



## PREGLED SIMULATORA KORIŠĆENIH U NASTAVI RAČUNARA

*Nebojša Stanković<sup>1</sup>, Siniša Randić<sup>2</sup>*

**Rezime:** *Upoznavanje sa načinom rada različitih računara, posebno sa njihovom arhitekturom, nekada je zahtevalo rad na konkretnom računaru. Razvoj računarske tehnike, a posebno savremenih objektno orijentisanih programskih alata omogućio je da se upoznavanje sa arhitekturom i organizacijom računara može ostvariti korišćenjem različitih simulacionih modela. Zahvaljujući širokom spektru softverskih simulatora moguće je na različitim nivoima obrazovanja steći potrebna znanja i iskustvo u radu sa različitim arhitekturama računara.*

**Ključne reči:** *Simulatori, nastava, računar*

## REVIEW SIMULATORS USED IN COMPUTER EDUCATION

**Summary:** *Learning about how different computers work, especially learning about computer architecture, used to require work with the particular computer. Development of computer technology, especially of modern object-oriented program tools, allows learning about computer architecture and organization by applying different simulation models. The wide spectrum of software simulators supports acquiring appropriate knowledge and experience in working with different computer architectures at different education levels.*

**Key words:** *Simulators, education, computer*

### 1. UVOD

Tokom poslednjih četrdesetak godina, simulacije su postale široko primenjivani pristup i alat za prikazivanje i podražavanje rada različitih sistema i procesa. Sa pojavom lako dostupnih mikroračunara stvorilo se plodno tlo za razvoj softverskih alata za izradu simulacionih modela.

Vremenom ovi alati su evoluirali od strogo tekstualnih jezika za opis simulacionog postupka do današnjih vizuelno orjentisanih alata veoma pogodnih za korisnika. Današnji alati uspešno kombinuju korišćenje miša, menija i prozora čime se uveliko olakšava rad. Oni takođe omogućuju animaciju postupka simulacije i koriste napredne metode vizuelizacije rezultata.

<sup>1</sup> Nebojša Stanković, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: [jack@tfc.kg.ac.yu](mailto:jack@tfc.kg.ac.yu)

<sup>2</sup> Prof. dr Siniša Randić, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: [rasin@tfc.kg.ac.yu](mailto:rasin@tfc.kg.ac.yu)

Simulacija podrazumeva proces izgradnje apstraktnih modela za neke sisteme i podsisteme realnog sveta i obavljanje većeg broja eksperimenata nad njima. Kada se ti eksperimenti odvijaju na računaru, tada govorimo o računarskom modeliranju i simulaciji.

Kada je u pitanju sama nastava onda se kao cilj te nastave postavljaju dva osnovna zadatka. Jedan je da se da opšti pregled područja modeliranja i simuliranja sistema s računarima ili bez njih, kako bi se dobio celovit pregled toga u svakom pogledu veoma raznolikog područja rada i istraživanja. Drugi zadatak se sastoji u tome da se nešto detaljnije prikažu specifičnosti upotrebe računara u modeliranju i simuliranju i posebno kompjuterskih simulacijskih jezika, budući da su upravo oni dali značajan podsticaj razvoju modeliranja i simuliranja.

Modeliranje i simuliranje je toliko raznoliko u svakom pogledu, pa postoji mnoštvo veoma različitih metoda i pristupa i oni se najčešće razmatraju parcijalno, odnosno kao specifični slučajevi ili, eventualno, kao uža ili nešto šira područja modeliranja i simuliranja. Nazivi koji se pri tome upotrebljavaju i definicije pojmova su veoma neujednačeni.

## 2. SISTEM I NJEGOV MODEL

Osnovni cilj modeliranja i simuliranja sastoji se u tome da se podaci o ponašanju nekog sistema dobiju ne proučavanjem samog sistema, nego se ponašanje sistema proučava tako da se napravi (kreira) model, pa se, zatim, eksperimentisanjem na takvom modelu dolazi do saznanja o ponašanju postojećeg ili nepostojećeg sistema.



*Slika 1: Sistem i njegov model koji se (eventualno) unosi u računar*

Model može biti takav da se on rešava tj. da se dobiju odgovori na postavljena pitanja, tako da se on unese u računar, pa se zatim eksperimentše sa modelom unesenim u računar. Ali modeli ne moraju biti takvi da se sa njima eksperimentše baš u računarima. Postoji i niz drugih načina da se eksperimentše sa modelima bez upotrebe računara. Zbog toga je na slici veza između modela i računara označena crticama. Ali, kako je rečeno, upravo je upotreba računara dala veliki podsticaj razvoju modeliranja i simuliranja, pa je takav način danas dominantan.

### Razlozi za pravljenje modela i simulacije

Očigledno je da sisteme i njihovo ponašanje treba proučavati ako se želi da se poboljša njihovo funkcionisanje. U tu svrhu postoji jedna posebna stručna disciplina koja se naziva sistemskim inženjerstvom (*system engineering*). Ali modeliranje i simuliranje nije nipošto jedini način kako se mogu proučavati sistemi. Postoji više različitih načina za proučavanje sistema. Najvažnija stvar za svaki simulacioni eksperiment jest da se od njega dobiju rezultati što sličniji onima koji bi se dobili od samog (realnog) sistema. Za proučavanje sistema postoji više mogućnosti:

- Eksperimentisanje na samom sistemu;
- Analiza sistema "na papiru";
- Matematičko rešavanje problema;
- Modeliranje i simuliranje.

### 3. OBRAZOVNI ZNAČAJ SIMULATORA

Kao što su studenti osamdesetih godina koristili papir i olovku da kreiraju CPU komponente koristeći Bulovu algebru i Karnaove mape, tako danas studenti mogu koristiti CPU simulatore da proučavaju operacije računara vizuelno upoređivanjem istovremenih događaja koji se odigravaju tokom izvršenja programa.

Kako se složenost i varijacije hardvera računara povećava, njegov uticaj kao pedagoško sredstvo u kursevima arhitekture računara se smanjuje. Kao posledica toga mnogi instruktori se okreću ka simulatorima kao pomoćnim sredstvima u podučavanju, a neretko ih i sami konstruišu. Mnogi simulatori su dostupni na internetu. Ipak pronaći pravi simulator za kurs ili seminar može biti dugotrajan proces.

Ovaj rad ima za cilj da prikaže mogućnosti i prednosti simulatora arhitekture računara i da onome ko je zainteresovan za njihovo korišćenje olakša posao u smislu nalaženja i izbora pravog simulatora, odnosno simulatora koji bi zadovoljio njegove potrebe.

Simulatori, kao pomoćno sredstvo u izučavanju arhitekture računara, pomažu studentima da bolje razumeju von Neumann-ovu arhitekturu i njenu vezu sa asemblerskim jezikom, da shvate interakciju između arhitekture, asemblerskog jezika i operativnog sistema. Simulatori, takođe, dozvoljavaju studentima da uče operacije računara posmatrajući i/ili utiču na osnovne događaje tokom izvršenja softvera. Tokom izvršenja simulatora studenti dobijaju vredno iskustvo o važnim idejama uključujući u koncept memorisanog programa i ciklus uzmi-izvrši. Razumevanjem LMC (*Little Man Computer*) modela studenti su stekli predznanje za kasnije savladivanje kompleksnih arhitektura.

Studenti često imaju problema da povežu znanje iz teorije sa praksom (knjige su previše abstraktne ili je neki primer u praksi previše specifičan). Sa razvojem računara adekvatne laboratorije koje bi pratile taj trend bi za većinu univerziteta bile preskupe. Stoga su logična zamena za njih simulatori arhitekture računara, koji su jeftiniji ili čak i besplatni, a i mnogo studenata ih može koristiti istovremeno. To je jedan od razloga zašto je došlo do povećanog interesovanja za korišćenje simulatora. U cilju boljeg pripremanja studenata mnogi univerziteti su integrisali korišćenje simulatora u nastavni plan. Ima studenata koji uče samo osnove o računarima i oni su više zaokupljeni pokretanjem simulatora (running) nego razumevanjem i modifikovanjem implementacija, dok sa druge strane ima i onih naprednijih studenata koji bi učestvovali u razvijanju novih arhitekturnih modela. Student takođe može da redizajnira npr. procesor koliko god puta hoće bez bojazni da će napraviti grešku.

Interaktivni simulatori omogućavaju aktivno učenje dozvoljavajući studentima da dizajniraju sopstvene hipotetičke mašine, da ih programiraju, izvršavaju softver na njima i da koriste simulacije kako bi razumeli operacije stvarnih mašina. Kao pomoćno sredstvo simulatori su atraktivni jer studenti uče osnovne detalje računarskih operacija na različitim nivoima imajući pristup kad i gde žele sa malo ili čak nimalo ulaganja.

Internet dostupni simulatori omogućavaju studentima eksperimente počev od programiranja modela iz prošlosti (*historical machines*) do kreiranja njihovih ličnih novih arhitektura. Konačno kreiranje simulacije računara u softveru je obrazovno iskustvo slično pravljenju pravog računara hardverom ali znatno jeftinije, fleksibilnije u smislu dozvoljavanja studentu da napravi grešku i proširivije u dodavanju dodatnih funkcionalnosti.

#### 4. KATEGORIZACIJA SIMULATORA

U ovom radu su simulatori kompjuterskog sistema podeljeni u sedam različitih kategorija i za svaku kategoriju su navedeni internet dostupni besplatni simulatori sa odgovarajućom internet adresom sa koje se mogu preuzeti. Te kategorije su:

1. Simulatori ranijih mašina (*Historical Machine Simulators*)
2. Simulatori digitalnih kola (*Digital Logic Simulators*)
3. Simulatori jednostavnih hipotetičkih mašina (*Simple Hypotetical Mashine Simulators*)
4. Simulatori posredovani setom instrukcija (*Intermediate Instruction Set Simulators*)
5. Napredni simulatori mikroarhitekture (*Advanced Microarchitecture Simulators*)
6. Multiprocesorski simulatori (*Multi-processor Simulators*)
7. Simulatori memorije (*Memory Subsystem Simulators*)

Simulatori iz 1. i 2. kategorije služe da ispune prazninu u obrazovnom smislu i automatizuju koncepte koji su već istraženi. Simulatori iz 3. 4. i 5. kategorije generalno pokrivaju uvod, arhitekturu računara i kurseve arhitekture računara koji se nalaze u mnogim nastavnim planovima računarske tehnike. Multiprocesorski simulatori proširuju kategoriju napredne mikroarhitekture fokusirajući se na paralelne arhitekture sa više procesora. Simulatori memorije obuhvataju simulatore koji se fokusiraju na interakciju procesora i keš memorije.

##### Simulatori ranijih mašina (*Historical Machine Simulators*)

Učenje operacija računara se često može uvećati koristeći primerke mašina koje više uopšte ne postoje (sem onih u muzejima) ili ako postoje preskupe su da bi se opravdalo njihovo korišćenje jedino u obrazovne svrhe. Korišćenje simulacija omogućava predavaču da podučava koncepte bilo koje mašine za koju su simulatori napravljeni. Često su mašine koje su u prošlosti korišćene najbolji primer koncepta arhitekture. Korišćenjem simulatora, zastarelost tih mašina se prevazilazi jer se one mogu virtuelno ponovo kreirati (*tabela 1*).

*Tabela 1: Internet dostupni simulatori ranijih mašina*

SIMULATOR	INTERNET ADRESA	OPERATIVNI SISTEM
Analytical Engine	<a href="http://www.fourmilab.ch/babbage/applet.html">www.fourmilab.ch/babbage/applet.html</a>	Windows
Apple IIe	<a href="http://www.quark.netfront.net:6502">www.quark.netfront.net:6502</a>	Unix, Windows
Atari ST	<a href="http://www.complang.tuwien.ac.at/nino/stonx.html">www.complang.tuwien.ac.at/nino/stonx.html</a>	Unix, MSDOS, Windows
Commodore Amiga	<a href="http://www.freiburg.linux.de/~uae">www.freiburg.linux.de/~uae</a>	Unix, Mac
Commodore 64	<a href="http://www.unimainz.de/~bauec002/FRMain.html">www.unimainz.de/~bauec002/FRMain.html</a>	Unix, Windows
DEC PDP-8	<a href="http://www.cs.uiowa.edu/~jones/pdp8/">www.cs.uiowa.edu/~jones/pdp8/</a>	Unix, Windows
DEC PDP-11	<a href="http://www.update.uu.se/pub/ibmpc/emulators/">http://www.update.uu.se/pub/ibmpc/emulators/</a>	DOS
EDSAC	<a href="http://www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac/">http://www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac/</a>	Win32, Mac
Sinclair QL	<a href="http://www.geocities.com/SiliconValley/Heights/1296">www.geocities.com/SiliconValley/Heights/1296</a>	Windows, Mac
Turing Machine	<a href="http://www.cs.brandeis.edu/paulq/Turing/TuringAppletMac.html">www.cs.brandeis.edu/paulq/Turing/TuringAppletMac.html</a>	Unix, Windows

##### Simulatori digitalnih kola (*Digital Logic Simulators*)

Moderni računari se sastoje od velikog broja veoma prostih struktura. U ovoj kategoriji simulatori digitalnih kola opisuju osnovne elemente na kojima počiva hardver: osnovne logičke prekidačke elemente, analizu kola (implementaciju i minimizaciju), kašnjenja,

registre, flip-flobove, logičke strukture (multiplekseri, dekoderi, komparatori), memorijske elemente (ROM, PROM, RAM) (tabela 2).

**Tabela 2:** Internet dostupni simulatori digitalnih kola

SIMULATOR	INTERNET ADRESA	OPIS
6.111 Digital Simulator	www.mit.edu/people/eichin/thesis/usrdoc.html	skup makroa koji mogu biti korišćeni za pravljenje programa koji simulira kolo
Digital Logic Simulator	www.cs.gordon.edu/courses/module7/logic-sim/example1.html	internet-bazirani klikni i prevuci simulator logičkih kola koji ilustruje operacije prostog kola
Digital Workshop	www.cise.ufl.edu/~fishwick/dig/DigSim.html	web-Java aplikacija koja prikazuje izvršavanja ranije napravljenih logičkih kola
esim Simulator	www.cse.ucsc.edu/~elm/Software/Esim/index.html	napredan alat za pravljenje kompleksnih digitalnih kola radi pod O.S. Unix
Interactive Full-Adder	www.acs.ilstu.edu/faculty/javila/acs254/fullAdder/FullAdder.html	web-zasnovana interaktivna demonstracija implementacije kompletnog brojača
Iowa Logic Simulator	www.cs.uiowa.edu/~jones/logicsim/	simulator napravljen u Pascalu za digitalne sisteme od tranzistora do CPU-a
MIT Digital Logic	web.mit.edu/ara/www/ds.html	grafički simulator za flip-flobove sa kompletnom analizom
Multimedia Logic Kits	www.softronix.com/logic.html	vizuelni sistem za dizajniranje i testiranje prostih kola
Simcir circuit simulator	www.tt.rim.or.jp/~kazz/simcir/	web-zasnovana Java aplikacija za analiziranje prekidačkih elemenata

### Simulatori jednostavnih hipotetičkih mašina (Simple Hypotetical Mashine Simulators)

Sa povećanjem kompleksnosti realnih mašina one ujedno i postaju manje podesne za izučavanje kurseva arhitekture računara. Simulatori jednostavnih hipotetičkih mašina tu mogu odigrati značajnu ulogu omogućujući studentima pristup internim operacijama sistema (što nije moguće sa stvarnim procesorima).

Ovi simulatori omogućavaju profesoru da selektivno usmeri pažnju na važne koncepte (tabela 3).

**Tabela 3:** Internet dostupni simulatori jednostavnih hipotetičkih mašina

SIMULATOR	INTERNET ADRESA	OPIS
CASLE	shay.ecn.purdue.edu/~casle/	eksperimentiše sa registrima
CPU Sim	www.cs.colby.edu/~djskrien/	emulator na nivou transfera registra Mas OS
EasyCPU	www.cteh.ac.il/departments/education/cpu.htm	animira osnovne i složene Intel 80x86 operacije
Little Man Computer	www.acs.ilstu.edu/faculty/javila/lmc/	vizualizacija LMC
PIPPIN	www.cs.gordon.edu/courses/cs111/module6/cpu-sim/cpusim.html)	binarni i simbolički mod CPU-a, označava kretanje podataka
oirsc&urisc	www.pdc.kth.se/~jas/retro/retromuseum.html	ekstremni RISC kompjuter sa jednom instrukcijom
Simple Computer Emulator	www.Beachstudios.com/sc/	emulator sa memorijskim ćelijama i I/O jedinicama

### Simulatori posredovani setom instrukcija (Intermediate Instruction Set Simulators)

Dosad opisani simulatori su dizajnirani da koriste samo jednostavno adresiranje, ograničen set instrukcija i veoma jednostavan memorijski model. Nasuprot tome simulatori iz ove kategorije teže da sadrže realnije modele adresiranja, mnogo ozbiljniju memorijsku hijerarhiju, skoro kompletan set instrukcija i poneki i mehanizam prekida. Kao rezultat toga na njima se mogu izvršavati mnogo realnije programske aplikacije (*tabela 4*).

*Tabela 4: Internet dostupni simulatori posredovani setom instrukcija*

SIMULATOR	INTERNET ADRESA	OPERATIVNI SISTEM
LC2	www.mhhe.com/patt	Unix, Windows
Relative Simple Computer System Simulator	www.awl.com/carpinelli	Unix, Windows
SIMHC12	www.aracnet.com/tomalmy/68hc.html	Unix, Mac
AMD SimNow!	www.x86-64.org/downloads	Unix
SPIM	www.cs.wisc.edu/~larus/spim.html	Unix, DOS, Windows
SPIMSAL	www.cs.wisc.edu/~larus/spim.html	Windows, Mac

### Napredni simulatori mikroarhitekture (Advanced Microarchitecture Simulators)

Simulatori mikroarhitekture su dizajnirani tako da dozvoljavaju nadgledanje izvršenja mašinskog jezika na nivou mikrokoda. Napredni simulatori se mogu koristiti za ispitivanje i utvrđivanje prednosti i mana raznih tehnika kao što su *pipelining*<sup>3</sup>, *branch prediction*<sup>4</sup> i paralelizam na nivou instrukcija.

Neki od ovih simulatora su mikroprogramabilni dozvoljavajući tako studentima da eksperimentišu sa nizom instrukcija (*tabela 5*). Za većinu simulatora iz ove kategorije su već napisane knjige i bili bi veoma podesni za više kurseve arhitekture računara.

*Tabela 5: Internet dostupni napredni simulatori mikroarhitekture*

SIMULATOR	INTERNET ADRESA	OPERATIVNI SISTEM
DLX	www.max.stanford.edu/pub/max/pub/hennessy-patterson.software	Unix
DLXview	www.yara.ecn.purdue.edu/~teamaaa/dlxview	Unix
Mic-1 Simulator	www.ontko.com/mic1/	Unix, Windows
Micro Architecture	ww.kagi.com/fab/msim.html	Mac
MipSim	www.mouse.vlsivie.tuwien.ac.at/lehre/rechnerarchitekturen/download/Simulatoren	Unix, Windows
SimpleScalar	www.simplescalar.org	Unix
SuperScalarDLX	www.rs.technik.tu-darmstadt.de/TUD/res/	Unix
WinDLX	www.ftp.mkp.com/pub/dlx/	Windows

<sup>3</sup> *Pipeline* je jedna od tehnika realizacije izvršavanja operacija po kojoj se preklapa izvršavanje više operacija.

<sup>4</sup> *Branch prediction* je najjednostavnija tehnika dinamičkog predviđanja skokova

### Multiprocesorski simulatori (Multi-processor Simulators)

Simulatori multiprocesora se značajno razlikuju od jednoprocorskih simulatora. Osnovna razlika je u tome što se kod multiprocesorskih simulatora zahtevaju simulacije koje uopšte ne postoje kod jednoprocorskih, kao što je deljenje memorije. Druga razlika je rezultat istovremenih izvršavanja; ispravna simulacija mora odslikavati činjenicu da se instrukcije na različitim procesorima izvršavaju istovremeno.

Napomenimo, da je vreme izvršenja simulacije svojevrstan tehnički izazov budući da vreme simulacije raste proporcionalno sa brojem procesora u simulaciji. Samo korišćenje ovih simulatora je mnogo komplikovanije u poređenju sa korišćenjem jednoprocorskih simulatora tako da su ovi simulatori podesni za korišćenje na višim kursevima arhitektura računara. Simulatori multiprocesora su veoma precizno i detaljno razvijani i kao rezultat toga su dobijeni simulatori sa dobrim performansama koji se koriste u istraživačke svrhe. Neki od simulatora navedeni u *tabeli 6* se i danas koriste u istraživanju.

*Tabela 6: Internet dostupni multiprocesorski simulatori*

SIMULATOR	INTERNET ADRESA
ABSS	<a href="http://www.arithmetic.Stanford.edu/~lemon/abss.html">www.arithmetic.Stanford.edu/~lemon/abss.html</a>
MINT	<a href="http://www.cs.rochester/u/veenstra/">www.cs.rochester/u/veenstra/</a>
Proteus	<a href="http://www.ee.lsu.edu/koppel/proteus.html">www.ee.lsu.edu/koppel/proteus.html</a>
RSIM	<a href="http://rsim.cs.uiuc.edu/rsim/">rsim.cs.uiuc.edu/rsim/</a>
SimOS	<a href="http://simos.stanford.edu/introduction.html">simos.stanford.edu/introduction.html</a>
Wisconsin Simulator Page	<a href="http://www.cs.wisc.edu/arch/www/tools.html">www.cs.wisc.edu/arch/www/tools.html</a>

### Simulatori memorije (Memory Subsystem Simulators)

Simulatori memorije su namenjeni za više kurseve arhitekture računara na kojima se vrše ozbiljna izučavanja, analize i upoređivanja. Simulatori ove kategorije se koriste za modelovanje i analizu velikog broja različitih memorijskih hijerarhija.

Simulatori u *tabeli 7* su korišćeni u eksperimentima na različitim nivoima keš memorije, sa različitim veličinama memorije i stepenom povezanosti.

*Tabela 7: Internet dostupni simulatori memorije*

SIMULATOR	INTERNET ADRESA	OPERATIVNI SISTEM
Cacheprof	<a href="http://www.Cacheprof.com">www.Cacheprof.com</a>	Unix
Cashe simulator	<a href="http://www.ece.gatech.edu/research/labs/research">www.ece.gatech.edu/research/labs/research</a>	Unix, Windows
CACTI	<a href="http://www.research.compaq.com/wrl/people/jouppi/CACTI.html">www.research.compaq.com/wrl/people/jouppi/CACTI.html</a>	Unix, Windows
Dinero IV	<a href="http://www.cs.wisc.edu/~markhill/DineroIV/">www.cs.wisc.edu/~markhill/DineroIV/</a>	Unix
PRIMA	<a href="http://www.dsi.unimo.it/staff/st36/imagelab/prima.html">www.dsi.unimo.it/staff/st36/imagelab/prima.html</a>	Unix

## 5. ZAKLJUČAK

Razvitkom računarske nauke, područje modeliranja i simulacija dobilo je odskočnu dasku za strelovit razvitak i popularizaciju svetskih razmera. Simulacije se danas koriste u svim ozbiljnijim projektima, među ostalim u područjima poslovanja i naučnog istraživanja, posebno u nastavi.

Ovako brz napredak, odslikao se i na napretku softverskih alata za izradu simulacijskih modela. Poboľjšanim konceptima u samom računarskom softveru nije trebalo dugo da se nađu ugrađeni i u simulacijski softver. Dostupnost razvojnih alata omogućila je širokom krugu korisnika mogućnost razvoja svojeg simulacijskog modela temeljenog na njihovim potrebama.

Za očekivati je da će softver za izradu simulacijskih modela držati korak sa svim inovacijama u računarskoj industriji, jer se dokazao kao veoma koristan alat sa širokim područjem primene.

## 6. LITERATURA

- [1] Smiljanić G.: *Modeliranje i simulacija*, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1995.
- [2] Radenković B.: Stanojević M., Marković A.: *Računarska simulacija*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 1999.
- [3] Spasić I.: *Simulatori arhitektura računara*, Diplomski rad, Tehnički fakultet, Čačak, 2006.
- [4] Đorđević J.: *Arhitektura i organizacije računar - Pipeline*, Skripta, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1997.
- [5] Đorđević J.: *Priručnik iz arhitekture i organizacije računara*, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1998.
- [6] Kalinić I., Mikulić V.: *Izgradnja simulacijskih programa*, Seminarski rad, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin, 2004.
- [7] Wolffe G., Yurcik W., Osborne H., Holliday M.: *Teaching computer organization/architecture with limited resources using simulators*, ACM SIGCSE 2002, February/March 2002, Northern Kentucky – The Southern Side of Cincinnati, USA.
- [8] Quinn R.: *Tales of the microprocessor: the narrative properties of computer simulation*, Olin School of Business, Washington University in St. Louis.