



Duško Letić
Branko Davidović

OPERACIONI I PROJEKTNI MENADŽMENT

*Osnovni kvantitativni moduli
korišćenjem programa:*

MS Project 2010

Mathcad Professional

MS Excel

Lingo, Lab, Transp

Predgovor

Knjiga **OPERACIONI I PROJEKTNI MENADŽMENT** – *Osnovni kvantitativni moduli* predstavlja sažetu materiju nastalu tokom višegodišnjih predavanja nastave iz predmeta Operacionih istraživanja i Upravljanja projektima na Tehničkom fakultetu “Mihajlo Pupin” u Zrenjaninu. Gradivo ove knjige može biti podjednako interesantno studentima više profila mnogih fakulteta: profesorima informatike, dipl. inženjerima informatike, dipl. inženjerima industrijskog inženjerstva, profesorima tehnike i informatike, dipl. inženjerima za proizvodni menadžment, dipl. inženjerima za upravljanje tehničkim sistemima, studenima mašinskih, vojnih ekonomskih i organizacionih fakulteta i akademija kao i studentima master i doktorskih studija. Knjiga sadrži kompjuterske algoritme i metode za rešavanje specifične klase problema iz domena operacionog i projektnog menadžmenta (OPM) koji su dobrim delom matematički orijentisani. Njena poglavlja se odnose na:

- *Modele i metode operacionog menadžmenta*
- *Linearno programiranje (LP)*
- *Transportni problem (TP)*
- *Probleme asignacije resursa (PA)*
- *Nelinearno programiranje (NP)*
- *Dinamičko programiranje*
- *Višekriterijumsku optimizaciju, fazi odlučivanje i teoriju igara (VKO)*
- *Upravljanje zalihama (UZ)*
- *Heurističko istraživanje (HI)*
- *Masovno opsluživanje (MO)*
- *Simulaciono modeliranje (Monte Karlo-MK)*
- *Analizu i testiranje kvantitativnih podataka (AP)*
- *Vizuelizaciju kvantitativnih podataka (VP)*
- *Projektni menadžment (PM)*
- *Metode operacionog menadžmenta japanskih industrija*
- *Osnovni pojmovnik OPM.*

Nakon uvodnog upoznavanja sa istorijom predmetne oblasti slede problemi izloženi po poglavljima u navedenom redosledu. Svako poglavlje, sem poslednjeg, sadrži matematičke postupke, sa naglaskom na pragmatičnosti i aplikativnosti metoda i postupaka operacionog menadžmenta. Prateći fajlovi upotpunjuje sadržaj knjige i pružaju korisniku dovoljnu i potrebnu materiju putem reprezentativnih fajlova, razvrstanih po poglavljima (folderima) koji se mogu preuzeti sa odgovarajućeg sajta.

Autori se zahvaljuju: mr Srđanu Šereru, prof. engleskog jezika - lektoru, na korisnim sugestijama pri završnoj redakciji udžbenika. Takođe su nam pomogli u formulisanju i korekciji pojedinih poglavlja: prof. dr Jova Vuleta sa Ekonomskog fakulteta, prof. dr Dragan Radojević sa Instituta “Mihajlo Pupin” i prof. dr Mirko Vujošević sa fakulteta Organizacionih nauka iz Beograda, Univerziteta u Beogradu. Posebno se zahvaljujemo recenzentima udžbenika: prof. dr Milivoju Klarinu i prof. dr Zvonku Sajfertu sa Tehničkog fakulteta "Mihajlo Pupin" iz Zrenjanina, Univerziteta u Novom Sadu.

*Predgovor**Osnovni sadržaj**Str.*

1. MODELI I METODE OPERACIONOG MENADŽMENTA	1
2. LINEARNO PROGRAMIRANJE	15
3. TRANSPORTNI PROBLEM	113
4. PROBLEMI ASIGNACIJE RESURSA	167
5. NELINEARNO PROGRAMIRANJE	183
6. DINAMIČKO PROGRAMIRANJE	231
7. VIŠEKRITERIJUMSKO ODLUČIVANJE, FAZI ODLUČIVANJE I TEORIJA IGARA	247
8. UPRAVLJANJE ZALIHAMA	259
9. HEURISTIČKO ISTRAŽIVANJE	289
10. MASOVNO OPSLUŽIVANJE	323
11. SIMULACIONO MODELIRANJE	339
12. ANALIZA I TESTIRANJE KVANTITATIVNIH PODATAKA	375
13. VIZUELIZACIJA KVANTITATIVNIH PODATAKA	409
14. PROJEKTNI MENADŽMENT	457
15. METODE OPERACIONOG MENADŽMENTA JAPANSKIH INDUSTRIJA	539
Referentni pojmovnik: Operacioni i projektni menadžment	549
Prilog A: Pseudo-slučajni brojevi uformno raspoređeni	558

Predgovor

Detaljni sadržaj

Str.

1. MODEL I METODE OPERACIONOG MENADŽMENTA	1
1.1 Pojam i uloga operacionog menadžmenta	2
1.2 Razvoj nauke o operacionim istraživanjima	3
1.3 Matematički modeli i njihovo modeliranje	5
1.4 Osnovne vrste modela	6
1.5 Metode postavljanja matematičkog modela	7
1.6 Karakteristike operacionih istraživanja	8
1.7 Faze rešavanja modela problema	8
1.8 Uvod u optimizaciju	10
1.9 Predmeti optimizacije	11
Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 1	13
Preporučena literatura	13
2. LINEARNO PROGRAMIRANJE	15
2.1 Uvod u matematičko programiranje	16
2.2 Linearno programiranje kao deo matematičkog programiranja	17
2.3 Oblikovanje modela linearnog programiranja	18
2.4 Standardni oblik linearnog programiranja	18
2.5 Kanonički oblik linearnog programiranja	19
2.6 Matrični oblik linearnog programiranja	19
2.7 Vektorski oblik modela linearnog programiranja	20
2.8 Tabelačni način prikazivanja modela linearnog programiranja	21
2.9 Karakteristike modela linearnog programiranja	22
2.10 Uvođenje dopunskih promenljivih	22
2.11 Model linearnog programiranja u matričnom obliku	24
2.12 Formiranje vektorske baze	26
2.13 Linearno programiranje i softverska rešenja	30
2.14 Oblast dopustivih rešenja	31
2.15 Grafička metoda linearnog programiranja	32
2.16 Grafička prezentacija programskim putem	50
2.17 Metodi rešavanja linearnog programiranja	52
2.18 Rešavanje problema linearnog programiranja putem <i>simplex</i> metode	55
2.19 <i>Simplex</i> kriterijum optimalnog rešenja	57
2.20 Formiranje <i>simplex</i> tabele	62

2.21	Iterativni proračun elemenata <i>simplex</i> tabele.....	65
2.22	Analitički metod <i>simplex</i>	66
2.23	Manuelni način primene <i>simplex</i> metode	68
2.24	Korišćenje matičnog načina pisanja u programskoj formi	70
2.25	Izbor efikasne metode	73
2.26	Optimizacija proizvodnog programa programskim putem	74
2.27	Optimizacija tableta vitamina	76
2.28	Optimizacija proizvodnog programa asortiman / količina	77
2.29	Model linearnog programiranja sa dve promenljive	80
2.30	Optimizacija broja raketa	82
2.31	Optimizacija količine sirovina hemijskih proizvoda	84
2.32	Grafička metoda primenjena manuelnim postupcima	87
2.33	Dualni model linearnog programiranja	91
2.34	Dualni model rešavan manuelnom metodom	93
2.35	Primena dualnog modela linearnog programiranja	99
2.36	Primena programskih paketa LAB	105
2.37	Primena programskih paketa Lindo	109
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 2	111
	Preporučena literatura	112
3.	TRANSPORTNI PROBLEM	113
3.1	Uvod u transportni zadatak	114
3.2	Opšti model transportnog problema	114
3.3	Metode određivanja bazno dopustivog rešenja	118
3.4	Dijagonalna metoda - metoda <i>severozapadnog ugla</i>	118
3.5	Metoda minimalnih cena u redovima	120
3.6	Metoda minimalnih cena u kolonama	120
3.7	Metoda minimalnih cena u matrici	121
3.8	Metoda Vogela	121
3.9	Određivanje optimalnog rešenja transportnog zadatka	121
3.10	Mo-Di metoda	124
3.11	Primena metode <i>severozapadnog ugla</i> u nalaženju početnog bazičnog rešenja	124
3.12	Primena Mo-Di metode u nalaženju optimalnog rešenja	128
3.13	Kompjuterski postupak rešavanja transportnog problema	142
3.14	Transportni zadatak uz minimalne troškove I	142
3.15	Transportni zadatak uz minimalne troškove II	145
3.16	Transportni problem maksimuma dobiti I	147
3.17	Transportni problem maksimuma dobiti II	150
3.18	Transportni zadatak minimuma troškova III	152
3.19	Transportni zadatak minimuma troškova IV	154
3.20	Transportni zadatak minimuma troškova V	156
3.21	Ručni postupak rešavanja transportnog problema	159
3.22	Korišćenje softverskog paketa TRANS	163
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 3	165
	Preporučena literatura	166

4. PROBLEMI ASIGNACIJE RESURSA	167
4.1 Uvod u problem asignacije	168
4.2 Raspodela radnika na poslovima.....	168
4.3 Raspoređivanje poslova I	170
4.4 Raspoređivanje poslova II	172
4.5 Otvoreni problem raspoređivanja poslova	175
4.6 Raspoređivanje studenata	177
Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 4	181
Preporučena literatura	182
5. NELINEARNO PROGRAMIRANJE	183
5.1 Uvod u nelinearno programiranje.....	184
5.2 Primena optimizacione metode nelinearnog programiranja.....	185
5.3 Kompiuterske metode u rešavanju modela nelinearnog programiranja.....	189
5.4 Metode ekstremizacije funkcija: Find, Minerr, Maximize i Minimize.....	189
5.5 Veza između rešavanja funkcija i optimiziranja njenih argumenata.....	190
5.6 Kako <i>automatske metode</i> za rešavanje nelinearnog modela	192
5.7 Korišćenje opcije Minerr za nalaženje približnih rešenja NP	193
5.8 Efikasni optimizeri NP	194
5.9 Njutnov i Levenberg – Merkartov metod NP.....	197
5.10 Gradijentna metoda	198
5.11 Ograničena u optimizaciji-funkcije maksimiziranja i minimiziranja.....	198
5.12 Pogrešno postavljene probleme	200
5.13 Prikazivanje maksimuma i minimuma funkcije kriterijuma	201
5.14 Lokalni maksimum i minimum	205
5.15 Optimizacija bez neograničenja	208
5.16 Izvodjenje neograničene optimizacije.....	209
5.17 Jedan model nelinearnog programiranja	211
5.18 Maksimizacija profita metodom nelinearnog programiranja.....	213
5.19 Uslovi optimalnosti proizvodnje	216
5.20 Funkcija korisnosti-optimalni obim kupovine dobara.....	217
5.21 Optimizacija produkta enzima	218
5.22 Parametarska optimizacija	221
5.23 Kvadratno programiranje QP.....	223
5.24 Važnost QP problema	224
5.25 Metod za rešavanje QP	225
5.26 Blokovi za rešavanje QP problema.....	228
Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 5	229
Preporučena literatura	230
6. DINAMIČKO PROGRAMIRANJE	231
6.1 Dinamičko programiranje i model tokova u mreži	232
6.2 Karakteristike modela dinamičkog programiranja	232
6.3 Formulacija jednog problema dinamičkog programiranja	234

6.4	Postupak rešavanja problema minimalnog toka u mreži	235
6.5	Postupak rešavanja problema maksimalnog toka u mreži	237
6.6	Manuelni postupak izračunavanja jednodimenzionalni proces optimalne raspodele resursa	239
6.7	Primena kompjuterske metode u rešavanju jednodimenzionalnog procesa optimalne raspodele resursa	242
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 6	246
	Preporučena literatura	246
7.	VIŠEKRITERIJUMSKO I FAZI ODLUČIVANJE I TEORIJA IGARA	247
7.1	Uvod u višekriterijumsku optimizaciju	248
7.2	Metoda jednostavnih aditivnih težina	248
7.3	Uvod u fazi programiranje	250
7.4	Optimizacija proizvodnog programa na osnovu fazi mera	250
7.5	Uvod u teoriju igara	255
7.6	Primena teorije igara u upravljanju	255
7.7	Nesingularne matrice igre	256
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 7.....	257
	Preporučena literatura	258
8.	UPRAVLJANJE ZALIHAMA	259
8.1	Pojam i podela zaliha.....	260
8.2	Model zaliha sa konstantnom nabavkom	261
8.3	Model zaliha kada je potražnja veća od nabavljenih zaliha	267
8.4	Izračunavanje optimalnih količina zaliha sa konstantnom nabavkom kompjuterskim metodama	270
8.5	Kompjuterski proračun optimalnih količina zaliha sa interventnom narudžbom	273
8.6	Zalihe nedovršene proizvodnje	276
8.7	Dijagram rada obradne linije	277
8.7	Dijagram rada obradne linije	277
8.8	Broj jedinica opreme za izvođenje operacija rada sa dijagramom rada	277
8.9	Određivanje broja učesnika u radu	277
8.10	Planiranje obrtnih i maksimalnih zaliha uravnoteženja tokom ciklusa obrtanja To.....	278
8.11	Zaključak o obrtnim zalihama.....	287
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 8.....	288
	Preporučena literatura	288
9.	HEURISTIČKO ISTRAŽIVANJE	289
9.1	Uvod u modeliranje heurističkih problema	290
9.2	Primena heurističkog programiranja	291
9.3	Metode heurističkog programiranja	291

9.4	Metoda na principu lokalnog pretraživanja.....	292
9.5	Tabu pretraživanje	292
9.6	Metoda <i>simuliranog kaljenja</i>	294
9.7	<i>Genetski</i> algoritmi	294
9.8	Primena heurističke metode uravnoteženja vremenskog kapaciteta montažne linije iznalaženjem minimalnog ciklusa montažne linije pri konstantnom broju radnih mesta	294
9.9	Tok iterativnih postupaka izračunavanja	296
9.10	Intenziteti tokova predmeta montaže	297
9.11	Određivanje redosleda poslova na bazi kvantitativnih metoda	302
9.12	Opšta formulacija problema i cilja raspoređivanja i lansiranja proizvoda - matematički model problema redosleda	303
9.13	Razvoj heurističke metode redosleda na bazi međuvremena i rezervnih vremena	307
9.14	Tok postupaka raspoređivanja	310
9.15	Postupci za poboljšanje osnovnog rešenja	313
9.16	Tok postupaka terminiranja	316
9.17	Postupak realokacije pojedinih pozicija u termin planu	317
9.18	Efikasnost prezentovane metode redosleda	317
9.19	Efikasnost metode u pogledu kombinatorike	318
9.20	Primena mrežnih tehnika	319
9.21	Kompjuterske metode u heurističkom istraživanju	319
9.22	Optimalni prečnik cevovoda	319
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 9	322
	Preporučena literatura	322
10.	MASOVNO OPSLUŽIVANJE	323
10.1	Uvod u teoriju višekanalnog opsluživanja	324
10.2	Jednokanalni sistemi opsluživanja	325
10.3	Šestokanalni model masovnog opsluživanja	329
10.4	Sistem opsluživanja M/G/1/beskonačno	335
10.5	Šestokanalni model masovnog opsluživanja.....	335
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 10	338
	Preporučena literatura	338
11.	SIMULACIONO MODELIRANJE	339
11.1	Pojam i uloga simulacije	340
11.2	Podela metoda simulacije	341
11.3	Metoda simulacije Monte-Karlo	342
11.4	Primena manualnih postupaka simuliranja metodom Monte-Karlo	342
11.5	Primena metode Monte Karlo u upravljanju tokovima materijala u mašinogradnji	344
11.6	Primena standardnog algoritma za identifikaciju kritičnog toka u mreži	346
11.7	Algoritam modeliranja slučajneih promenljivih aktivnosti P_{ij}	349
11.8	Rešavanje modela (sub)kritičnih tokova	349

11.9	Simulacija izvesnosti završetka protočnog vremena u planiranom roku	353
11.10	Analiza rezultata aplikacije Monte-Karlo metode	353
11.11	Generisanje slučajnih brojeva kompjuterskim metodama	357
11.12	Simuliranje vremena pouzdanosti elemenata tehničkog sistema.....	359
11.13	Simulacija superponiranog protoka kroz mrežu aktivnosti i događaja	363
11.14	Simulacija intralogistike transporta	366
11.15	Definisanje problema	366
11.16	Cilj rada	366
11.17	Koncepcija i metodi rešavanja problem	366
11.18	Razvoj simulacionog modela	367
11.19	Simulacija potražnje dnevne količine tovara	368
11.20	Simulacija isporuke dnevne količine tovara	368
11.21	Simulacija troškova prekovremenog rada	370
11.22	Proračun ukupnih troškova transportovanja	371
11.23	Zaključak	372
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 11	373
	Preporučena literatura	373

12. ANALIZA I TESTIRANJE KVANTITATIVNIH PODATAKA

12.1	Primene verovatnoće i statistike u operacionom menadžmentu	376
12.2	Primena normalne raspodele Komparacija histograma i krive normalne raspodele	377
12.3	Hi-kvadrat test za verifikaciju hipoteze o slaganju empirijske raspodele sa teorijskom normalnom raspodelom	378
12.4	Test primer - statistička analiza uzorka	378
12.5	Rezultati testiranja hipoteze o normalnoj raspodeli	382
12.6	Vizuelizacija uniformne raspodele	383
12.7	Hi-kvadrat testiranja uniformne raspodele	383
12.8	Testiranje hipoteze hi-kvadrat testom	386
12.9	Testiranje hipoteze testom Romanovskog	386
12.10	Test χ^2 za verifikaciju hipoteze o slaganju empirijske sa teorijskom eksponencijalnom raspodelom	387
12.11	Rezultati testiranja Hi-kvadrat testom	391
12.12	Simulacija beta raspodele	391
12.13	Osnovne statistike vektora podataka	392
12.14	Interval poverenja pri oceni srednje vrednosti populacije sa normalnom raspodelom.....	395
12.15	Procena srednje vrednosti populacije za normalnu raspodelu	396
12.16	Hi-kvadrat test o kvalitetu fitovanja	397
12.17	Hipotetički test srednje vrednosti za normalnu raspodelu	398
12.18	Uvod u Markovljeve modele	401
12.19	Markovljevi lanci	401
12.20	Proces odlučivanja Markova.....	401
12.21	Model za prognoziranje opredeljenja potrošača	402
12.22	Naplativost potraživanja	405
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 12	407
	Preporučena literatura	408

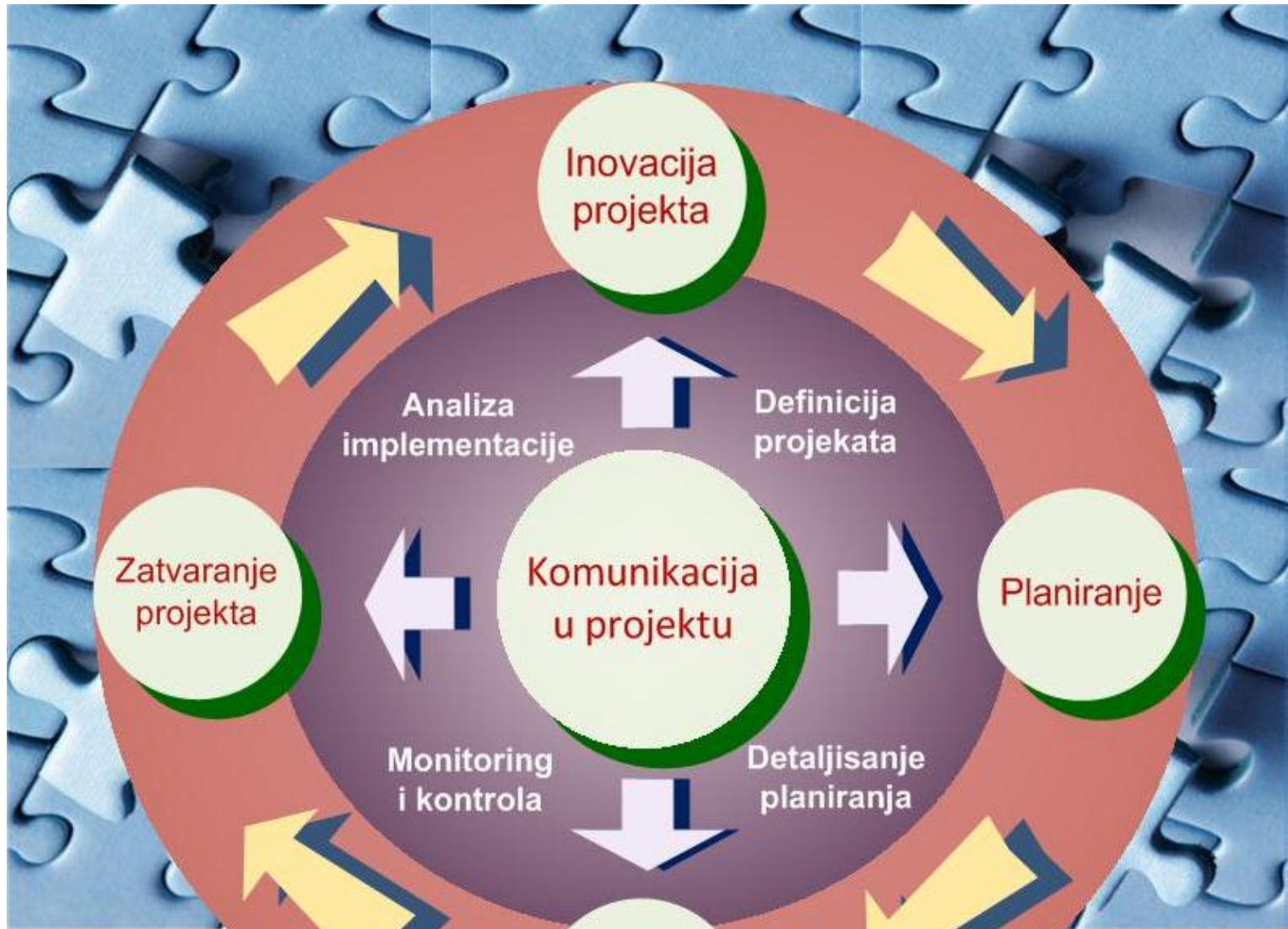
13. VIZUELIZACIJA KVANTITATIVNIH PODATAKA	409
13.1 Analiza i vizuelizacija numeričkih podataka	410
13.2 Funkcije stringa	411
13.3 Eksport i import podataka programskim putem	411
13.4 Brzi eksport numeričkih podataka	412
13.5 Kreiranje izlaznih tabela	413
13.6 Postupak eksportovanja matričnih podataka	415
13.7 Uvoz podataka iz Excel-ove tabele.....	418
13.8 Postupci uvoza numeričkih podataka	418
13.9 Metode interpolacije	421
13.10 Metode interpolacije u 2D oblasti.....	421
13.11 Linearna interpolacija	421
13.12 Grafik razvrstanih originalnih podataka	422
13.13 Prilagođavanje krivih metodama fitovanja	425
13.14 Linearna regresija	425
13.15 Regresioni polinomi	427
13.16 Primena metode regress	428
13.17 Regresioni polinom najvišeg stepena.....	429
13.18 Polinomna regresija	431
13.19 Posebne funkcije regresije	432
13.20 Linearna regresija metodom line	433
13.21 Fitovanje podataka metodom genfit	435
13.22 Eksponencijalna regresija metodom fitovanja expfit	438
13.23 Komparativno fitovanje metodom genfit.....	440
13.24 Fitovanje krivih linearnim funkcijama linfit.....	440
13.25 Metod fitovanja pwrfit	446
13.26 Metoda fitovanja logističkom krivom lgsfit	448
13.27 Metode interpolacije podataka u 3D oblasti	450
13.28 Metoda uglađivanja trenda diskontinuiranih podataka	450
13.29 Komparacija rezultata dobijenih metodama uglađivanja.....	455
13.30 Zaključak o rezultatima uglađenih trendova	455
Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 13	456
Preporučena literatura	456
14. PROJEKTNI MENADŽMENT	457
14.1 Uvod u projektni menadžment.....	458
14.2 Nova područja upravljanja projektima.....	458
14.3 Tehnike mrežnog planiranja	459
14.4 Analiza strukture	460
14.5 Osnovni elementi mrežnog dijagrama	460
14.6 Grafičko predstavljanje mrežnog dijagrama	460
14.7 Analiza vremena	463
14.8 Analiza vremena po metodi kritičnog puta CPM	463
14.9 Određivanje najranijeg početka $t_i^{(0)}$ i najranijeg završetka $t_j^{(0)}$ aktivnosti	463

14.10	Određivanje najkasnijeg početka $t_i^{(1)}$ i najkasnijeg završetka $t_j^{(1)}$ aktivnosti.....	464
14.11	Kritična aktivnost, kritičan put	464
14.12	Određivanje vremenskih rezervi	465
14.13	Ukupne vremenske rezerve Δu_{ij} aktivnosti $(i - j)$	465
14.14	Slobodne vremenske rezerve Δs_{ij} aktivnosti $(i - j)$	465
14.15	Nezavisne vremenske rezerve Δn_{ij} aktivnosti $(i - j)$	466
14.16	Uslovne ili kritične vremenske rezerve Δ_i događaja (i)	467
14.17	Analiza vremena po metodi PERT	483
14.18	Određivanje očekivanog vremena i varijanse	483
14.19	Određivanje očekivanog najranijeg završetka $te_i^{(0)}$ i najkasnijeg početka $te_i^{(1)}$ aktivnosti $(i - j)$	485
14.20	Određivanje očekivane vremenske rezerve Δe_i i verovatnoće $P(z)$ realizacije kritičnog puta	486
14.21	Upoređivanje proračuna parametara po metodi PERT i CPM	487
14.22	Mrežna tehnika zasnovana na PDM-Precedence Diagramming strukture	498
14.23	Kompjutersko rešavanje mrežne tehnike PERT	509
14.24	Uvodna razmatranja Projekat 1: Organizovanje vanrednog sajma zapošljavanja u Nacionalnoj službi za zapošljavanje	511
14.25	Definisanje problema i cilja	511
14.26	Koncepcija i metodologija rada	512
14.27	Razvoj modela upravljanja projektom	513
14.28	Unos naziva zadataka.....	516
14.29	Unos trajanja zadataka	517
14.30	Organizovanje zadataka u celine	518
14.31	Povezivanje zadataka	519
14.32	Podešavanje ograničenja zadataka	520
14.33	Dodatne informacije o zadacima	522
14.34	Podela zadataka	522
14.35	Rad sa resursima	523
14.36	Prikazi projekta	523
14.37	Izveštaji projekta	526
14.38	Zaključak	527
14.39	Projekat 2: MS Project 2010 i njegova primena u procesu revitalizacije postojeće putne mreže.....	528
14.40	Važnost rehabilitacionog puta.....	528
14.41	Izrada liste aktivnosti - zadataka.....	530
14.42	Usklađivanje resursa	542
14.43	Dodeljivanje resursa zadacima	534
14.44	Zaključak.....	536
	Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 14	537
	Preporučena literatura	537

15. METODE OPERACIONOG MENADŽMENTA JAPANSKIH INDUSTRIJA	539
15.1 Uspon japanske privrede u svetu	540
15.2 Nove proizvodne metode japanske industrije	542
15.3 Just-in-time proizvodnja i isporuka proizvoda	542
15.4 Pull-sistem	543
15.5 Nagara koncepcija	543
15.6 SMED metod racionalizacije pripreme proizvodnje	544
15.7 Informaciono-upravljački sistem Kanban	545
15.8 Totalna kontrola kvaliteta	546
15.9 Kružoci kvaliteta i ostvarenje Zero-defect-a.....	546
15.10 Koncept Poka-Yoke	547
Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci za Poglavlje 15	548
Preporučena literatura	548
Referentni pojmovnik: Operacioni i projektni menadžment	549
Prilog A: Pseudo-slučajni brojevi uformno raspoređeni	558

Zaštitne marke:

Project 2010, Excel i Word	- Microsoft Corporation, U.S.A.
Mathcad Professional	- PTC - Product Development Company - Corporate Information, U.S.A
Lingo	- LINDO Systems, Inc. Chicago, IL 60614 U.S.A
Lab, Transp i RC	- Fakultet organizacionih nauka, Beograd.



Poglavlje 1

**Modeli i metodi
operacionog
menadžmenta**



1.1 Pojam i uloga operacionog menadžmenta

Operacioni menadžment je područje menadžmenta koje se bavi projektovanjem, upravljanjem i redizajniranjem poslovanja i proizvodnje robe i/ili usluga. To uključuje odgovornost da se obezbedi da poslovanje bude što uspešnije u datim uslovima, koristeći optimalne resurse u smislu zahteva kupaca, potencijala sistema i okruženja. On je odgovoran pored drugih subjekata za vođenje procesa u kojima se konvertuju ulazne komponente u obliku materijala, učesnika u radu, energije, kvaliteta i finansijskih sredstava u izlazima, u obliku robe, odnosno usluga. Odnos u upravljačkim funkcijama prema višem menadžmentu u prevashodno privrednim delatnostima može se uporediti sa principom subordinacije u vojnim delatnostima. Na najvišem nivou menadžeri oblikuju strategiju i revidiraju je tokom vremena, dok niži nivo menadžera donosi taktičke odluke u cilju podrške sprovođenju strategije [17]. Međutim, u poslovanju ove granice nisu često statičke i stereotipne, već mora tu postojati fleksibilna granica koja omogućuje transparentnost informacija, kao najvažnijeg resursa, kako bi se uticaj taktičkih informacija dinamički sproveo na strateške odluke menadžera. Operacije koje se obavljaju u poslovanju i proizvodnji tradicionalno se odnose na proizvodnju robe i/ili usluga odvojeno, mada je razliku između ove dve glavne vrste operacija sve teže organizaciono razdvojiti jer menadžeri teže da spoje ponude kupcu i proizvod i usluge. Uopšte, operacioni menadžment ima za cilj da poveća sadržaj i dopuni vrednosti aktivnosti u bilo kom procesu i sistemu ponude i tražnje. U osnovi, ove dodatne vrednosti kreativne aktivnosti treba da budu usaglašene sa tržištem kroz marketing [13] u skladu sa optimalnim performansama i resursima preduzeća. Prema američkom Odeljenju za edukaciju (U.S. Department of Education), operacioni menadžment je polje koje se bavi upravljanjem i usmeravanjem fizičkih i/ili tehničkih funkcija u preduzeću i organizaciji, posebno onih koje se odnose na razvoj, proizvodnju proizvoda i usluga [6]. Operacioni menadžment programi obično obuhvataju nastavu iz principa opšteg menadžmenta, proizvodnje i proizvodnih sistema, tehnoloških sistema za upravljanje, održavanje opreme za upravljanje, kontrolu proizvodnje, industrijskih radnih odnosa, strateške proizvodne politike, systemske analize, analize produktivnosti i kontrole troškova, kao i planiranja resursa i optimizacije radnih procesa. Pri tome se uključuje upravljanje operacijama na nivou operacionih istraživača koji se uglavnom bave optimizacijom i suboptimizacijom resursa uz zadovoljenje ekstremnih vrednosti funkcije cilja (npr. dobiti i troškova) na kvantitativnim osnovama. Generalno treba spojiti delatnost inženjeringa sa primenjenom umetnošću tj. dizajnom proizvoda i usluga. Ove veštine, kreativnost i sposobnosti racionalne analize stiču se godinama. Poreklo menadžmenta operacija može se pratiti unazad kroz kulturne i tehnološke promene poslednja tri veka, uključujući i industrijske revolucije i razvoj izmenljive proizvodnje, Valtam-Lovlijev (Waltham-Lowell) sistem, američki sistem proizvodnje, Fajolove doktrine naučnog upravljanja, razvoj prakse na pokretnoj traci i masovne proizvodnje, industrijski inženjering, reinženjering, proizvodni inženjering, operaciona istraživanja i kompjuterske tehnologije. Na tom polju veliki uspeh su postigle koncepcije Toyota proizvodnog sistema, serijska proizvodnja bez skladišta princip “šest sigma”, ekološke sfere i mnoštvo drugih doktrina. U kombinaciji ovih ideja omogućava se standardizacija poslovnih procesa izbalansiran sa prostorom za dalju inovaciju kroz kontinualno poboljšanje procesa proizvodnje i usluga. Ključne karakteristike ovih proizvodno-poslovnih sistema su prelazak od zanatske proizvodnje do potpunije podele rada i prenosa tradicionalnih znanja u znanja inovativnih i obrazovanih učesnika u radu. Disciplina organizacionih studija, industrijske i organizacione psihologije, programa za upravljanje projektom, kao i informacioni sistemi za upravljanje preduzećima [21] su u nadležnosti tima za operacioni menadžment. U

razvijenim industrijskim zemljama postoji jaka tradicija angažovanja operacionih menadžera, sistem inženjera, stručnjaka za informacione tehnologije i sl. U hronologiji razvoja poslovnih sistema u svetu postoje stotine ljudi koji su ovu disciplinu podigli na visok stručni i naučni nivo (prvenstveno putem metoda operacionih istraživanja i IT tehnologija) i mogu se svrstati u lidere koji su svojim životnim delom postavili temelje za operacioni menadžment. Veoma letimičan spisak, približno hronološki, bi uključio: Adama Smita (Adam Smith), Žan-Batista de Vakuete Gribiuvala (Jean-Baptiste Vaquette de Gribeauval), Luj de Tosarda (Louis de Tousard), Honore Blanka (Honoré Blanc), Eli Vitnija (Eli Whitney), Džon H. Sala (John H. Hall), Sajmona Norta (Simeon North), Anria Fajola (Henri Fayol), Frederika Tajlora (Frederick Winslow Taylor), Anria Ganta (Henry Gantt), Anria Forda (Henry Ford), Sakiši Tojoda (Sakichi Toyoda), Alfreda Slona (Alfred P. Sloan) i Bila Knudsina (Bill Knudsen) Frenk i Lilijan Gilbreta (Frank and Lillian Gilbreth), Teks Torntona (Tex Thornton), zatim Edvardsa Deminga (W. Edwards Deming) i vizionara Toyota proizvodnog sistema: Taiči Ohnoa (Taiichi Ohno), Šigea Šinga (Shigeo Shingo), Eija Tojoda (Eiji Toyoda), Kičira Tojoda (Kiichiro Toyoda) i drugih. Međutim, u daljem delu knjige autori fokusiraju pažnju, na poseban aspekt operacionog menadžmenta, koji se pojavio u 20. veku, a koji se odnosi na razvoj i korišćenje kvantitativnih metoda u domenu poslovanja i u tom smislu će se istaći i njihovi rodonačelnici (pogledati u referenci [4]).

1.2 Razvoj nauke o operacionim istraživanjima

U kompjuterskoj matematici se za modele, veoma složene strukture, često, vrlo brzo razvijaju numeričke metode optimizacije, čiji se zadaci sastoje u proučavanju ekstremnih vrednosti funkcija kriterijuma pri optimalnim vrednostima argumenata. Posebno treba istaći zadatke matematičkog programiranja na osnovu kojih se rešavaju mnogi zadaci proizvodnje i poslovanja. U operacioni menadžment, sa kvantitativnog stanovišta i nauke o upravljanju spadaju optimizacioni i suboptimizacioni zadaci, kao i odgovarajuće metode koje su razrađene za njihovo rešavanje. Stabilnost računarskih metoda i algoritama obuhvata jedan od glavnih pravaca u istraživanju primene i klasifikacije grešaka različite vrste pri implementaciji ovih metoda. Početkom 20. veka, 1916. g. počinje razvoj nauke o upravljanju koju je postavio Frederik Tejlor (Taylor, W. F), a analitičke osnove planiranja Gant (Gantt, H.). Nekoliko bitnih stvari je time rešavano, i one se prevashodno odnose na upravljanje resursima. Tih godina je Haris (Harris) postavio osnovni matematički model optimalnog nivoa zaliha. Nastanak teorije redova čekanja vezuje se za danskog matematičara Erlanga 1909. g. (Erlang, K. A.). Doprinos teoriji optimalnih zaliha dali su, između ostalih: Kendal (Kendall, M.), Hinčin (Hinchin) i Polaček (Polashek). Teorija igara je matematička teorija o donošenju odluka u takmičarskim situacijama suprotnih interesa. Prvi ju je započeo razvijati Emil Borel (Borel, E.) 1921. godine, a temeljni doprinos dao je 1928. godine Fon Nojman (Neumann, J., 1903-1957). Prvi primeri modeliranja linearnog programiranja i transportnog problema izloženi su u radovima Kantoroviča iz 1939. godine [9] i Nojmana iz 1936. godine dok je nagli razvoj ove teorije i prakse usledio posle 2. svetskog rata. U pionire transportnog problema treba izdvojiti i američkog matematičara Hičkoka (Hickok) iz 1941. godine, koji je među prvima formulisao i rešio jedan tip transportnog zadatka. Tu su još i radovi Vogela posvećeni aproksimativnoj metodi za nalaženje početnog rešenja transporta, radovi Forda i Falkersona (Ford, L. R. and Fulkesron, D. R.), Čarnesa (Charnes) i Kupera (Kuper) i drugih. Sve su ovo bili preduslovi da se uoči 2. svetskog rata u Velikoj Britaniji formira tim naučnika, različitih struka koji se uključuju u istraživanja mnogostrukih kvantitativnih operacija vezanih za koordinaciju i razmeštaj radarskih sistema, transport vojnih resursa i sl. Ovi istraživači operacija su se služili matematičkim metodama i time stvorili multidisciplinarnu nauku nazvanu

Istraživanje operacija. Nakon rata njene metode su veoma brzo implementirane kod rešavanja problema u proizvodnji i poslovanju, medicini, industriji i sl. Veliki značaj imala je metoda linearnog programiranja *simplex* koju je 1947. godine, razvio poznati američki matematičar Dancig (Dantzig, B. G.) [3]. U periodu 1951-1955. godine, izvršena je modifikacija metode od strane Čarensa (Charens), Lemkea (Lemke), kao i samog Danciga. Pedesetih godina je snažan naglasak stavljen na linearno programiranje i statističke metode. U istoj deceniji Nojman i Morgenštern (Morgenstern, O), a kasnije i Neš (Nash, F. J.) postavili su modernu teoriju igara. Počev od Fon Nojmana, termin "igre" se koristi kao naučna metafora za komunikaciju među stručnjacima kod kojih je bitan ishod interakcije međusobnih strategija dve ili više strana, a koje imaju konfliktne interese. Pedesetih godina su Kun i Taker (Kuhn and Tacker) označili početke razvoja nelinearnog programiranja. Ovo je dovelo do ekspanzije novih metoda i primene istraživanja operacija. Poznata metoda numeričke simulacije *Monte-Karlo* (Monte-Carlo) nastala je 1949. godine [5] kada se pojavio rad Metropolisa i Ulmana (Metropolis, N. and Ulman, S) na temu slučajnih brojeva. Koristi se za rešavanje kako determinističkih, tako i stohastičkih zadataka u mnogim sferama nauke: teorije pouzdanosti, metereologije, proizvodnje i usluga, masovnog opsluživanja, nuklearne fizike, logistike i sl. Kao logičan nastavak primene tradicionalnog *Gantovog* dijagrama krajem 50-tih godina prošlog veka, razvijen je skup metoda koje se jednim imenom zovu *tehnike mrežnog planiranja*. Ove metode zasnovane su na rezultatima algebre, teorije grafova, statistike i računarskih nauka. Prvu studiju sa osnovnim postavkama metode objavili su 1958. godine Volker i Kejli (Volker and Keily). Razvoj PERT (Program Evaluation and Review Technique) metode je započet 1958. godine, a istraživanjem je rukovodio Fazar (Fazar, W), dok je matematičke osnove metode postavio Klark (Clark, E. C.) 1958. godine. Nešto ranije nastala je metoda CPM (Critical Path Method) kao deterministička metoda nižih performansi od PERT-a. Dinamičko programiranje i algoritme optimalnog upravljanja razvio je američki matematičar Belman (Belman, R) 1953. godine, koji je postavio klasičnu metodologiju za modeliranje i rešavanje jedne klase specijalno strukturiranih optimizacionih zadataka vezanih za tzv. *višeetapne procese upravljanja*. Šezdesetih godina su veliki uticaj imali: mrežno planiranje, linearno programiranje, teorija grafova u optimizaciji i diskretna stohastička simulacija. Sedamdesete godine su karakteristične po nelinearnom programiranju i globalnoj optimizaciji, kao i po prodoru kompjuterskih metoda zasnovanih na numeričkoj matematici. Tada se značajnije razvijaju teorijske osnove sa novim algoritmima u tretiranju neizvesnosti, kada se više ne koriste isključivo klasični statistički i probabilistički modeli. Značajna tehnika početkom 70-ih razvijena je i nazvana je PDM (Precedence Diagramming Method) ili mrežna metoda "prvenstva". Algoritmi ove metode ugrađeni su danas u gotovo sve programske pakete za projektni menadžment. Time je ova visoko elaborirana tehnika, možda više od svih iz domena istraživanja operacija primenjivana u praksi. Osamdesetih godina se pažnja istraživanja operacija usmerava ka višekriterijumskoj optimizaciji i teoriji odlučivanja. Ekspertni sistemi i sistemi za podršku odlučivanju omogućuju uvođenje personalnih računara sa odgovarajućom programskom podrškom. Novije metode, zasnovane na teoriji "rasplnutih skupova" - *fazi* u svetu nauke objavljene su 1965. godine od strane Zadeha (Zadeh, A. L.). Danas postoje mnogobrojne metode bazirane na fazi principu: "Što se bliže posmatra realan problem, njegovo rešenje postaje sve više fazi (Zadeh)", tako da teorija *fazi* skupova nalazi odgovarajuće primene u upravljanju tehničkim sistemima. Devedesetih godina se mnogo napredovalo u rešavanju problema celobrojnog, mešovitog i višekriterijumskog programiranja. Ogromni računarski resursi postaju masovno raspoloživi i omogućuju efikasnu primenu metoda operacionih istraživanja u svakodnevnim realnim sistemima i procesima. Razvoj novih pristupa za rešavanje takvih problema obuhvata na osnovu heuristike "genetskih" algoritama, "neuronske" mreže i sl. Vremenom su stvoreni alati za rešavanje problema koji će se aplicirati u novim tehnološkim okolnostima, internet okruženju i

elektronskom poslovanju. Pored toga, može se reći da je došlo i do delimične evolucije u terminologiji, pa se danas pažnja skreće na upravljanje operacijama (operacioni menadžment), a ne samo na njihovo istraživanje.

1.3 Matematički modeli i njihovo modeliranje

Model nekog objekta, po opštoj definiciji, predstavlja uređen skup informacija kojim se iznosi predstava o entitetu. Entitet je u ovom slučaju, kao što je rečeno, realni objekat, odnosno objekat koji je predmet i baza za modeliranje. Ako matematički model dobro prezentuje problem, tada se očekuje da i rešenje dobijeno pomoću modela bude adekvatno postavljenom problemu. Da bi se primenila neka metoda, poznato je u većini slučajeva da je potrebno na osnovu modela matematički formalizovati problem. Međutim, za rešavanje mnogih modela još nisu pronađene efikasne metode rešavanja. Modeli treba da omoguće čoveku da predvidi i upravlja pojavama, odnosno entitetima. U tehničkim disciplinama traži se matematički model koji pruža racionalnu interpretaciju funkcionisanja realnih entiteta. Matematički model stvarnog entiteta predstavlja uređen skup matematičkih relacija (formula, jednačina, nejednačina, logičkih uslova, relacionih operatora, operanata i sl.) koji opisuju entitet, odnosno određuju njegove karakteristike. Često se zbog složenosti entiteta i interakcije sa njegovim okruženjem, usvajaju samo primarna svojstva entiteta i odgovarajućih performansi i njegove interakcije sa okolinom. U tom smislu, u procesu matematičkog modeliranja problema koji se vezuje za realni entitet, treba voditi računa o sledećem:

- Model je samo jedna matematička formulacija određenog stepena aproksimacije entiteta. Koliko će on biti detaljan, zavisi od kompleksnosti zadataka, raspoloživosti metoda (algoritamskih, heurističkih) za njegovo rešavanje, veštine i potrebe korisnika da razviju model na dovoljnom i potrebnom nivou i apliciraju postupke za rešavanje takvog modela.
- Matematički model ne može da pruži uvek novu informaciju o entitetu, kao i da ga zameni, ali može na osnovu dobijenih rešenja da stvori verodostojniju sliku o entitetu i njegovim funkcijama.
- Menadžeru operacija i istraživaču se omogućava, na osnovu korektno postavljenog modela, eksperimentisanje tim modelom, čime se stvara veća pogodnost za donošenje kvalitetnijih odluka na kvantitativnim i kvalitativnim osnovama.

U operacionim istraživanjima modeli su egzaktne prirode i oblikuju se na osnovu formalnih jezika poznatih u matematici. Uglavnom susrećemo sledeće načine i poreklo njihovog oblikovanja:

- Na osnovu eksperimentalnih podataka.
- Na osnovu proverenih matematičko-fizičkih zakona o ponašanju entiteta.
- Pomoću analize i sinteze kao originalnog, kombinovanog, odnosno izvedenog postupka o međusobnim zavisnostima promenljivih u entitetu i sl.

Matematički modeli sadrže klasu objekata simbolički definisanih (skalari, vektori, matrice) i relacije između njih. Mnoštvo relacija se opisuje matematičkim operacijama koje međusobno povezuju jedan ili više operanata. Modeli se mogu podeliti po još nekim karakteristikama:

- Prema dinamici u vremenu, modeli se dele na:
 - statičke, gde veličine i relacije nisu funkcije u vremenskom horizontu modela, tj. stacionarne su, ili se modelom opravdano zanemaruje promena u vremenu,
 - dinamičke, gde se modelom obuhvataju veličine koje su funkcije vremena.
- Prema određenosti komponenata u modelu ("verovatnoći" i "rasplinitosti") dele se na:
 - determinističke, gde su komponente strogo određene veličine,

- stohastičke, gde se efekat veličina opisuje kao slučajan (slučajna promenljiva),
- fazi, (*fuzzy*) gde se vrednosti modeliraju kao “rasplinute” veličine promenljivih nekog skupa.
 - Prema strukturi modela i postupaka za njihovo analiziranje, modeli se dele na:
 - analitičke, sa funkcijama u analitičkoj formi, sa rešenjima u analitičkom ili numeričkom obliku,
 - numeričke, sa primenom numeričkih postupaka za njihovo oblikovanje i rešavanje i softvera projektovanih na tim osnovama.
 - Prema strukturi metoda za rešavanje problema, modeli se dele još na:
 - algoritamske, gde se može očekivati jedno od rešenja na osnovu primenjene metode sa poznatom uređenom i determinisanom strukturom postupaka. Ove metode predstavljaju osnovne podloge za pisanje računarskih programa.
 - heurističke, koji nemaju fundiranu algoritamsku strukturu, već se za rešenjem traga na osnovu postojećeg znanja, intuicije i lične kreativnosti istraživača. Osnovna odlika heurističkih postupaka je neizvesnost u traganju za najboljim rešenjem. Veštačka inteligencija i ekspertni sistemi su u stalnom razvoju, potpomognuti razvojem heurističkih metoda [11].

Matematičko modeliranje je interdisciplinarni i timski zadatak, pri čemu osnovni doprinos daju poznavaoци metoda i metodologije modeliranja kao i poznavaoци realnog problema. Svaki model problema operacionih istraživanja i menadžera je karakterisan formalno-matematičkim opisom sa određenim nivoom apstrakcije. Vekovna je težnja čoveka da pronađe najbolje rešenje problema, počev od tehničkih, ekonomskih, društvenih, političkih, i sl. Kako su problemi u ovom vremenu mnogobrojni, njihovo rešavanje teorijskim putem je izuzetno složeno. Istaknimo kao primer da se jedna vrsta metode, poznata kao numerička simulacija, može uspešno primenjivati počev od analize globalnih prirodnih procesa kao što je rast stanovništva na planeti Zemlji, pa do aplikacije na nivou nanotehnologije i proučavanja kretanja atomskih čestica. Nakon uočavanja karakterističnih veličina entiteta, formiraju se matematičke relacije između njih, kao posledica analize tj. identifikacije zakonitosti između struktura i procesa u entitetu. Oblici formalnih relacija su raznovrsni počev od:

- funkcionalnih jednačina,
- diferencijalnih i integralnih jednačina,
- rekurentnih relacija,
- orijentisanih grafova i sl.

Ograničenja u modelu imaju suštinsko značenje i odraz su, najčešće, fizičkih i ekonomskih granica prisutnih u realitetu. Uglavnom su u pitanju ograničenja u količini resursa, energije, vremenskog kapaciteta i dr. Strogost razmatranja ovih relacija mora biti uvek prisutna i uglavnom se definiše relacijama i logičkim operatorima tipa: $=, \neq, >, <, \geq, \leq, \wedge, \vee, \in, \cup, \cap$ i sl. Uspostavljanje znaka jednakosti opravdano je u slučaju da promenljiva može imati i graničnu vrednost, ili da nam to zahteva metodologija neke metode. U ostalim slučajevima moraju se izabrati uvek svrsishodni matematički operatori drugog tipa.

1.4 Osnovne vrste modela

Modeli se najčešće dele na: fizičke, misaono-deskriptivne i egzaktno-matematičke.

Fizički modeli su modeli sa istom ili sličnom materijalnom strukturom realnog entiteta, sa većim ili najčešće manjim gabaritima od stvarnog. Smisao oblikovanja fizičkih modela nalazi se u pogodnosti eksperimentisanja i donošenja određenih zaključaka o njima, a samim tim (sa nekim stepenom pouzdanosti) i o entitetima na osnovu kojih su ovi veštački modeli imitirani, tj. o

stvarnim entitetima. Drugi razlog je ekonomske prirode, jer se i troškovi generišu u znatno manjem obimu nego kod eksperimentisanja sa realitetom. Treći razlog je dinamika eksperimentisanja gde se teži što bržem dobijanju relevantnih podataka o modelu, a samim tim i o stvarnom entitetu.

Za eksperimentisanje sa ovim modelom usko se vezuje primena metoda simulacije (videti poglavlje 11). Nedostaci ovih modela odnose se na mogućnost pojave novih osobina koje ne susrećemo kod realiteta, ili gubljenje nekih informacija koje bismo identifikovali kod stvarnog sistema ili procesa, a ovde ih je nemoguće dobiti. Ova devijacija karakteristika može se negativno odraziti na analizu i sintezu modela, i prouzrokovana je najčešće velikim razlikama u volumenima realnog entiteta i aproksimativnog (veštačkog) modela - kojim imitiramo stvarni. Time se neminovno menjaju originalne karakteristike realiteta u odnosu na generisane karakteristike veštačkog modela. Fizički modeli nisu predmet analize u ovoj knjizi.

Matematički model se formira matematičkom apstrakcijom i predstavlja specifično selektovanje i strukturiranje elemenata misaonog modela u uređen deskriptivni model, kao pretpostavke za preslikavanje u apstraktni matematički model. Matematički model je uspešno formiran ako verodostojno iskazuje suštinske karakteristike realiteta: tehnološke, ekonomske, mehaničke, hemijske, biološke ili druge. Matematički modeli oblikuju se po pravilu sa nekim stepenom analogije u odnosu na realitet. Tom analogijom obuhvaćene su primarne karakteristike posmatranog realiteta, ili skup karakteristika na dovoljnom i potrebnom (uprošćenom) nivou, zadržavajući donekle stvarnu prirodu originala. Matematički modeli mogu imati vrlo složenu strukturu, koja ne mora biti proporcionalna složenosti simboličke forme. U matematici operacionom menadžmenta gro matematičkih modela se formira na bazi: matematičkog programiranja, teorije grafova, heurističkog programiranja ili kombinovanih postupaka.

1.5 Metode postavljanja matematičkog modela

Uglavnom susrećemo dva osnovna i jedan izveden prilaz, kod postavljanja matematičkog modela i to:

Analitički metod koji se zasniva na aplikaciji opštih naučnih zakona i teorijskih analiza. Pri tome dobijeni modeli važe za čitavu familiju sličnih problema. Tipičan primer je *simplex* model linearnog programiranja, gde nije potrebno uvođenje novih principa pri svakom proračunu, jer je razrađen algoritam i za rešavanje opštih slučajeva problema linearnog programiranja. U nekim primerima linearnosti, primena odgovarajućih metoda može dovesti i do analitičkog rešenja problema optimizacije [18].

Eksperimentalni ili **empirijski metod** znatno je širi u primeni u praktičnim uslovima radi dobijanja zadovoljavajućeg rešenja modela problema za kompleksne slučajeve realiteta kojih je u praksi najviše, a koji se ne mogu rešavati analitičkim metodama. Iako je primena eksperimentalnog metoda opterećena raznim troškovima: upotrebom merne tehnike, potrebom za resursima raznog vida za obradu, sistematizaciju i verifikaciju rezultata, drugog izlaza često i nema za identifikaciju oblasti dopustivih rešenja i konačnog dobijanja vektora rešenja koji najbolje zadovoljava funkciju kriterijuma u datim uslovima. Kako se između postavljenih ulaznih i dobijenih izlaznih podataka može uočiti zakonitost, ali ne i strogo poreklo te zakonitosti, ove metode eksperimenta nazivaju se metode "crne kutije" i predstavljaju opštu metodu u istraživanju pojava u tehničkoj kibernetici [12].

Kombinovani metod predstavlja izvedeni metod ili sintezu analitičkog i eksperimentalnog metoda. Razvijen je na osnovu analitičkog metoda sa nekim parametrima za koje analiza nije dala adekvatno rešenje. U tom slučaju kvantifikacija vrednosti parametara (npr. koeficijenta,

eksponenata i sl.) utvrđuje se najčešće eksperimentalnim putem. Na taj način se kombinovanom metodom može oblikovati matematički model realiteta kao najpouzdaniji raspoloživi model. Jedan od primera predstavlja model očekivanog vremena u mrežnom planiranju tipa PERT (videti poglavlje 14).

1.6 Karakteristike operacionih istraživanja

Primenu i razvoj operacionih istraživanja karakterišu sledeće osnovne pretpostavke:

- **Naučni metod pronalazjenja rešenja.** Strogost i matematički prilaz u analizi problema i sintezi modela i metoda osnovni su postupci izražavanja operacionih istraživača. Mnogobrojne metode razvijene u fundamentalnoj i primenjenoj matematici su na raspolaganju analitičarima ove struke. Pored toga, jedino matematičkim jezikom, na kvantitativnim osnovama, se mogu prikazati ili imitirati kompleksnije veze između veličina koje se javljaju na realnim entitetima.
- **Organizovan rad u timovima.** Multidisciplinarni pristup složenom problemu je obeležje novije epohe u razvoju nauke i tehnologije, pa i operacionog istraživanja i menadžmenta. Timski rad je doneo promene u shvatanju složenih problema. Kompromisom i usklađivanjem ideja i metoda integriše se nova metodologija istraživanja. U istom timu se mogu naći informatičari, inženjeri, psiholozi, ekonomisti, sociolozi, edukatori - metodičari i drugi. Uvažavajući mišljenja ovih stručnjaka, skreće se pažnja i na mnoge druge relevantne faktore, čime se oblikuje prihvatljiviji model problema u odnosu na "čisto" matematički ili tehnički pristup, često nedovoljno verodostojan.
- **Sistemska pristup problemu.** Operacioni menadžment zahteva sistemski pristup problemu. Optimizacija ili traganje za odgovarajućim rešenjem je moguće za određeni podsistem ili pojavu posebno. U tom smislu nalaženje samo globalnog optimuma za ceo sistem je nesvršishodno bez nalaženja "unutrašnjih" lokalnih optimuma pojedinih podсистema. Pored toga, korisnici - naručiocima rešenja, po pravilu, traže rešenje na određenom hijerarhijskom nivou sistema ili procesa koji su njima od interesa.

1.7 Faze rešavanja modela problema

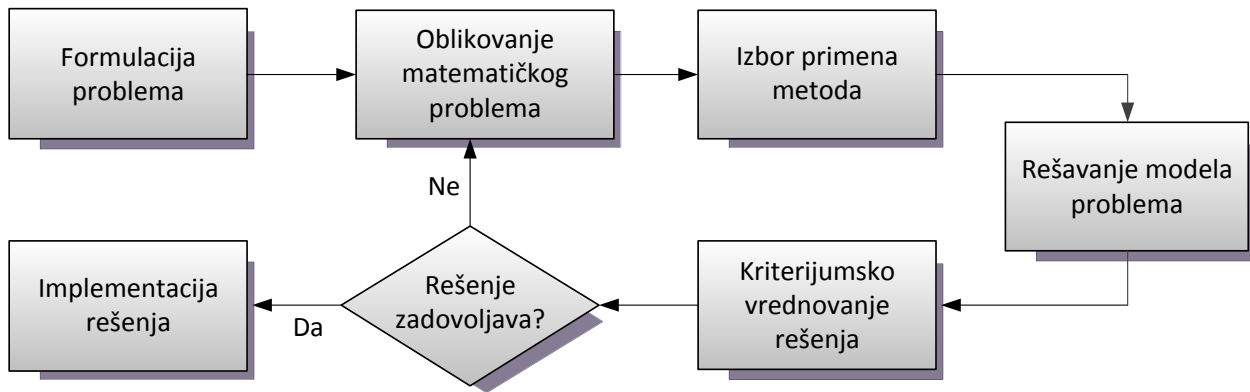
Osnovne faze u rešavanju realnog problema putem metoda operacionih istraživanja, sastoje se od sledećih modula:

Formulacija problema. Identifikacija i korektno definisanje problema predstavlja polaznu i relativno najsloženiju fazu u procesu dobijanja rešenja. Jednoznačna pravila i jedinstveni algoritmi o postavljanju problema ne postoje uvek. Ova faza je karakteristična po tome što iskustvo i kreacija analitičara problema treba da dođu do punog izražaja. Problem se uočava na realnom entitetu, zatim se misaono strukturira i najčešće se zatim deskriptivno modelira. Isti problem se pri tome može definisati na razne načine i raznim simbolima, zavisno od sposobnosti analitičara i njegove specijalnosti. Jasno je da subjekti različitih struka imaju različite poglede na problem. Integralno timsko sagledavanje je najkompleksnije i najverodostojnije. Međutim, pored unije i kompromisa različitih ideja o problemu, dobro definisan problem mora imati sledeće karakteristike:

- definisane zahteve korisnika rešenja,
- preciznu deskriptivno-kvantitativnu formulaciju,

- jasno definisane ciljeve koje treba postići i
- formulisan skup ograničenja (domen) u istraživanju.

Odgovorima na ove zahteve stvaraju se osnovne podloge za matematičko modeliranje problema (sl. 1.1).



Sl. 1.1 Osnovne faze rešavanja kvantitativnog modela problema

Oblikovanje matematičkog modela koji reprezentuje stvarni problem realiteta. Matematički model u operacionim istraživanjima je primarni model. Oblikuje se, kako je rečeno, specifičnim preslikavanjem ili prevođenjem deskriptivnog modela u egzaktni. Prema tome, ovaj model se stvara u interakciji sa već definisanim misaono-deskriptivnim modelom i raspoloživim potencijalom za matematičko modeliranje. Kolika je složenost ove konverzije zavisi od složenosti problema i njegovih karakteristika (linearnost, determinisanost, i sl.). Pored toga, složenost zavisi i od mere protivrečnih tendencija u pogledu, sa jedne strane, zahteva za jednostavnošću modela i, sa druge strane, stvaranje modela kao verodostojnog skupa informacija o realnom problemu.

Izbor, razrada ili modifikacija metode za rešavanje postavljenog problema. Izbor metode zavisi od oblikovanog modela problema. Same metode predstavljaju, u klasičnom smislu, uređen skup postupaka koji se primenjuje da bi se rešio postavljeni matematički model problema. Često se u operacionim istraživanjima poistovećuje termin model i metod. Suštinski, ova dva pojma se razlikuju, jer, kako je rečeno, metodom se operacionalizuje model. Pre primene metode, model je “statičan”, bez pronađenog rešenja. Posle uspešne primene metode dobijamo njegovo rešenje u kvantitativnom obliku, čime se stvaraju uslovi i za njegovo vrednovanje. Metode operacionih istraživanja se mogu aplicirati manuelnim putem ili kompjuterski. Čest je slučaj da se metode moraju posebno razviti za novooblikovan model, jer za tu klasu matematičkog problema metode nisu dovoljno strukturirane i ne postoje kao univerzalno moćne. Mnoge metode se mogu koristiti sa izvesnom modifikacijom već postojećih metoda. Kompjuterske metode mogu biti veoma efikasne, naročito numeričke. Međutim, sve one imaju algoritamsku strukturu metoda koje su ranije već razvijene i poznate u matematičkim disciplinama. U tom smislu, ovim udžbenikom su obuhvaćena odabrana poglavlja iz operacionih istraživanja, gde se obrađuju sledeće metode:

- Metode matematičkog programiranja.
- Metode mrežnog planiranja i upravljanja.
- Metode heurističkog istraživanja.

- Metode teorije masovnog opsluživanja (ili redova čekanja).
- Metode simulacije.
- Metode upravljanja zalihama i drugih.

Rešavanje modela pomoću metode i dobijanje rezultata. Posledica primene metode je rešenje izraženo u kvantitativnom obliku. Verodostojnost rešenja zavisi od primenjene metode. Za isti model mogu se primenjivati, ako su na raspolaganju, različite metode. Rešenja u svakom slučaju moraju biti jednoznačna, istovetno protumačena ili prihvaćena sa određenim stepenom pouzdanosti. Najpreciznije rešenje je analitičko. Numerička rešenja su najčešća iz razloga postojanja najvećeg broja metoda sa tom osnovom. Ova rešenja su najmnogobrojnija i kod primene kompjuterskih metoda izračunavanja. Drugi vid su, takođe, numerička rešenja, ali dobijena numeričkom simulacijom. Pored toga, rešenja mogu biti skalarna, vektorska i matricna. Viševarijantna rešenja pružaju mogućnost izbora, bilo da su optimalna ili dopustiva, na bazi postavljenih kriterijuma nakon nalaženja tog rešenja.

Kriterijumsko vrednovanje modela na osnovu rezultata testiranja. Direktno vrednovanje rešenja, samim tim i modela i metoda, predstavlja meru usaglašenosti predviđenih i ostvarenih vrednosti. No ovo i nije jedini vid vrednovanja. Za kompleksno vrednovanje potrebno je razviti niz kriterijuma na bazi kojih se verifikuje model (rešenje) i ocenjuje njegova valjanost [5]. Najznačajniji kriterijum vrednovanja je kriterijum optimalnosti rešenja, kojim se na egzaktan način dokazuje da li je rešenje najbolje ili nije. Ovaj kriterijum je razvijen kod mnogih optimizacionih metoda matematičkog programiranja, dok je kod heurističkih u znatno manjoj meri raspoloživ. U kvantitativne kriterijume za testiranje modela i njegovog izraza, tj. rešenja, spadaju još i kriterijumi: osetljivosti model-rešenja, invarijantnosti modela, konvergencija algoritma ka najboljem rešenju i sl. Pored kvantitativnih kriterijuma značajni su i kvalitativni kriterijumi u ovoj fazi istraživanja modela. Računarski eksperimenti na modelu mogu dati značajne odgovore na karakteristike model-rešenje problema koji se posebno vrednuju. U svakom slučaju verifikovan rezultat predstavlja relevantan upravljački parametar neophodan za odgovarajuću primenu u realnim uslovima.

Implementacija dobijenog rešenja. Teorijskom verifikacijom model-rešenje apriori se prihvata mogućnost njegove primene u praksi. Implementacija predstavlja sprovođenje rešenja direktno u realnim uslovima. Za to su potrebne odgovarajuća priprema i koja često povećava finansijska sredstva. Statistički gledajući ova faza je najmanje frekventna, a najpotrebnija zbog brojnih dobrih rešenja koje su postigli istraživači. Istaknimo da ima i drugih prilaza u sistematizaciji etapa rešavanja modela čija metodologija sadrži još neke specifične module u blok dijagramu postupaka modeliranja. Međutim, prethodno nabrojane faze su u većini slučajeva prepoznatljive i treba ih u principu uvažiti.

1.8 Uvod u optimizaciju

Pred teoriju optimizacije se postavlja zadatak da se postigne najbolje rešenje određenog matematički definisanog problema, ako su postavljeni kriterijumi za kvantifikaciju: šta je najbolje, šta je dopustivo ili šta predstavlja nedopustivo rešenje. Optimalno rešenje pretpostavlja postojanje kvantitativne mere poređenja sa ostalim dopustivim rešenjima, jer se samo takav kriterijum optimalnosti može uvažiti. U tom smislu teorija optimizacije obuhvata kvantitativno proučavanje optimuma i razvoja metoda za njegovo određivanje. Primena metoda optimizacije

polazi od realnog stanja problema i na tim osnovama ga treba rešavati. Cilj primene optimizacione metode sastoji se u pronalaženju najbolje informacije, koja ukazuje na posledice i uticaje izabrane varijante, kao rezultata koji se primarno uvažava u procesu odlučivanja. Neke matematičke metode optimuma, naročito numeričke, su dobro poznate istraživačima već par stotina godina. Međutim, zbog zahteva u primeni, za velikim obimom računanja, one su potisnute kao relativno neefikasne u periodu u kojem su nastajale. Tek razvojem kompjuterske tehnologije ove metode, sada računarski orijentisane, postale su izuzetno efikasne i danas predstavljaju gradijent razvoja optimizacije kao naučne metodologije iz više razloga:

- brzog dobijanja rešenja,
- mogućnosti eksperimentisanja na modelu, promenom vrednosti ulaznog vektora,
- pogodnosti prepoznavanja optimuma kod nekih problema koji nisu kompletno matematički formulisani i sl.

Zadatak optimizacije modela jeste izbor najbolje varijante iz niza mogućih ili povoljnih varijanti u skladu sa važećim kriterijumom. Optimalno rešenje predstavlja kompromis između željenog cilja i postavljenih ograničenja koja uslovljavaju mogućnost postizanja ekstremnih rešenja. Kompromis je prirodni kriterijum i predstavlja opšti princip prirode i društva. Poznato je da su metode optimizacije razvijene samo za pojedine klase matematičkih modela problema i ne postoji, za sada, opšti algoritam kojim bi se obuhvatili svi optimizacioni problemi. U egzaktnom smislu, zadatak optimizacije se svodi na određivanje maksimuma/minimuma ili druge referentne vrednosti (npr. konstantnosti) ciljne (kriterijumske) funkcije $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ od n promenljivih, sa ograničenjima tipa $\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_i$ za $i = \overline{1, m}$. Optimalno rešenje $X^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]$ je postignuto tada kada je ostvaren globalni maksimum/minimum funkcije kriterijuma $\max/\min F(X) = F(X^*)$, gde je optimalno rešenje ujedno i dopustivo $X^* \in X$, a $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ dopustiva oblast u n -dimenzionalnom Euklidskom prostoru^{*)}. Poslednjih dvadesetak godina u razvoju su metode optimizacije na bazi multikriterijumskog odlučivanja, zbog donošenja optimalnih odluka pri složenim komponentama kao faktorima prouzrokovanim intenzivnim razvojem sociotehničkih sistema. U tom smislu, donekle je izmenjena teorija optimizacije usredsređivanjem koncepcije sa jednim kriterijumom na optimizaciju po više (vektor) kriterijuma. Razlog je težnja da se matematički modeli problema približe stvarnim problemima, koji su po svojoj prirodi multivarijantni i zahtevaju nalaženje rešenja u više faza, što je jednokriterijumskom optimizacijom dobrim delom neizvodljivo. Između klasične i višekriterijumske optimizacije postoje razlike kao i sličnosti, koje su razmotrene u radovima [9], [10] i [11].

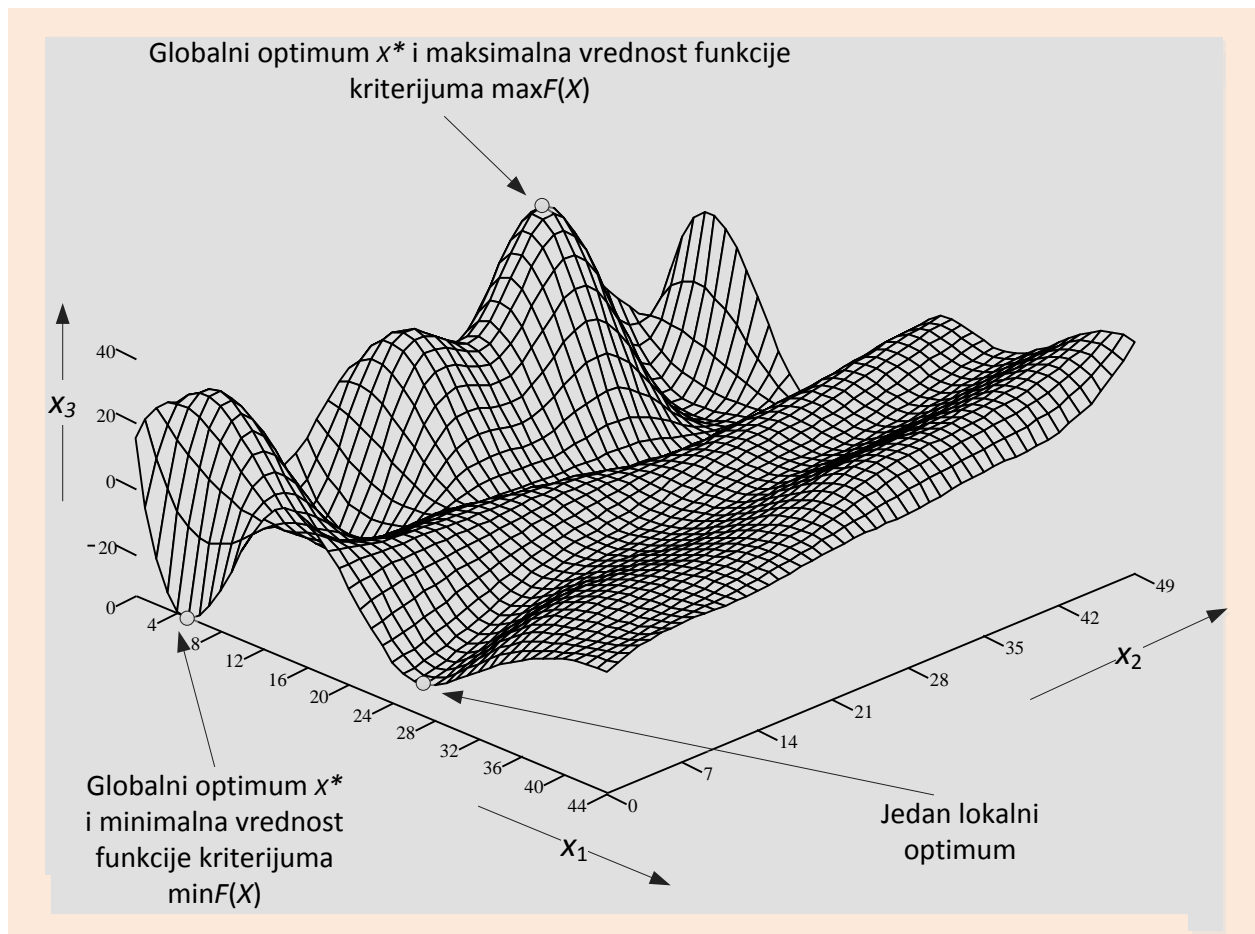
1.9 Predmeti optimizacije

Teorija optimizacije predstavlja naučnu disciplinu koja proučava metode i postupke optimizacije određenih entiteta u nauci i tehnologiji. Metodologija za dobijanje najpovoljnijih rezultata u određenim okolnostima predstavlja uređen skup metoda razvijenih sa osnovnim ciljem dobijanja optimalnih rešenja. Osnovni pojmovi koji se vezuju za konkretniju definiciju optimizacije su: predmet, cilj i metod optimizacije.

- Predmeta (objekata) optimizacije u okruženju ima mnogo. Tako susrećemo karakteristične predmete koji se odnose na neke procese: obrazovni, projektantski, proizvodni, energetski, društveni, nuklearni i sl; ili sisteme: tehnološki, transportni, upravljački, društveni itd. Mada

se često između procesa i sistema ne prave razlike zbog zajedničkih karakteristika, one suštinski postoje i veoma su bitne kod modeliranja istih. Naime, proces predstavlja niz uzastopnih progresivnih promena stanja i vezan je za vremenski tok događaja, a sistem je uređeni skup entiteta i relacija između njih i njihovih svojstava i može biti, ili ne mora, relativno stacionaran u vremenu.

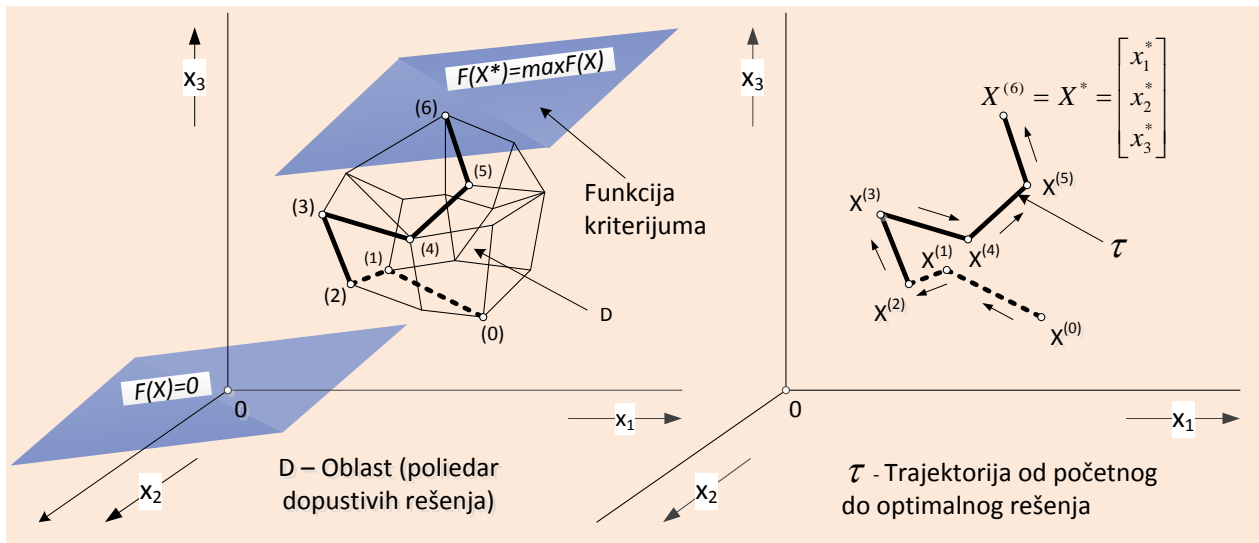
- Cilj optimizacije se definiše na osnovu kriterijuma optimizacije iskazanog u obliku kriterijumske funkcije optimizacije (maksimalna dobit, minimalni troškovi i sl.). Metode optimizacije imaju dvojak funkciju i to: oblikovanje modela problema i rešavanje predmeta optimizacije saopštenog putem modela optimizacije, najčešće matematički definisanog.



Sl. 1.2 Primer uz objašnjenje optimuma i ekstremuma funkcije kriterijuma

- Metode optimizacije služe za kvantitativno i/ili kvalitativno rešavanje modela problema. Predstavljene su uređenim skupom postupaka koji se primenjuje heuristički ili algoritamski. Za rešavanje složenog problema, ako je to moguće, primenjuje se princip dekompozicije. U operacionim istraživanjima metode optimizacije se postavljaju na kvantitativnim osnovama.

*) Euklidski prostor (Euklid, grčki matematičar, 3. pre n.e.) je specijalan prostor za koji važi definicija sabiranja i množenja skalarom (operacije skalarnog proizvoda vektora). Za ovaj prostor karakteristične su identične osobine kao kod ravni u planimetriji.



Sl. 1.3 Grafička interpretacija iterativnog postupka proračunavanja za slučaj problema sa tri promenljive

Oblasti primene teorije optimizacije su raznovrsne, počev od tehničkih disciplina: elektrotehnike, mašinstva, građevinarstva, poljoprivrede, saobraćaja, metalurgije, pa do medicine, ekonomije, farmacije, hidrologije, kosmonautike i sl. Optimizacija je karakteristična pri projektovanju i konstruisanju proizvoda i proizvodnih sistema, gde se ispoljava težnja za tzv. optimalnim projektima na bazi tehno-ekonomske optimizacije [22].

Kontrolna pitanja, ciljevi i zadaci iz Poglavlja 1:

1. Pojam nauke o upravljanju.
2. Zadaci istraživanja u operacionom menadžmentu.
3. Pojam i značaj operacionog istraživanja i operacionog menadžmenta.
4. Matematički metodi u operacionom menadžmentu.
5. Osnovne faze rešavanja matematičkog modela problema.
6. Razlika između metoda i modela.
7. Ekstremne vrednosti funkcije kriterijuma.
8. Cilj optimizacije procesa i sistema.
9. Optimalne i suboptimalne vrednosti argumenata.
10. Lokalni i globalni optimumi.
11. Uloga operacionog menadžera u modeliranju problema upravljanja sistemima .

Preporučena literatura

- | | |
|--------------------------------|---|
| [1] Backović, M.
Vuleta, J. | EKONOMSKO MATEMATIČKI METODI I MODELI,
Ekonomski fakultet, Beograd, 2004. |
| [2] Burton, V. D. | OPERACIONA ISTRAŽIVANJA U ISTRAŽIVANJIMA I RAZVOJU,
(prevod Zbornika radova), "Savremena administracija", Beograd, 1968. |

- [3] Dantzig, G. B. LINEAR PROGRAMMING AND EXTENSIONS, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1963.
- [4] Đorđević, D. LIKSIKON MENADŽMENTA, Bešić, H. C. Agencija Matić, Beograd, 2006. Sajfert, Z.
- [5] Fishman, S. G. MONTE CARLO CONCEPTS, ALGORITHMS AND APPLICATIONS, Springer Series in Operations Research, Springer, 1999.
- [6] Hejzer, Dž. OPERACIONI MENADŽMENT, (prevod), Pearson, Prentice Hall, Render, B. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta, Beograd, 2011.
- [7] Ivočić, M. OPTIMIZACIJA U EKONOMIJI (Odabrane teme), Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, Beograd, 1996.
- [8] Krgčevinac, S. ALGORITMI I PROGRAMI IZ OPERACIONIH (i drugi) ISTRAŽIVANJA, Naučna knjiga, Beograd, 1983.
- [9] Канторович, Л. В. ЭКОНОМСКИ РАЧУН ОПТИМАЛНОГ КОРИШЋЕЊА РЕСУРСА, (превод са руског), “Цекаде”, “Економска библиотека”, Загреб, 1985.
- [10] Крчевинац, С. ОПЕРАЦИОНА ИСТРАЖИВАЊА 1, и др. Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, 2006.
- [11] Крчевинац, С. ОПЕРАЦИОНА ИСТРАЖИВАЊА 2, и др. Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, 2006.
- [12] Kun, L. PRIMENA ISTRAŽIVANJA OPERACIJA, Mašinski fakultet, Novi Sad, 1973.
- [13] Kotler, P. UPRAVLJANJE MARKETINGOM 1 i 2 (prevod sa engleskog), Informator, Zagreb, 1989.
- [14] Letić, D. MATHCAD 13 U МАТЕМАТИЦИ I VIZUELIZACIJI, Davidović, B. Компјутер библиотека, Čačak, 2007. Berković, I. Petrov, T.
- [15] Letić, D., STUDIJA SLUČAJEVA IZ OPERACIONIH ISTRAŽIVANJA, Jevtić, V. Tehnički fakultet “M.Pupin”, Zrenjanin, 2007.
- [16] Липовац, Д. МЕТОДЕ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА, Летић, Д. Технички факултет “М. Пупин”, Зрењанин, 1999.
- [17] Sajfert, Z. MENADŽMENT LJUDSKIH RESURSA, Tehnički fakultet, Mihajlo Pupin, Zrenjanin, 2006.
- [18] Petrić, J. OPERACIONA ISTRAŽIVANJA I i II, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [19] Такачи, А. Skripta za МАТЕМАТИЧКО MODELIRANJE Juhas, L. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Mijatović, D. Departman za matematiku i informatiku, Novi Sad, 2006.
- [20] Тунеев, М. М. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДИ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИИ С-Х ПРОИЗВОДСТВА, Сухоруков, В.Ф. В. “Колос”, Москва, 1977.
- [21] Veljović, A. INFORMATIČKO UPRAVLJANJE RAZVOJEM PREDUZEĆA, Компјутер библиотека, Beograd, 2004.
- [22] Winston, L.W. OPERATIONS RESEARCH, Applications and Algorithms, Indiana University, Duxbury Press, Belmont, California, 1994.
- [23] * * * * * ULOGA I KORIŠĆENJE МАТЕМАТИЧКИХ MODELA U EKONOMIJI, Savet akademija nauka i umetnosti SFRJ, Vojvodanska akademija nauka i umetnosti, Zbornik radova, Novi Sad, 1986.