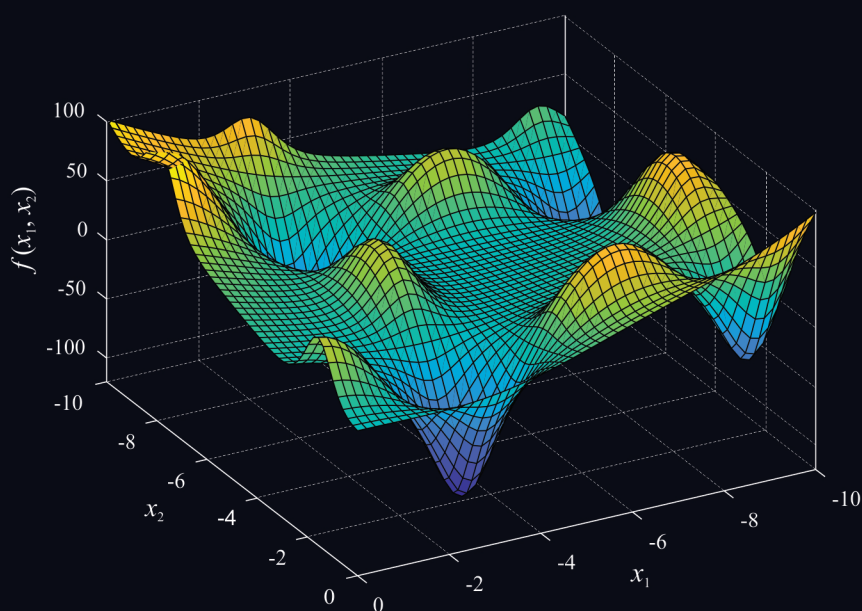


Goran Petrović
Danijel Marković
Predrag Rajković

KVANTITATIVNA LOGISTIKA

metode i modeli optimizacije



Univerzitet u Nišu
Mašinski fakultet u Nišu



Niš, 2023.

UNIVERZITET U NIŠU
MAŠINSKI FAKULTET U NIŠU

Goran Petrović
Danijel Marković
Predrag Rajković

**KVANTITATIVNA
LOGISTIKA**
metode i modeli optimizacije

Niš, 2023.

Naziv udžbenika: **“KVANTITATIVNA LOGISTIKA - metode i modeli optimizacije”**

Prvo izdanje

Autori: dr **Goran Petrović**, vanredni profesor
Mašinskog fakulteta u Nišu

dr **Danijel Marković**, docent
Mašinskog fakulteta u Nišu

dr **Predrag Rajković**, redovni profesor
Mašinskog fakulteta u Nišu

Recenzenti: dr Dragoslav Janošević, redovni profesor
Mašinskog fakulteta u Nišu u penziji

dr Miomir Stanković, redovni profesor
Fakulteta zaštite na radu u Nišu u penziji

Izdavač: Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet u Nišu
A. Medvedeva 14, 18000 Niš

Tiraž: 100 primerka

Štampa: Grafika Galeb, Niš

ISBN: ISBN-978-86-6055-167-4

Odlukom Nastavno – naučnog veća Mašinskog fakulteta u Nišu br. 612-191-3-1/2023 od 19.04.2023. godine odobreno je izdavanje u kategoriji univerzitetskog udžbenika.

Napomena o autorskim pravima: Izdavač i autori zadržavaju sva prava. Reprodukција pojedinih delova ili celine ove publikacije u bilo kom obliku nije dozvoljena bez prethodne saglasnosti autora.

Predgovor

Optimizacija logističkih procesa i sistema igra ključnu ulogu u uspešnom poslovanju bilo koje kompanije. Logistika danas predstavlja deo poslovnog procesa koji se bavi planiranjem, organizacijom, upravljanjem i kontrolom toka robe i informacija od tačke proizvodnje do tačke potrošnje. Efikasan logistički sistem podrazumeva da su svi elementi sistema optimizovani kako bi se obezbedila brza, pouzdana i efikasna dostava robe od proizvođača do krajnjeg kupca.

Optimizacija pojedinačnih podsistema i logističkog sistema kao celine zahteva primenu različitih kvantitativnih metoda od najjednostavnijih, kao što je na primer linearno programiranje, pa do veoma kompleksnih kakve su globalne optimizacione metode. Jedan od najvažnijih koraka u optimizaciji logističkih procesa i sistema jeste izgradnja adekvatnih modela, pri čemu za rešavanje takvih modela dominantno mesto imaju metode operacionih istraživanja.

Udžbenik “**KVANTITATIVNA LOGISTIKA - metode i modeli optimizacije**” je napisan sa ciljem da na sveobuhvatan način sagleda primenu jednog dela veoma značajnih matematičkih disciplina za rešavanje različitih problema u oblasti planiranja logističkih sistema i procesa. Predstavlja pisanu i sistematizovanu materiju koju autori predaju studentima Mašinskog fakulteta u Nišu na predmetu Operaciona istraživanja, u okviru studijskog programa master akademskih studija Saobraćajno mašinstvo, transport i logistika. Određene delove rukopisa mogu koristiti i studenti koji slušaju druge srodne predmete kao što su: Transportni tokovi, Transportne mreže, Urbani transport i logistika Kvantitativna logistika, i drugi, kako na osnovnim, tako i na master i doktorskim akademskim studijama. S obzirom na univerzalnost razmatranih kvantitativnih metoda optimizacije, materia udžbenika može biti korisna i studentima drugih usmerenja na tehničkim fakultetima, kao i svima onima koji se, u svom svakodnevnom inženjerskom radu, susreću sa problemima optimizacije logističkih procesa i sistema.

Knjiga ima devet poglavlja: *Uvod u logistiku, Modeliranje logističkih sistema, Uvod u optimizaciju logističkih sistema, Konvencionalne metode optimizacije, Globalne optimizacione metode, Optimizacija na transportnim mrežama, Lokacijski problemi, Optimizacija logistike nabavke, Optimizacija procesa održavanja tehničkih sistema*. U prvom delu detaljno su opisane teorijske osnove metoda optimizacije sa brojnim računskim primerima i programskim kodovima

napisanim u programskom paketu Matlab® R2022b. U drugom delu prikazana je praktična primena klasičnih i globalnih optimizacionih metoda za rešavanje različitih modela logističkih procesa i sistema.

Autori se duboko zahvaljuju recenzentima dr Dragoslavu Janoševiću, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta u Nišu u penziji, kao i dr Miomiru Stankoviću, redovnom profesoru Fakulteta zaštite na radu u penziji, koji su stručnim i vrlo korisnim primedbama i sugestijama doprineli kvalitetu ovog udžbenika. Pored toga, autori se zahvaljuju i svima onima koji su pomogli izdavanje ovog udžbenika.

U Nišu, aprila 2023.

Autori

Predgovor

Sadržaj

1. UVOD U LOGISTIKU	1
1.1. KONCEPT I DEFINICIJE LOGISTIKE	1
1.2. PODELA LOGISTIKE	9
1.3. TRENDVI U LOGISTICI I LOGISTIKA 4.0	11
LITERATURA UZ POGLAVLJE 1	16
2. MODELIRANJE LOGISTIČKIH SISTEMA	17
2.1. LOGISTIČKI SISTEM	18
2.2. MODELIRANJE I LOGISTIČKI MODELI	21
2.3. OPERACIONA ISTRAŽIVANJA I LOGISTIKA	27
2.4. OSNOVNI KONCEPTI TEORIJE GRAFOVA	30
2.5. MATRICE U LOGISTIČKIM PROBLEMIMA	34
2.5.1. Matrica susedstva (povezanosti)	34
2.5.2. Matrica incidentnosti	36
2.5.3. Težinska matrica	37
2.5.4. Matrica najkraćih puteva u grafu	39
LITERATURA UZ POGLAVLJE 2	41

3. UVOD U OPTIMIZACIJU LOGISTIČKIH SISTEMA	43
3.1. TERMINOLOGIJA I OSNOVNI KONCEPT OPTIMIZACIJE	43
3.2. FORMULACIJA OPTIMIZACIONOG PROBLEMA	47
3.3. PODELA OPTIMIZACIONIH METODA	53
3.3.1. Konvencionalne optimizacione metode	56
3.3.2. Globalne optimizacione metode	57
3.4. MATEMATIČKE OSNOVE OPTIMIZACIJE	62
3.5. VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA	71
3.5.1. Pareto pristup u metodama višekriterijumske optimizacije	73
3.5.2. Skalarizacije metode višekriterijumske optimizacije	76
LITERATURA UZ POGLAVLJE 3	84
 4. KONVENCIONALNE METODE OPTIMIZACIJE	 85
4.1. LINEARNO PROGRAMIRANJE	85
4.1.1. Geometrijska 2D metoda linearnog programiranja	89
4.1.2. Simpleks metoda linearnog programiranja	104
4.1.3. Rešavanje problema linearnog programiranja primenom programskog paketa Matlab®	126
4.2. NELINEARNO PROGRAMIRANJE	129
4.2.1. Bezuslovno nelinearno programiranje	131
4.2.2. Uslovno nelinearno programiranje	140
4.2.3. Rešavanje problema nelinearnog programiranja primenom programskog paketa Matlab®	160

4.3. DINAMIČKO PROGRAMIRANJE	166
4.3.1. Problem ranca	168
LITERATURA UZ POGLAVLJE 4	179
5. GLOBALNE OPTIMIZACIONE METODE	181
5.1. EVOLUTIVNI ALGORITMI	181
5.2. REALNO KODIRANI GENETSKI ALGORITAM	184
5.2.1. Reprezentacija hromozoma	185
5.2.2. Inicijalizacija	186
5.2.3. Fitnes funkcija	186
5.2.4. Funkcija selekcije	186
5.2.5. Genetski operatori	190
5.2.5.1. Ukrštanje	191
5.2.5.2. Mutacija	195
5.2.6. Završetak rada algoritma	200
5.3. SIMULIRANO KALJENJE	200
5.4. OPTIMIZACIJA ROJEVIMA ČESTICA	204
5.5. HARMONIJSKO PRETRAŽIVANJE	208
5.6. IMPLEMENTACIJA METODA U PROGRAMSKOM PAKETU MATLAB®	213
5.6.1. Genetski algoritam - Matlab® primena	213
5.6.2. Simulirano kaljenje - Matlab® primena	217
5.6.3. Optimizacija rojevima čestica - Matlab® primena	220
LITERATURA UZ POGLAVLJE 5	223

6. OPTIMIZACIJA NA TRANSPORTNIM MREŽAMA 225

6.1. TRANSPORTNE MREŽE	225
6.2. TRANSPORTNI PROBLEM	227
6.2.1. Određivanje početnog bazičnog rešenja – metod severozapadnog ugla	230
6.2.2. Optimizacija početnog rešenja transportnog problema – metod skakanja s kamena na kamen	233
6.3. ODREĐIVANJE NAJKRAĆIH PUTEVA U MREŽI	239
6.3.1. Određivanje najkraćeg puta između jednog zadatog i svih ostalih čvorova u mreži – Dijkstra algoritam	240
6.3.2. Određivanje najkraćeg puta između svaka dva čvora u mreži – Floyd-Varšalov algoritam	255
6.4. PROBLEM USMERAVANJA VOZILA	265
6.4.1. Problem usmeravanja vozila sa ograničenjem kapaciteta	268
6.4.2. Problem usmeravanja vozila sa vremenskim ograničenjima	272
6.4.3. Algoritmi za rešavanje problema usmeravanja vozila	275
LITERATURA UZ POGLAVLJE 6	287

7. LOKACIJSKI PROBLEMI 289

7.1. KLASIFIKACIJA LOKACIJSKIH PROBLEMA	289
7.2. LOKACIJSKI PROBLEMI POKRIVANJA SKUPA	292
7.2.1. Algoritam pokrivanja skupa	294
7.3. PROBLEM P MEDIJANA	303
7.3.1. „Proždrljivi“ heuristički algoritam	306

LITERATURA UZ POGLAVLJE 7	314
8. OPTIMIZACIJA LOGISTIKE NABAVKE	315
8.1. OPTIMIZACIJA PROCESA IZBORA DOBAVLJAČA	316
8.2. OPTIMIZACIJA ZALIHA	325
8.2.1. Model zaliha koje se obnavljaju u vremenu i imaju konstantnu potrošnju - Harisov model	327
8.2.2. Model zaliha koje se obnavljaju u vremenu, imaju konstantnu potrošnju i planirano odsustvo zaliha ili interventne nabavke	332
LITERATURA UZ POGLAVLJE 8	338
9. OPTIMIZACIJA PROCESA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA	339
9.1. MERLJIVE KARAKTERISTIKE PROCESA ODRŽAVANJA	342
9.1.1. Funkcija intenziteta otkaza	344
9.1.2. Raspoloživost sistema	346
9.2. MODELI SISTEMA ODRŽAVANJA	347
9.2.1. Modeliranje slučajnog otkaza sistema i procesa korektivnog održavanja	351
9.2.2. Modeliranje otkaza usled starenja sistema i procesa korektivnog održavanja	353
9.2.3. Modeliranje procesa preventivnog održavanja sistema	357
9.2.4. Model procesa održavanja jednokomponentnih sistema	360
LITERATURA UZ POGLAVLJE 9	371