

ZKUŠENOSTI Z INOVACE VÝUKY MODELOVÁNÍ A SIMULACE NA FEL ČVUT

Filip Ježek, Tomáš Kroček, Marek Mateják, Jiří Kofránek

Klíčová slova

Výuka, Modelica, OpenModelica, Modelování a simulace

Anotace

V zimním semestru 2011 jsme odučili první semestr inovovaného předmětu Modelování a simulace pro magisterský obor Biomedicínské inženýrství na Katedře kybernetiky FEL ČVUT. Těžiště inovace spočívalo zejména ve změnách cvičení – oproti minulým letům, kdy se na cvičení vyučoval jazyk MATLAB/Simulink, rozhodli jsme se zacílit na moderní jazyk Modelica, což si vyžádalo kompletní revizi předmětu. Získané poznatky se dají využít při výuce jakéhokoli předmětu, kde cvičíme zejména dovednosti.

Jelikož jazyk není syntakticky složitý, prakticky od začátku jsme začali pracovat na jednoduchých modelech fyziologických procesů. Důraz byl kladen zejména na analýzu a pochopení modelu, čímž se studenti učili nejen chápat části fyziologie (jejíž základy již mají z minulých předmětů), ale i analyticky přemýšlet a skládat si souvislosti. Stavěli jsme před studenty náročná témata, což povětšinou vedlo k hlubšímu zájmu a pochopení látky. Předmět patřil mezi časově náročné, měl domácí úlohu na každou hodinu (cca 4h domácí práce týdně), testy v semestru a semestrální práci (cca 50h). S náročnými úkoly však musí být cvičící vždy připraveni a ochotni pomoci a vysvětlit. Zejména u méně zorientovaných studentů bylo třeba mnoho úsilí proto, aby z předmětu neodcházeli frustrováni. Studenti FEL obecně nejsou zvyklí chodit konzultovat, přesto se nám podařilo je na tuto jinde běžnou praxi navyknout.

V článku prezentujeme výukové postupy a jejich zhodnocení, některé klíčové postřehy, dále srovnáváme vývojová prostředí a praktickou využitelnost znalostí pro absolventy.

Úvod

V zimním semestru 2011 jsme odučili první semestr inovovaného předmětu Modelování a simulace pro magisterský obor Biomedicínské inženýrství na Katedře kybernetiky FEL ČVUT.

Těžiště inovace spočívalo zejména ve změnách cvičení – oproti minulým letům, kdy se na cvičení vyučoval jazyk MATLAB/Simulink, rozhodli jsme se zacílit na moderní jazyk Modelica, což si vyžádalo kompletní revizi předmětu.

Cíle

Hlavním cílem předmětu bylo seznámit studenty s možnostmi modelování a simulace. Jak je zmíněno výše, jako hlavní jsme si vybrali jazyk Modelica pro jeho názornost a jednoduchost. Na přednáškách se pak probíral teoretický základ modelování, včetně základů teorie řízení.

Vedlejším cílem bylo získat obecné inženýrské kompendium znalostí, mezi něž patří zejména:

- **Porozumění a analýza problému** – pokud máme modelovat systém, musíme ho nejprve pochopit a rozhodnout o úrovni detailů či zjednodušení, mít nad systémem jakýsi obecný nadhled
- **Fyziologické souvislosti** – jelikož jsme na oboru biomedicína, předkládali jsme studentům většinou úlohy založené na lidské fyziologii, jako například regulace teploty těla, jednoduchý krevní oběh a podobně.
- **Technické zprávy** – ke každé úloze museli studenti vypracovávat zprávu, kde měli stručně shrnout o co šlo, co vyšlo a co to znamená. Snažili jsme se jim vštípit technickou úroveň reportu.
- **Prezentační dovednosti** – závěrem předmětu (a nejvíce hodnocenou částí) je semestrální práce, prezentovaná před kolegy a vyučujícími. Zde se mimo jiné ukazuje, jestli studenti svému problému opravdu porozuměli, dokázali ho správně zpracovat a zejména dokáží-li si svůj přístup obhájit.
- **Práce v týmu** – semestrální práce byly většinou pro skupinky o dvou až třech studentech. Ukázalo se, že členové skupinky opravdu pracovali dohromady, stav kdy se jeden člen "svezl" byl ojedinělý.

Dalším, trochu skrytým, cílem bylo výukou v OpenModelice pomoci toto prostředí odladit a nalézt chyby, které pokročilý uživatel nepotká. Bohužel uživatelské prostředí nebylo v té době (říjen 2011) ještě dostatečně zralé, takže po počátečních problémech jsme přešli na Dymolu a za zpracování a report chyb v OpenModelice přidávali bonusové body navíc.

Přednášky

Základ změn tkví zejména ve cvičeních. Cvičení navazovala na přednášky tematicky, nikoli však obsahově – na cvičeních se řešily především implementační problémy. Celkem přednášeli 4 osoby, vždy odborník na dané téma (základy jazyka modelica, řízení, fyziologické systémy, farmakokinetika a epidemiologie). V takovém počtu je obtížné přednášející koordinovat, celkově chyběla návaznost na další přednášky a často i na cvičení, jelikož si každý přednášející téma vyložil trochu jinak. Čili zapojení více přednášejících se neukázalo být dobrým krokem. V příštím běhu počet omezíme maximálně na dva, případně by byla nutná pevnější kontrola přednášeného sylabu.

Cvičení

V semestru bylo celkem 13 cvičení, z nichž vzniklo celkem 10 domácích úloh. Odevzdání všech úloh alespoň na minimální úrovni byl jeden ze základních požadavků. Úlohy obsahovali i náročnější části, které tvořili 10 % závěrečného hodnocení. Body za práci v OpenModelice byly čistě navíc.

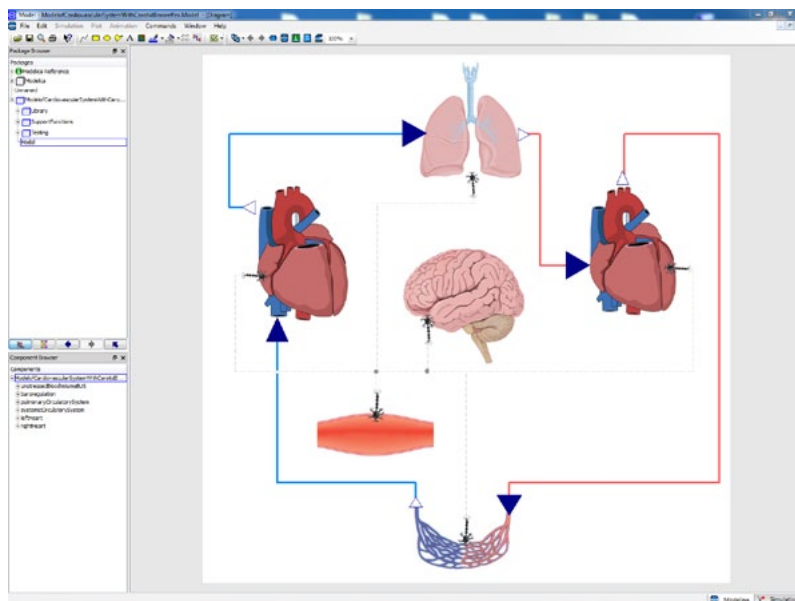
Předmět nebyl pouze o jazyce Modelica, součástí byl i náhled a srovnání se simulinkovými schématy (které byly většinou již předem známé), dále seznámení se simulačním programem pro farmakokinetiku MWPharm a prostředím JSim pro identifikaci modelu z dat.

Jazyk Modelica

Modelica je objektový hierarchický akauzální jazyk s grafickým uživatelským rozhraním, které umožňuje model vizuálně skládat z předem připravených komponent.

Modelovací prostředí Modelica zesnadňuje modelování systémů na tolik, že se se studenty můžeme více zabývat analýzou systému – Modelica zápis je v podstatě výsledek takové analýzy. Na druhou stranu zatím chybí funkční podpora analýz systému, stability, optimalizační funkce a další nástroje, často používané při modelování a simulacích. Zmíněné nástroje jsou buďto komerční a velmi drahé, nebo ještě ne zcela odladěné (OMOptim).

Jednou z výhod jazyka Modelica je jeho otevřenost – existují jak komerční proprietární prostředí (například Dassault Dymola, Mathcore MathModelica), ale i OpenSource projekty – OpenModelica (OpenModelica Consortium www.openmodelica.org). Díky otevřenosti nejsou studenti vázáni školní licencí produktu, ale mohou jazyk volně používat ve své další praxi. Takovouto výhodu nemá mnoho simulačních prostředí, již zmíněný Simulink bývá součástí školních licencí, ale po ukončení studia je absolventům finančně nedostupný. Stejně tak jiná komerční simulační prostředí bývají velmi nákladná.



Obrázek 1 — Ukázka prostředí Dymola s jednou z velmi zdařilých semestrálních prací studentů "Model kardiovaskulárního systému s karotidovým baroreflexem"

Software – OpenModelica vs. Dymola demo

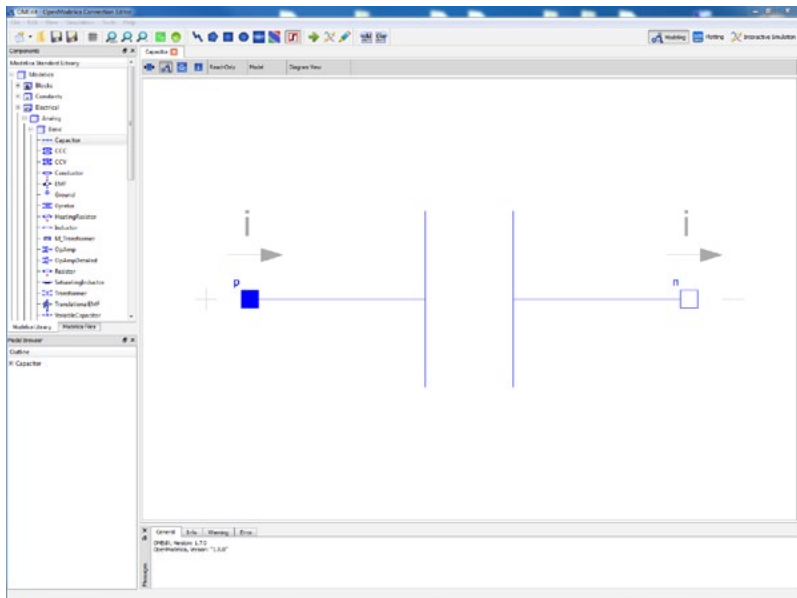
Nedokonalá funkčnost softwaru byl hlavním zmiňovaným problémem předmětu. V počátku roku jsme totiž využívali prostředí OpenModelica, OpenSource prostředí pro vývoj v jazyce Modelica. Během dvou měsíců bylo vydáno několik aktualizací a záplat, které s rozdílnými výsledky opravovaly některé ze zásadních chyb. Paradoxně některé problémy přibýly.

Frustrace studentů z nutnosti instalace nových a nových verzí, z čehož každá má nějaké (a jiné) problémy, vedla k zavedení Dymoly jakožto hlavní platformy. Domácí úkoly byly navrženy tak, aby šly vypracovat i v demo verzi tohoto prostředí.

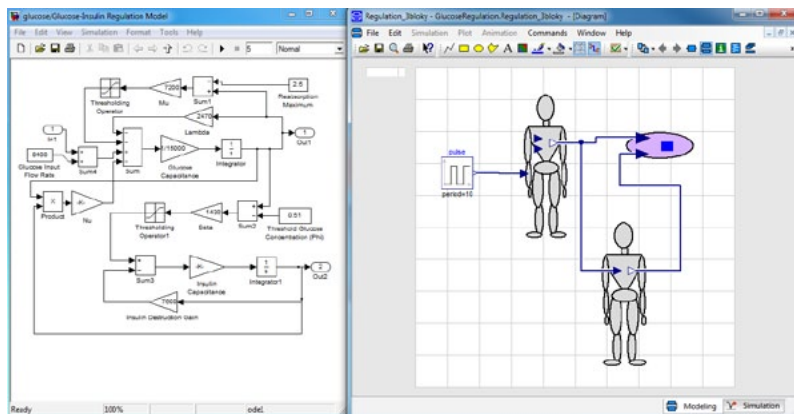
OpenModelica má stále problémy zejména s vizuálním režimem, kompilátor je na relativně dobré (a stále se zlepšující úrovni). Ačkoli obě prostředí operují se stejným jazykem, existují zde drobné rozdíly – například při inicializaci, kdy Dymola lépe sama odhaduje počáteční stavy a to někdy i proti naší vůli – musí se tedy nastavit explicitně, nebo grafické reprezentace nejsou mezi prostředími dobře přenosné.

Pokud bychom pracovali s jednoduššími, převážně nehierarchickými modely, OpenModelica by byla dostatečným řešením.

Studenty hodně mate práce v různých prostředích, na druhou stranu se domníváme, že to prohlubuje pochopení. problému. Prostředí jim ovšem nemůžeme střídat neustále, spíše by bylo lepší uprostřed semestru udělat jednu úlohu v OpenModelica, předem důkladně odzkoušenou. Obzvláště



Obrázek 2 — Ukázka prostředí OpenModelica, OpenSource variantě Dymoly.



Obrázek 3 — Ukázka výsledků jedné z domácích úloh – implementace modelu glukózy v prostředí Simulink (vlevo) a v jazyce Modelica (vpravo – zde prostředí Dymola)

na začátku semestru nebyla OM natolik odladěná, aby umožňovala práci. Během tří měsíců se všem rapidně vylepšila, ovšem frustrace studentů dosáhla takové úrovně, že ji odmítali dále využívat.

Proto pro výuku je třeba používat jednu definovanou verzi, na které odladíme cvičené modely tak, aby nemohl nastat problém.

Pro výuku a domácí úlohy byla postačující demo verze Dymoly. Od plné verze se liší pouze nemožností simulovat rozsáhlejší modely. Definici rozsáhlosti je ovšem nejasná, proto domácí úlohy museli být zjednodušeny a vyzkoušeny přímo pro demo verzi. V zásadě je omezení na cca 50 rovnic, včetně rovnic connect sloužících ke spojování prvků. Na druhou stranu omezení demo verzí nás nutilo připravovat dostatečně jednoduché a přehledné úlohy. Jediný logický problém byl snad u expandable konektorů, kdy u tak jednoduchého zapojení by se normálně tyto konektory stěží uplatnili.

Důsledná kontrola plagiátů a testy

Náš odevzdávací systém pro domácí úlohy (cw.felk.cvut.cz) má zabudovanou kontrolu plagiátů, nicméně není přizpůsoben pro jazyk Modelica, kde rozdíl v jednom znaménku je pro model zásadní, naopak například dva řádky generovaného kódu znamenají v grafickém zázornění pouze úsečku navíc bez efektu na funkci. Přesto jsme se snažili plagiáty odhalovat a silně je penalizovat.

Nejllepší metodou je použít test, kde studenti nemají možnost vzájemné komunikace a kde se projeví, jestli látce samostatně rozumí. Test v druhé půlce semestru ukázal, že většina umí s Modelicou pracovat, chybí jim však větší nadhled a schopnost problém analyzovat a model odladit.

Náročnost úloh

Úlohy nebyly z našeho pohledu vůbec náročné, odhadovali jsme je na cca půl až hodinu práce. Přesto, studenti se často dlouze potýkali s drobnými

problémy, nicméně ti co je sami překonali si řešení jistě zapamatovali. Vždy jsme však nabízeli konzultace, ať už po e-mailech, nebo osobní, kde jsme se trpělivě snažili problém vysvětlit. I tak nebylo výjimkou, že studenti nad úlohou trávili pět i více hodin.

Úlohy byly hodnoceny 0 body, přesto musely být všechny odevzdány v náležité kvalitě. U většiny byla možnost " bonusu", tedy bodů, které dohromady tvořili 10 % hodnocení. Kdo tedy nedělal bonusy, neměl šanci na nejlepší známku. Úlohy sami o sobě byly poté hodnoceny u zkoušky, kde se mělo zjistit, jestli student úlohu vypracoval sám a problému rozumí. To se ukázalo jako poněkud demotivační, příště budeme raději nějaké body udělovat rovnou. Součástí hodnocení by měla být i úroveň zprávy.

Časová náročnost výuky

Celkově se na předmětu podíleli 4 přednášející a 3 cvičící, celkem 6 osob.

Celkovou časovou náročnost výuky odhaduji na 1.2 úvazku, zejména z důvodu organizace a tvorby nových úloh a zadání. Cca 3 hodiny týdně zabrali konzultace, o zkouškovém období jejich četnost stoupla na minimálně dvojnásobek. Studenti ČVUT FEL nejsou příliš zvyklí konzultovat úlohy mimo čas cvičení, čili trvalo zhruba dva měsíce než začali chodit, ačkoli jsme tuto možnost připomínali téměř každé cvičení.

Semestrální práce

Semestrální práce byl jakýmsi vyvrcholením předmětu, kdy studenti měli být schopni sestavit model v jazyce Modelica a to buďto podle nějakého vědeckého článku, zabývajícího se nejlépe fyziologií, nebo konverzí modelu z Katalogu modelů (s dostupnou Simulinkovou implementací) anebo přijít s něčím zcela vlastním.

Na semestrální práci si měli studenti upevnit získané znalosti jazyka a zejména se naučit problém samostatně analyzovat, rozdělit na logické celky a po částech implementovat, otestovat a výsledky interpretovat. Celkově byly práce úspěšné, rozpačité byly akorát některé konverze ze Simulinku, bez hlubšího pochopení dějů a chování modelovaného systému. V Modelica implementaci je možné zapojením vystihnout podstatu systému a nesoustředit se jen na postup výpočtu, jak je nutné například v Simulinku. Takový model je potom mnohem přehlednější a je snadnější ho rozšiřovat o další podrobnosti.

Průměrně semestrální práce zabrala 50 hodin, průměrné hodnocení bylo 26 z celkem 30 bodů.

Studenti tvořili v plné verzi prostředí Dymola.

Výsledky předmětu

Předmět úspěšně dokončilo 39 studentů z původně 50 zapsaných, tedy 78%, což se na první pohled může zdát jako malé číslo, nicméně 2 studenti vůbec nenastoupili, 1 mezitím úspěšně dokončil studium, 5 přestalo chodit během semestru a pouze 2 studenti vzdali během zkouškového období, pravděpodobně kvůli nedokončeným úlohám.

V zásadě se dá říci, že kdo projevil snahu a investoval dostatek času, tomu jsme se věnovali natolik, že byl schopen předmět vlastními silami dokončit.

Praktická využitelnost znalostí

Ze semestrálků bylo vidět, že studenti jsou schopni namodelovat systém podle zadání. Jedním z našich cílů však bylo pomoci absolventům s rozhodováním za pomoci modelování a simulace. Budou-li mít k dispozici prostředí Dymola, pak mohou dovednosti využívat, bohužel negativní zkušenosti s tehdy nezralým prostředím OpenModelica bude mít silně odrazující efekt.

Na druhou stranu, pokud se absolvent ve své praxi setká s podobným požadavkem, rozhodně mu zůstane přehled o tom, jakým způsobem by problém šel řešit.

Praktickou využitelnost dalších cílů předmětu považujeme v inženýrské praxi za samozřejmou.

Zpětná vazba od studentů

Anketa hodnocení výuky ČVUT nemá bohužel vypovídající hodnotu, jelikož hodnotilo pouze 6 procent studentů (3/49). Z osobních pohovorů byli celkově studenti nejvíce frustrováni počátečními problémy se softwarem, dále nejasnostmi v zadání domácích úkolů a časovou náročností domácích úloh. Někteří si stěžovali i na vyhlášení zkoušky, jejíž formu jsme upřesnili až ke konci semestru. Po uzavření předmětu si stěžoval málokdo, většinou oceňovali naši snahu a upozorňovali na nedotaženosti zadání úloh a požadavků a na problémy vzniklé z přípravy předmětu za chodu. Obecně největší problémy výuky byl nedostatečně funkční software OpenModelica a pro studenty matoucí přechod mezi prostředím Dymola a OpenModelica.

Zkušenosti pro další semestr

Jelikož byl předmět tvořen víceméně operativně a za chodu, příští běh bude úspěšnější.

Jako první zásadní věc považujeme lepší synchronizaci přednášek navzájem a se cvičeními tak, aby pokrývaly teoretický rozsah předmětu a přitom témata logicky navazovala a zároveň sloužila jako úvod ke cvičením. Definujeme-li si hned na začátku zkouškové otázky, náplň přednášek je tím v podstatě již určena. Poté je jen potřeba je správně setřídit a navázat na cvičení.

Dalším důležitým vylepšením bude detailnější příprava cvičení, včetně jakéhosi handoutu – co nového se měli na cvičení naučit, čili jakási nápověda k domácím úlohám. Na začátku cvičení bychom se opět měli vrátit k minulému úloze a zmínit úskalí, na která mohli narazit a další možnosti, jak jim čelit, případně zajímavá řešení kolegů. Měli bychom také ke konci hodiny zajistit dostatek času pro zadání úlohy a její vysvětlení.

Jelikož se předmět nechtěl soustředit pouze na jeden modelovací jazyk, kromě farmakokinetiky a identifikace bychom ještě chtěli začlenit finite-element-method simulace (numerické simulace parciálních diferenciálních

rovníc, například toky tekutin – CFD, či deformace materiálů) jako například seznámení s ANSYS Fluent.

Závěr

Inovaci výuky považujeme za úspěšnou a přínosnou pro studenty. Přechod na jazyk Modelica nám umožnil se namísto implementační problematice věnovat hlouběji analýze problému a procvičit i další inženýrské dovednosti, jako prezentační schopnosti, úroveň reportů a podobně.

Poděkování

Autor byl podpořen grantem FRVŠ 112–120029C.

Kontakt:

Ing. Filip Ježek
Katedra Kybernetiky,
Fakulta Elektrotechnická, ČVUT
Karlovo náměstí 32
email: jezekfi1@fel.cvut.cz
<http://bio.felk.cvut.cz/>