

**Божидар Раденковић**

**Милорад Станојевић**

**Маријана Деспотовић Зракић**

**Зорица Богдановић**

**Марко Ђогатовић**

**Душан Бараћ**

**Александра Лабус**

# **РАЧУНАРСКА СИМУЛАЦИЈА**

## **ПРАКТИКУМ**

Београд, 2022

**Рачунарска симулација - практикум**

Божидар Раденковић  
Милорад Станојевић  
Маријана Деспотовић-Зракић  
Зорица Богдановић  
Марко Богатовић  
Душан Бараћ  
Александра Лабус

**Рецензенти**

проф. др Бранислав Јованић  
проф. др Вељко Јеремић

**За издавача:**

Проф. др Милан Мартић, декан Факултета организационих наука

**За суиздавача:**

Проф. др Небојша Бојовић, декан,  
Проф. др Маријана Петровић, главни и одговорни уредник

**Издавач:**

Универзитет у Београду-Факултет организационих наука,  
Београд, Јове Илића 154; Београд, телефон: 3950-800; <http://www.fon.bg.ac.rs/>

**Суиздавач:**

Универзитет у Београду-Саобраћајни факултет,  
Војводе Степе 305; Београд, телефон: 3976-017; fax:3096-704; <http://www.sf.bg.ac.rs/>

**Кориче:**

Лабораторија за симулацију, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

**Штампа:**

Пекограф д.о.о., 11080 Земун, Војни пут 258/д  
телефон/фах: 3149-166; e mail: [pekograf@sbb.rs](mailto:pekograf@sbb.rs), <http://www.pekograf.com/>

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

004.94(075.8)(076)

РАЧУНАРСКА симулација : практикум / Божидар Раденковић ... [и др.].  
- Београд : Факултет организационих наука : Саобраћајни факултет, 2022  
(Земун : Пекограф). - 385 стр. : илустр. ; 30 cm

Тираж 450. - Библиографија: стр. 384-385.

ISBN 978-86-7680-399-6 (ФОН)

ISBN 978-86-7395-448-6 (СФ)

1. Раденковић, Божидар, 1958- [аутор]

а) Рачунарска симулација -- Вежбе

COBISS.SR-ID 56856585

На основу одлуке Уређивачког одбора Саобраћајног факултета Универзитета у Београду број 44/5 од 03.02.2022, одобрава се за употребу у настави као помоћни уџбеник за предмет "Рачунарска симулација".

Издавачи задржавају сва права. Репродукција појединих делова или целине ове публикације није дозвољена.

# САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР.....	ix
I. СИМУЛАЦИЈА КОНТИНУАЛНИХ СИСТЕМА.....	1
<b>1. СИМУЛАЦИОНИ ЈЕЗИК CSMP .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Шта је CSMP? .....</b>	<b>3</b>
1.1. Принцип рада CSMP-а.....	4
1.2. Архитектура и компоненте система CSMP/FON .....	4
1.2.1. Кориснички интерфејс .....	5
1.2.2. Апликациона логика .....	5
1.2.3. Слој података .....	6
1.3. Рад у језику CSMP/FON.....	6
1.3.1. Основни мени CSMP/FON .....	6
1.3.2. Блокови .....	8
1.3.3. Контрола пре извршавања симулације .....	11
1.3.4. Извршавања симулације .....	12
1.3.5. Резултат симулације.....	12
<b>2. РЕШЕНИ ЗАДАЦИ - CSMP.....</b>	<b>14</b>
Задатак 1. Равномерно-праволинијско кретање тела.....	15
Задатак 2. Равномерно убрзано кретање тела.....	17
Задатак 3. Равномерно убрзано кретање са силом трења.....	19
Задатак 4. Равномерно убрзано кретање са силом трења и силом отпора ваздуха .....	22
Задатак 5. Слободан пад .....	25
Задатак 6. Слетање авиона.....	28
Задатак 7. Тело у базену .....	30
Задатак 8. Коси хитац .....	33
Задатак 9. Механички трансаторни механизам .....	37
Задатак 10. Механички трансаторни механизам са опругом.....	40
Задатак 11. Осцилација штапа на опругама .....	43
Задатак 12 Систем вешања аутомобила .....	48
Задатак 13. Кретање тела у жљебу .....	52
Задатак 14. Скијаш.....	56
Задатак 15. Механички ротациони систем.....	59
Задатак 16. Слетање свемирске летелице.....	61
Задатак 17. Електрично RL коло.....	65
Задатак 18. Електрично RLC коло.....	67
Задатак 19. Систем једначина.....	70
Задатак 20. Динамика популације китова .....	74
Задатак 21. Зећ и пас.....	77
Задатак 22. Предатор/плен.....	81
Задатак 23. Модели популације структурирани по полу.....	84
Задатак 24. Епидемија вируса .....	87
Задатак 25. Ширење грипа .....	91
Задатак 26. Противавионска ракета .....	94
Задатак 27. Механичка спојница .....	97
Задатак 28. Батерворттов нископропусни филтер.....	100
Задатак 29. Баџи џамп.....	104
Задатак 30. Клатно.....	107
Задатак 31. Термостат.....	109
Задатак 32. Једносмерни мотор .....	112
Задатак 33.Подморница .....	115

<b>3. ЗАДАЦИ ЗА ВЕЖБУ - CSMP .....</b>	<b>118</b>
Задатак 1. Електрично RLCC коло.....	119
Задатак 2. Котрљање кружног цилиндра .....	120
Задатак 3. Систем диференцијалних једначина 1.....	121
Задатак 4. Играч голфа.....	122
Задатак 5. Аутономни систем .....	123
Задатак 6. Струјно коло 1 .....	124
Задатак 7. Струјно коло 2 .....	125
Задатак 8. Кретање тела са силом трења.....	126
Задатак 9. Кретање тела вертикално наниже са отпором ваздуха .....	127
Задатак 10. Спуштање тела низ стрму раван .....	128
Задатак 11. Популација зечева .....	129
Задатак 12. Кретање тела кроз течност под дејством силе еластичности опруге .....	130
Задатак 13. Механички систем .....	131
Задатак 14. Механички ротациони механизам .....	132
Задатак 15. Систем једначина 1.....	133
Задатак 16. Систем једначина 2.....	134

## II. СИМУЛАЦИЈА ДИСКРЕТНИХ ДОГАЂАЈА..... 135

### 1. СИМУЛАЦИОНИ ЈЕЗИК GPSS .....

#### 1.1. Симулација на симулационом језику GPSS? .....

1.1. Динамички ентитети .....	138
1.2. Статички ентитети .....	138
1.3. Статистички ентитети.....	138
1.4. Ентитети операција .....	138
1.5. Основни концепти у GPSS-у .....	139
1.6. Врсте наредби у GPSS-у.....	139
1.7. Основни скуп наредби GPSS-а .....	140
1.7.1. Генерисање трансакција.....	140
1.7.2. Временско задржавање трансакција.....	141
1.7.3. Статистичко гранање трансакција .....	142
1.7.4. Безусловни скок .....	143
1.7.5. Укланање трансакције из система .....	143
1.7.6. Стартовање симулатора.....	143
1.7.7. Дефинисање почетка и краја GPSS програма.....	144
1.7.8. Ограничење времена симулације.....	144
1.8. Основни перманентни ентитети .....	144
1.8.1. Уређаји .....	145
1.8.2. Складишта .....	146
1.8.3. Логички прекидачи.....	147
1.8.4. Редови .....	147
1.8.5. Табеле (хистограми).....	149
1.8.6. Блок MARK.....	149
1.8.7. Стандардни нумерички атрибути (CHA) .....	150
1.8.8. Меморијске локације .....	151
1.8.9. Параметри трансакција .....	152
1.8.10. Аритметички изрази и варијабле .....	153
1.8.11. Функције.....	153
1.8.12. Условно рачвање путања трансакција .....	155
1.8.13. Директно и индиректно адресирање .....	157
1.8.14. Понављање симулације.....	157
1.8.15. Кориснички редови (user chains).....	159

#### 2. Принцип рада GPSS-а .....

160

<b>3. Рад у језику GPSS/FON.....</b>	<b>161</b>
3.1. Основни мени програма .....	161
3.1.1. Мени „Програм“ .....	161
3.1.2. Мени „Симулација“ .....	162
3.2. Поступак рада.....	163
<b>2. РЕШЕНИ ЗАДАЦИ - GPSS.....</b>	<b>168</b>
Задатак 1. Инспекција произведених делова I.....	169
Задатак 2. Инспекција произведених делова II.....	171
Задатак 3. Инспекција произведених делова III.....	173
Задатак 4. Симулација пристанка бродаова у пристаниште.....	176
Задатак 5. Самопослуга I.....	180
Задатак 6. Самопослуга II.....	184
Задатак 7. Самопослуга III.....	188
Задатак 8. Самопослуга IV.....	192
Задатак 9. Самопослуга V.....	197
Задатак 10. Самопослуга VI.....	203
Задатак 11. Симулација рада поште – три шалтера.....	208
Задатак 12. Симулација рада поште – осам шалтера.....	215
Задатак 13. Симулација рада поште – пет шалтера.....	227
Задатак 14. Симулација рада поште – шест шалтера.....	241
Задатак 15. Симулација рада поштанске штедионице.....	259
Задатак 16. Симулација рада мреже са комутацијом пакета.....	268
Задатак 17. Симулација рада чвора пакетске мреже.....	274
Задатак 18. Симулација рада позивног центра.....	278
Задатак 19. Симулација рада отпремног складишта.....	287
Задатак 20. Симулација рада платформе за одмрзавање авиона.....	293
Задатак 21. Симулација рада луке.....	297
Задатак 22. Симулација полагања испита.....	303
Задатак 23. Симулација рада аутобуске странице.....	309
Задатак 24. Симулација рада пекаре.....	314
Задатак 25. Симулација рада мрежног штампача.....	319
Задатак 26. Симулација рада сервиса за прање аутомобила.....	325
Задатак 27. Симулација система за издавање пасоша.....	329
Задатак 28. Раскрсница.....	334
Задатак 29. Симулација гостовања у јутарњем програму.....	339
Задатак 30. Симулација рада цвећаре.....	344
Задатак 31. Симулација рада пицерије.....	349
Задатак 32. Симулација издавања личне карте.....	354
Задатак 33. Симулација рада студентске службе.....	358
Задатак 34. Симулација студентске мензе.....	364
<b>3. ЗАДАЦИ ЗА ВЕЖБУ - GPSS .....</b>	<b>370</b>
Задатак 1. Симулација рада трајекта.....	371
Задатак 2. Симулација рада гондоле за превоз скијаша.....	372
Задатак 3. Симулација рада велепродајног предузећа.....	373
Задатак 4. Симулација рада киоска - пите испод сача.....	375
Задатак 5. Симулација рада бензинске пумпе.....	376
Задатак 6. Симулација коришћења штампача.....	377
Задатак 7. Радови на путу.....	378
Задатак 8. Прерада пакета.....	379
Задатак 9. Симулација испоруке пошилјки - једно возило.....	380
Задатак 10. Симулација рада такси службе.....	381
Задатак 11. Симулација рада централног процесора.....	382
Задатак 12. Симулација рада сервера базе података.....	383
<b>Литература.....</b>	<b>384</b>



## ПРЕДГОВОР

Практикум из Рачунарске симулације резултат је вишегодишњег држања наставе из више предмета који покривају област континуалне и дискретно-стохастичке симулације на Факултету организационих наука и Саобраћајном факултету. Ова публикација на практичан начин приближава читаоцу теоријско градиво које је презентовано у уџбенику Рачунарска симулација. У практикуму је дат свеобухватан опис два симулациона језика, као и велики број примера решених коришћењем тих језика.

Практикум је превасходно намењен студентима Факултета организационих наука који слушају предмете: *Симулација и симулациони језици* и *Виртуална реалности и рачунарска симулација* као и Саобраћајног факултета који слушају предмете: *Рачунарска симулација*, *Управљање системима* и *Моделирање, симулација и анимација*. Такође, практикум могу да користе и сви они који желе да се на практичан начин упознају са симулационом методологијом и да стекну основе за коришћење симулационих језика и алата.

Симулација се заснива на експериментисању над моделима реалних система. Може да буде од велике важности и да пружи значајан увид у раним фазама развоја пројекта или да се по завршетку пројекта користи за тестирање и фино подешавање реализованог система. Симулација система, применом рачунара, може обухватати моделе описане континуалним променљивама или дискретно-стохастичким променама стања. Континуална симулација се примењује на системе описане интегро-диференцијалним и алгебарским једначинама. Такав начин описивања динамичких својстава применљив је на многобројне техничке системе, као и на проблеме у физици, економији, биологији итд. Када је у питању дискретно-стохастичка симулација, системи које она описује су по својој природи динамични, али се у овом случају догађаји који мењају стања система одигравају у дискретним временским тренуцима најчешће добијеним на основу одговарајућих расподела вероватноћа. Дискретно-стохастичка симулација се користи моделирање сложених система масовног опслуживања попут производних и услужних система, ланца снабдевања, свих видова саобраћаја, рачунарских система и комуникационих мрежа.

Данас постоји велики број језика и софтверских алата намењених континуалној и дискретно-стохастичкој симулацији. Основни концепти и начини коришћења тих језика и алата, без обзира да ли се ради о комерцијалним или бесплатним софтверима у основи су веома слични. Задачи у практикуму реализовани су коришћењем CSMP/FON и GPSS/FON језика који се годинама уназад развијају на Факултету организационих наука. Оба програма су заснована на већ етаблираним симулационим језицима који су установили принципе на којима функционише већина новијих софтвера намењених континуалној или дискретно-стохастичкој симулацији.

Основни циљ овог практикума је да студентима обезбеди разумевање и олакша коришћење језика и алата за моделирање и анализу континуалних и дискретних-стохастичких процеса, као и да обезбеди материјал за вежбање и полагање испита из предмета којима је ова публикација намењена.

Практикум из рачунарске симулације се састоји из два дела. У првом делу који се односи на континуалну симулацију дат је детаљан преглед симулационог језика CSMP као и велики број решених примера. На крају првог дела дат је један број нерешених задатака намењених студентима за самостално вежбање. Други део збирке се односи на дискретно-стохастичку симулацију и у њему је детаљано описан симулациони језик GPSS/FON и дат велики број примера из различитих области.

Аутори се захваљују бројним студентима и сарадницима Факултета организационих наука и Саобраћајног факултета који су својим семинарским, завршним, мастер и докторским радовима допринели квалитету и изгледу овог практикума.

Све сугестије у вези са изложеним градивом су добродошле.

Аутори