou fakultu, svazek 1-3. Zámečník J, editor*. Prager Publishing; 2019.
- [9.] Boron WF, Boulpaep EL. *Medical Physiology, third Edition*. Elsevier Health Sciences; 2017.
- [10.] Leisman S, Burkhoff D. Use of an iPad App to simulate pressure-volume loops and cardiovascular physiology. *Adv Physiol Educ*. 2017;41: 415–424.
- [11.] Comenius JA. *Schola ludus seu Encyclopaedia Viva*. Sarospartak; 1656.
- [12.] Kofranek J, Matousek S, Rusz J, Stodulka P, Privitzer P, Matejak M, et al. *The Atlas of Physiology and Pathophysiology: Web-based multimedia enabled interactive simulations*. *Comput Methods Programs Biomed*. 2011;104: 143–153.
- [13.] Kofránek J, Mateják M, Privitzer P. *Web simulator creation technology*. MEFANET report. 2010;3: 32–97.
- [14.] Polák D, Ježek F, Šilar J, Kofránek J. *Technologie tvorby webových simulátorů*. MEDSOFT. 2019;31: 122–139.
- [15.] Mateják M, Kulhánek T, Šilar J, Privitzer P, Ježek F, Kofránek J. *Physio-library-Modelica library for physiology*. *Proceedings of the 10th International Modelica Conference, March 10-12; 2014; Lund; Sweden*. Linköping University Electronic Press; 2014. pp. 499–505.
- [16.] Mateják M, Ježek F, Tribula M, Kofránek J. *Physiolibrary 2.3-An Intuitive Tool for Integrative Physiology*. IFAC-PapersOnLine. 2015;48: 699–700.
- [17.] Ježek F, Kulhánek T, Kalecký K, Kofránek J. *Lumped models of the cardiovascular system of various complexity*. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. 2017;37: 666–678.
- [18.] Matejak M, Tribula M, Ježek F, Kofranek J. *Free Modelica Library for Chemical and Electrochemical Processes*. *Proceedings of the 11th International Modelica Conference, Versailles, France, September 21-23, 2015*. Linköping University Electronic Press; 2015. pp. 359–366.
- [19.] Mateják M, Kofránek J. *Physiomodel - an integrative physiology in Modelica*. 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2015. pp. 1464–1467.
- [20.] Kofránek J, Kulhánek T, Mateják M, Ježek F, Šilar J. *Integrative physiology in Modelica*. *Proceedings of the 12th International Modelica Conference, Prague, Czech Republic, May 15-17, 2017*. Linköping University Electronic Press; 2017. pp. 589–603.

- [21.] Mateják M. *Formalization of Integrative Physiology*. Charles University in Prague. Kofránek J, editor. Ph.D., Charles University. 2015. Available: <https://github.com/MarekMatejak/dissertation/blob/master/thesis.pdf>
- [22.] Šilar J, Ježek F, Mládek A, Polák D, Kofránek J. *Model visualization for e-learning, Kidney simulator for medical students*. Proceedings of the 13th International Modelica Conference, Regensburg, Germany, March 4--6, 2019. Linköping University Electronic Press; 2019. pp. 393–402.
- [23.] Šilar J, Polák D, Mládek A, Ježek F, Kurtz TW, DiCarlo SE, et al. *Development of In-Browser Simulators for Medical Education: Introduction of a Novel Software Toolchain*. *J Med Internet Res*. 2019;21: e14160.

Kontakt

doc. MUDr. Jiří Kofránek, CSc.

Oddělení biokybernetiky
Ústav patologické fyziologie
1. LF UK
e-mail: kofranek@gmail.com
tel:+420 777 68 68 68

ing. Filip Ježek, Ph.D.

Oddělení biokybernetiky
Ústav patologické fyziologie
1. LF UK
e-mail: jezekf@gmail.com

ing. Jan Šilar, Ph.D.

Oddělení biokybernetiky
Ústav patologické fyziologie
1. LF UK
e-mail: jansilar@post.cz

RNDr., Mgr et Mgr Arnošt Mládek, Ph.D.

Oddělení biokybernetiky
Ústav patologické fyziologie
1. LF UK
e-mail: arnost.mladek@gmail.com

Mgr. Marek Mateják, Ph.D.

Oddělení biokybernetiky
Ústav patologické fyziologie
1. LF UK
e-mail: matejak.marek@gmail.com

Mgr. Tomáš Kulhánek, Ph.D.

Oddělení biokybernetiky
Ústav patologické fyziologie
1. LF UK
e-mail: tomas.kulhanek@matfyz.cz