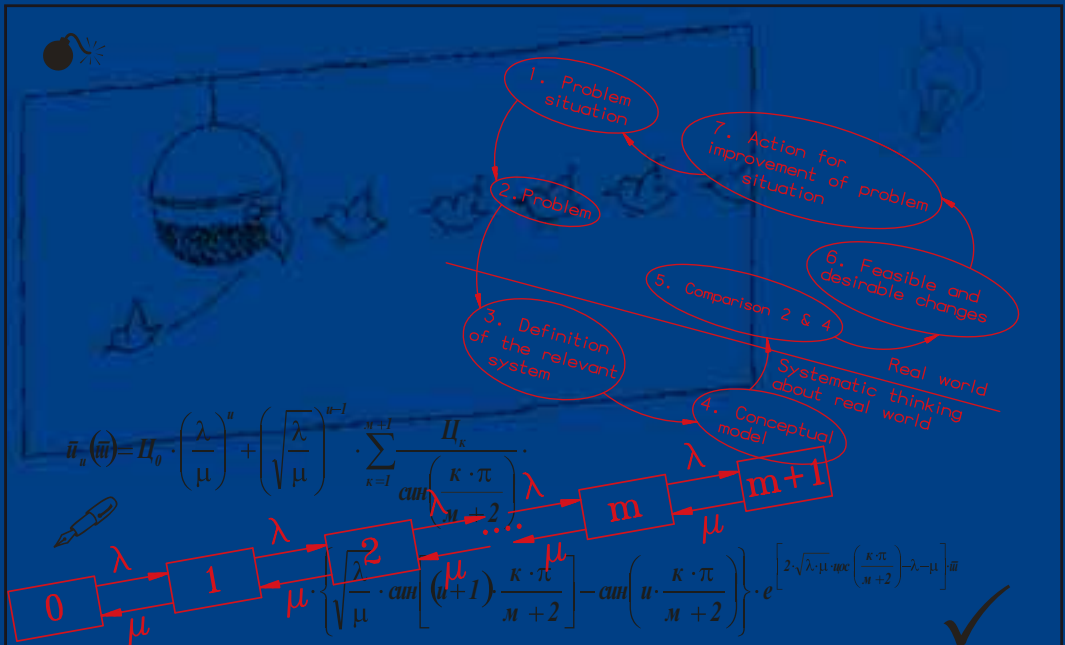


Uglješa Bugarić

Dušan Petrović

MODELIRANJE SISTEMA OPSLUŽIVANJA



UNIVERZITET U BEOGRADU – MAŠINSKI FAKULTET

Uglješa Bugarić

Dušan Petrović

**MODELIRANJE SISTEMA
OPSLUŽIVANJA**

Beograd, 2011. godine

Autori:
Dr Uglješa Bugarić, vanredni profesor
Dr Dušan Petrović, docent

MODELIRANJE SISTEMA OPSLUŽIVANJA

I izdanje

Recenzenti:
Prof. dr Danijel Cvjetičanin
Prof. dr Milomir Gašić

Izdavač:
UNIVERZITET U BEOGRADU-
MAŠINSKI FAKULTET
11120 Beograd 35, Kraljice Marije 16,
Telefon: 011 3370 350 i 3302 384
Faks: 011 3370 364

Za izdavača:
Dekan, prof. dr Milorad Milovančević

Glavni i odgovorni urednik:
Prof. dr Aleksandar Obradović

Odobreno za štampanje odlukom Dekana Mašinskog fakulteta
u Beogradu br.190/11 od 01.12. 2011. godine.

Štampa:
Planeta print
11000 Beograd, Ruzveltova 10, tel.: 011 3088 129

Tiraž: 300 primeraka

ISBN 978-86-7083-749-2

Preštampavanje ili fotokopiranje nije dozvoljeno

PREDGOVOR

Knjiga „Modeliranje sistema opsluživanja“ je nastala kao odgovor autora na izraženu potrebu da se ova oblast približi studentima i projektantima sistema opsluživanja u industriji uopšte. Plod je višegodišnje projektantske prakse autora u oblasti kretanja materijala u industriji, fabrikama i skladišno-distributivnim sistemima.

Knjiga je prvenstveno namenjena, kao parcijalni udžbenik, studentima Mašinskog fakulteta u Beogradu iz predmeta: *Upravljanje sistemom održavanja, Industrijska logistika, Projektovanje logističko-distributivnih sistema i Operaciona istraživanja*, koje autori predaju na trećoj godini osnovnih akademskih studija kao i na prvoj i drugoj godini master akademskih studija usmerenja za Industrijsko inženjerstvo. Knjigu mogu koristiti i studenti doktorskih studija na iz predmeta *Modeliranje, optimizacija i prognoziranje u industrijskom inženjerstvu, Odabrana poglavlja logistike i Odabrana poglavlja iz operacionih istraživanja* kao osnovu za svoj dalji naučno-istraživački rad.

Posebna želja autora je da iskustva iz oblasti matematičkog modeliranja realizovanih u rešenjima u privredi pretoči u štivo koje projektanti mogu da koristite u svom svakodnevnom radu kako bi ga osavremenili i olakšali u cilju dobijanja boljih projektantskih rešenja.

Autori duguju posebnu zahvalnost recenzentima ove knjige, prof. dr Danijelu Cvjetičaninu i prof. dr Milomiru Gašiću, na korisnim sugestijama koje su uticale na poboljšanje kvaliteta ove knjige.

Autori pozivaju sve čitaoce ove knjige da, svojim sugestijama, primedbama i ukazivanjima na eventualne greške, pomognu u poboljšanju sledećeg izdanja.

Beograd, decembar 2011. godine

AUTORI

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ I PROJEKTOVANJE TEHNIČKIH SISTEMA	3
2.1. RAZVOJ NOVIH PROIZVODA I USLUGA	3
2.2. PROCES PROJEKTOVANJA - PROMENE U METODOLOGIJI.....	4
2.3. OBLASTI PROJEKTOVANJA - OBJEKTI, METODOLOGIJE I METODI	6
2.4. KRITERIJUMI EFEKTIVNOSTI I EFIKASNOSTI	7
2.5. POBOLJŠANJE METODOLOGIJA RAZVOJEM METODA I ALATA.....	8
3. SISTEM RAZVOJA I PROJEKTOVANJA	11
3.1. PROJEKTOVANJE SISTEMA - SISTEMSKO INŽENJERSTVO	11
3.2. SISTEMSKI PRILAZ	13
3.3. METODOLOGIJA SISTEMSKOG INŽENJERSTVA	15
3.4. METODOLOGIJA REŠAVANJA PROBLEMA REALNOG SVETA ZASNOVANA NA SISTEMSKOJ IDEJI.....	17
3.5. ODREĐIVANJE PERFORMANSI - RADNE SPOSOBNOSTI SISTEMA.....	19
4. SISTEMI OPSLUŽIVANJA.....	21
4.1. STRUKTURA MODELA TEORIJE REDOVA	22
4.1.1. Proces opsluživanja.....	22
4.1.2. Izvor (dolazni tok klijenata - jedinica).....	23
4.1.3. Red	24
4.1.4. Disciplina opsluživanja (disciplina u redu).....	24
4.1.5. Mehanizam opsluživanja.....	24
4.1.6. Elementarni sistem opsluživanja.....	25
4.2. TERMINOLOGIJA I OZNAČAVANJE	27
4.2.1. Relacije koje povezuju N_{WS} , N_W , t_{WS} i t_W	29
5. SLUČAJNI (STOHAISTIČKI) PROCESI	31
5.1. SLUČAJNI PROCES MARKOV-A.....	32
5.1.1. Nehomogeni slučajni proces Markov-a	35
5.1.2. Homogeni slučajni proces Markov-a	36

5.1.2.1. KARAKTERISTIKE HOMOGENOG SLUČAJNOG PROCESA MARKOV-A.....	37
6. SISTEMI OPSLUŽIVANJA SA GRUPNIM DOLASKOM I GRUPNIM OPSLUŽIVANJEM JEDINICA.....	45
6.1. JEDNOKANALNI SISTEM OPSLUŽIVANJA SA GRUPNIM DOLASKOM JEDINICA U SISTEM I OGRANIČENIM BROJEM MESTA U SISTEMU.....	45
6.1.1. Sistemi opsluživanja sa grupnim dolaskom jedinica u sistem – konstantna veličina grupe.....	53
6.2. SISTEMI SA GRUPNIM OPSLUŽIVANJEM JEDINICA.....	56
7. SLUČAJNI PROCES TIPRAĐANJA I UMIRANJA.....	69
7.1. PROCES RAĐANJA.....	71
7.2. PROCES UMIRANJA.....	77
8. SISTEMI OPSLUŽIVANJA SA NEOGRANIČENIM IZVOROM JEDINICA.....	87
8.1. JEDNOKANALNI SISTEM OPSLUŽIVANJA SA OGRANIČENIM REDOM.....	87
8.1.1. Jednokanalni sistem opsluživanja bez reda.....	99
8.1.2. Jednokanalni sistema opsluživanja sa beskonačnim redom.....	103
8.2. VIŠEKANALNI SISTEM OPSLUŽIVANJA SA OGRANIČENIM REDOM.....	109
9. SISTEMI OPSLUŽIVANJA SA OGRANIČENIM IZVOROM JEDINICA.....	161
9.1. JEDNOKANALNI ZATVORENI SISTEM OPSLUŽIVANJA.....	162
9.2. VIŠEKANALNI ZATVORENI SISTEM OPSLUŽIVANJA.....	168
10. PRIMENA TEORIJE REDOVA.....	185
10.1. DONOŠENJE ODLUKA (ODLUČIVANJE).....	185
10.2. FORMULISANJE FUNKCIJE TROŠKOVA ČEKANJA.....	189
10.2.1. Forma $g(n)$ funkcije troškova čekanja.....	189
10.2.2. Forma $h(T_s)$ funkcije troškova čekanja.....	190
10.3. MODELI ZA ODLUČIVANJE (DONOŠENJE ODLUKA).....	192
10.3.1. Modeli za određivanje broja kanala za opsluživanje.....	192
10.3.2. Model za određivanje efikasnost i broja kanala za opsluživanje..	195
10.3.3. Model za određivanje broja modula (faza) opsluživanja.....	196

11. SIMULACIJA SISTEMA OPSLUŽIVANJA	229
11.1. O SIMULACIJI UOPŠTE	230
11.2. SUŠTINA SIMULACIJE	230
11.3. DISKRETNA ILI KONTINUALNA SIMULACIJA.....	232
11.3.1. Metoda fiksnog povećanja vremena.....	233
11.3.2. Metoda prelaska sa događaja na događaj.....	234
11.4. METOD MONTE KARLO – GENERISANJE SLUČAJNIH PROMENLJIVIH.....	235
11.5. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA	236
11.5.1. Karakteristike slučajnih brojeva.....	237
11.5.2. Kongruentni metod za generisanje slučajnih brojeva	238
11.6. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA PREMA ZADATOJ RASPODELI VEROVATNOĆA	241
11.6.1. Metod inverzne transformacije	241
11.6.2. Generisanje slučajnih brojeva po empirijskim raspedelama.....	242
11.6.2.1. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA PO EMPIRIJSKOJ DISKRETNOJ RASPODELI	242
11.6.2.2. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA PO EMPIRIJSKOJ KONTUNUALNOJ RASPODELI	243
11.6.3. Generisanje slučajnih brojeva po teorijskim kontinualnim raspedelama	245
11.6.3.1. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA PO RAVNOMERNOJ RASPODELI	245
11.6.3.2. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA PO EKSPONENCIJALNOJ RASPODELI	246
11.6.3.3. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA PO ERLANG-ovoj RASPODELI.....	247
11.6.3.4. GENERISANJE SLUČAJNIH BROJEVA PO NORMALNOJ RASPODELI.....	248
11.7. Pregled osnovnih simulacionih koraka	254
 12. PRIMENA SIMULACIJE U MODELIRANJU SISTEMA OPSLUŽIVANJA	 263
 ANNEX 1 – NEHOMOGENI SLUČAJNI PROCESI MARKOV-A	 309
 ANNEX 2 – HOMOGENI SLUČAJNI PROCESI MARKOV-A	 317
 ANNEX 3 – RADNI CUKLUSI SKLADIŠNIH UREĐAJA	 323
A3.1. DEFINICIJA RADNOG CIKLUSA.....	325

A3.2. RADNI CIKLUS VILJUŠKARA.....	326
A3.3. RADNI CIKLUSI VISOKO REGALNE DIZALICE.....	330
A3.3.1. Matematički model kretanja visoko regalne dizalice	330
A3.3.1. Jednostruki radni ciklus visoko regalne dizalice	332
A3.3.2. Složeni radni ciklus visoko regalne dizalice.....	337
A3.4. RADNI CIKLUSI SKLADIŠNIH UREĐAJA PRI KOMISIONIRANJU	341
A3.4.1. Komisioniranje.....	341
A3.4.2. Matematički model procesa komisioniranja	344
 ANNEX 4 – VERIFIKACIJA PRIPADNOSTI UZORKA TEORIJSKOJ RASPODELI VEROVATNOĆA	 353
A4.1. STATISTIČKA OBRADA REZULTATA EKSPERIMENTA – MERENJA	 353
A4.2. χ^2 – TEST	353
 ANNEX 5 – OSNOVNI POJMOVI IZ VEROVATNOĆE I MATEMATIČKE STATISTIKE	 377
A5.1. SLUČAJNI DOGAĐAJI	377
A5.1.1. Odnosi među slučajnim događajima.....	377
A5.2. VEROVATNOĆA DOGAĐAJA	380
A5.2.1. Verovatnoća zbira nesaglasnih i saglasnih događaja	381
A5.2.2. Verovatnoća proizvoda nezavisnih i saglasnih događaja	381
A5.2.3. Uslovna verovatnoća.....	382
A5.3. SLUČAJNE PROMENLJIVE	383
A5.3.1. Zakon raspodele verovatnoća i funkcija raspodele (kumulativni zakon) diskretne slučajne promenljive.....	 384
A5.3.1.1. NUMERIČKE KARAKTERISTIKE DISKRETNIH SLUČAJNIH PROMENLJIVIH	 385
A5.3.2. Gustina raspodele verovatnoća i funkcija raspodele kontinualne slučajne promenljive	 386
A5.3.2.1. NUMERIČKE KARAKTERISTIKE KONTINUALNIH SLUČAJNIH PROMENLJIVIH	 388
 LITERATURA	 389