

UNIVERZITET U BEOGRADU  
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

**Nebojša BOJOVIĆ**  
**Miloš MILENKOVIĆ**

# **UPRAVLJANJE ŽELEZNIČKIM SAOBRAĆAJEM I TRANSPORTOM**

BEOGRAD  
2019.

Dr Nebojša Bojović, dr Miloš Milenković  
UPRAVLJANJE ŽELEZNIČKIM SAOBRAĆAJEM I TRANSPORTOM  
I izdanje

---

Recenzenti: dr Dragutin Kostić  
dr Zoran Gligorić

Za izdavača: dekan, dr Nebojša Bojović

Glavni i odgovorni urednik: dr Marijana Petrović

Tehnički urednik: Gordana Marjanović

Korice: dr Miloš Milenković

Izdavač: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,  
Vojvode Stepe 305; telefon: 3976–017;  
fax: 3096–704; <http://www.sf.bg.ac.rs>

Priprema: Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta  
telefon: 3091–344; e-mail: [izdavacka\\_delatnost@sf.bg.ac.rs](mailto:izdavacka_delatnost@sf.bg.ac.rs)

Štampa: Pekograf d.o.o., 11080 Zemun, Vojni put 258/d  
telefon/fax: 3149–166; e-mail: [pekograf@sbb.rs](mailto:pekograf@sbb.rs)  
<http://www.pekograf.com>

Tiraž: 100 primeraka

ISBN 978-86-7395-401-1

Na osnovu odluke Uređivačkog odbora Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu broj 445/2 od 21. maja 2019. godine, odobrava se za upotrebu u nastavi kao osnovni udžbenik za predmet "Upravljanje železničkim saobraćajem i transportom" na osnovnim studijama.

**CIP – КАТАЛОГИЗАЦИЈА У ПУБЛИКАЦИЈИ**  
**Народна библиотека Србије, Београд**

656.2.02(075.8)

**БОЈОВИЋ, Небојша, 1963-**

Upravljanje železničkim saobraćajem i transportom / Nebojša Bojović, Miloš Milenković.  
- 1. izd. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2019 (Zemun : Pekograf). - 320 str. :  
ilustr. ; 24 cm

Tiraž 100. - Beleška o autorima: str. 319-320. - Bibliografija: str. 311-319.

ISBN 978-86-7395-401-1

1. Milenković, Miloš, 1979- [аутор]

а) Железнички саобраћај - Управљање  
COBISS.SR-ID 276765196

Izdavač zadržava sva prava. Reprodukција pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena

# SADRŽAJ

---

<b>PREDGOVOR</b> .....	<b>7</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2. OBJEKTI I NIVOI UPRAVLJANJA</b> .....	<b>13</b>
<b>3. PROBLEMI RUTIRANJA</b> .....	<b>17</b>
3.1. Modelovanje kapaciteta ranžirnih stanica .....	18
3.1.1. Analitički pristupi .....	22
3.1.1.1. Model za predikciju vremena tranzita kola kroz ranžirnu stanicu .....	22
3.1.1.2. Upravljanje manevarskim operacijama .....	27
3.1.1.3. Osnovne strategije sortiranja vozova.....	34
3.1.2. Optimizacioni pristupi .....	42
3.1.2.1. Model mešovitog celobrojnog programiranja za optimizaciju procesa višeslojnih operacija u ranžirnim stanicama .....	42
3.1.2.2. Dinamičko planiranje konekcija dolaznih i odlaznih kolskih tokova u ranžirnim stanicama .....	53
3.1.3. Simulacioni pristupi .....	61
3.2. Upravljanje rutiranjem na mreži.....	65
3.2.1. Strategija formiranja blokova.....	66
3.2.1.1. Opis problema .....	67
3.2.1.2. Formulacija celobrojnog programiranja .....	70
3.2.1.3. Algoritam pretraživanja susedstva za železnički blokovski problem .....	72
3.2.1.4. Ostali pristupi rešavanju problema blokova .....	75
3.2.2. Upravljanje rutiranjem i formiranjem vozova.....	76
3.3. Dizajn mreže usluga u železničkom robnom transportu.....	80
3.3.1. Troslojna mreža prostor-vreme .....	81
3.3.1.1. Sloj voznih usluga .....	83

3.3.1.2. Blokovski sloj .....	85
3.3.1.3. Kolski sloj i itinereri .....	87
3.3.2. Formulacija mešovitog celobrojnog programiranja za rešavanje problema dizajna mreže usluga .....	88
3.3.3. Važni aspekti rutiranja i formiranja vozova .....	92
3.3.4. Složeni modeli rutiranja i raspoređivanja .....	97
<b>4. UPRAVLJANJE TERETNIM KOLIMA .....</b>	<b>99</b>
4.1. Fizički proces .....	104
4.2. Informacioni proces .....	105
4.3. Sistemi za optimizaciju raspodele praznih kola .....	107
4.4. Raspodela praznih kola kojom se razmatraju kapaciteti vozova i ograničenja zamenljivosti tipova kola .....	120
4.4.1. Matematička formulacija modela .....	124
4.4.2. Obuhvatanje zamenljivosti teretnih kola .....	127
4.4.3. Metodi rešavanja .....	131
4.5. Dimenzioniranje teretnog kolskog parka .....	134
4.5.1. Višeperiodni problem dimenzioniranja teretnog kolskog parka .....	135
4.5.2. Statički i dinamički modeli i algoritmi za upravljanje teretnim kolskim parkom .....	144
4.5.2.1. Statički strateški model .....	145
4.5.2.2. Dinamički strateški model .....	146
4.5.2.3. Ilustrativni primeri .....	149
<b>5. PROBLEM RASPOREĐIVANJA VOZOVA .....</b>	<b>153</b>
5.1. Taktičko raspoređivanje vozova .....	155
5.1.1. Matematička interpretacija problema konstruisanja reda vožnje .....	156
5.1.1.1. Formulacija problema dispečiranja vozova korišćenjem celobrojnog programiranja .....	156
5.1.1.2. Metod grananja i ograničavanja kao alat za određivanje optimalnog rasporeda vozova .....	164
5.1.2. Robustnost pri taktičkom raspoređivanju .....	174
5.1.2.1. Modeli i algoritmi za konstruisanje robustnih redova vožnje .....	175
5.1.2.2. SCAN metodologija .....	177
5.2. Raspoređivanje vozova u realnom vremenu .....	180
5.2.1. Razvoj računarskog dispečerskog upravljanja .....	182
5.2.2. Modeli, algoritmi i primena naprednih upravljačkih sistema (ATCS) u raspoređivanju i operativnom funkcionisanju železnice ...	184
5.2.2.1. Modeli za uspešnu primenu naprednih upravljačkih sistema .....	185
5.2.2.2. Upravljanje kretanjem voza u realnom vremenu .....	187

5.2.2.3. Računarsko dispečiranje: Problem regulisanja brzine.....	189
5.2.2.4. Optimalno upravljanje kretanjem vozova .....	190
5.2.3. Problem preraspodele vozova .....	192
<b>6. RASPOREĐIVANJE LOKOMOTIVA .....</b>	<b>195</b>
6.1. Simulacioni pristup za dimenzioniranje lokomotivskog parka.....	196
6.1.1. Heuristički pristup raspoređivanju lokomotiva i praznom trčanju ....	198
6.1.1.1. Model Petrijevih mreža .....	199
6.1.1.2. Heuristika za raspoređivanje lokomotiva .....	201
6.1.2. Simulacioni model za dimenzioniranje lokomotiva.....	202
6.1.2.1. Simulacioni model dopunjen heuristikom.....	202
6.1.2.2. Izbor ulaznih promenljivih .....	203
6.2. Model mešovitog celobrojnog programiranja za rešavanje taktičkog problema raspoređivanja lokomotiva.....	207
6.2.1. Postavka problema.....	209
6.2.2. Mreža prostor-vreme.....	211
6.2.3. Formulacija mešovitog celobrojnog programiranja .....	213
6.2.4. Uprošćavanje modela i eksperimentalni rezultati .....	215
6.3. Preraspoređivanje lokomotiva u realnom vremenu .....	218
6.3.1. Opis problema.....	219
6.3.2. Formulacija i metod rešavanja problema preraspodele lokomotiva..	223
<b>7. MODELOVANJE I REŠAVANJE PROBLEMA RASPOREĐIVANJA OSOBLJA NA ŽELEZNICI .</b>	<b>227</b>
7.1. Dekompozicioni pristup rešavanju problema raspoređivanja osoblja .....	228
7.1.1. Faza optimizacije dužnosti.....	231
7.1.2. Faza utvrđivanja turnusa osoblja.....	233
7.2. Mrežni model za raspoređivanje osoblja .....	236
7.3. Preraspoređivanje osoblja na železnici.....	241
<b>8. DIGITALIZACIJA U ŽELEZNIČKOM TRANSPORTU.....</b>	<b>245</b>
8.1. Digitalno povezane železnice .....	247
8.1.1. Blockchain tehnologija .....	248
8.1.2. Primena „blokčejna” u železničkom transportu .....	250
8.2. Digitalni alati za poboljšanje korisničkog iskustva .....	251
8.3. Internet stvari za povećanje kapaciteta železnice .....	253
8.4. Otvoreni i veliki podaci za poboljšanje konkurentnosti železnice .....	256
8.5. Računarstvo u oblaku (Cloud computing).....	260
8.6. Povećanje transparentnosti odvijanja železničkog saobraćaja – upravljački tornjevi.....	262

8.7.	Fizički internet.....	264
8.8.	Federativna infrastruktura .....	267
8.9.	Standardi za razmenu podataka na železnici .....	273
8.10.	Ostale inovacije i njihov značaj za železnički transport.....	274
8.10.1.	Robotika u proizvodnim postrojenjima .....	274
8.10.2.	Modalna konkurencija .....	275
8.10.2.1.	Elektrifikacija drumskog transporta.....	275
8.10.2.2.	Mobilnost-kao-usluga kombinovana sa robnim uslugama .....	276
8.10.2.3.	Hyperloop .....	276
8.11.	Ograničenja za primenu inovacija na železnici .....	276
8.11.1.	Opšti inovacioni potencijal.....	276
8.11.1.1.	Percepcija stejkholdera .....	277
8.11.1.2.	Inovaciona klima – situacione okolnosti.....	278
8.11.2.	Mincberg: Predanost železničkog sektora tradicionalnom načinu rada .....	280
8.11.3.	Balansirana inovaciona strategija .....	280
<b>9.</b>	<b>ŽELEZNIČKI INTERMODALNI TRANSPORT.....</b>	<b>281</b>
9.1.	Dizajniranje intermodalnog sistema .....	283
9.2.	Dizajniranje mreže usluga .....	285
9.2.1.	Statički model dizajna multimodalne višerobne mreže usluga.....	285
9.2.2.	Sinhromodalni robni transport.....	286
9.2.2.1.	Dizajniranje mreže usluga sa fleksibilnim vremenima putovanja, uz mogućnost korišćenja podugovornog transporta .....	287
9.2.2.2.	Kooperativni sinhromodalni robni transport.....	293
9.3.	Operativno planiranje .....	294
9.4.	Intermodalni terminali .....	304
9.5.	Nove železničke intermodalne usluge .....	307
<b>10.</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>311</b>
	<b>BELEŠKA O AUTORIMA.....</b>	<b>319</b>

# PREDGOVOR

---

Železnički sistem se karakteriše brojnim upravljačkim problemima koji se mogu rešiti primenom tehnika matematičke optimizacije. Poslednjih decenija sa restrukturiranjem železničkog sektora i novim instrumentima saobraćajne politike ovaj vid prevoza dobija veće učešće u modalnoj raspodeli. Ovo za posledicu ima, pored ostalog, i ubrzani razvoj efikasnih algoritamskih pristupa i upotrebu moćnih računara za bolje korišćenje železničkih resursa. Istovremeno raste interesovanje za razvoj sistema za podršku odlučivanju kojima se mogu rešiti optimizacioni problemi na železnici.

Drugo dopunjeno izdanje knjige „Upravljanje železničkim saobraćajem i transportom” ima za cilj da promoviše primenu tehnika matematičke optimizacije i operacionih istraživanja za rešavanje operativnih, taktičkih i strateških problema upravljanja na železnici. U devet poglavlja autori su nastojali da pruže čitaocima celovitu predstavu o različitim vrstama problema odlučivanja na železnici, od osnovnih pojmova, terminologije i taksonomije problema, pa sve do najnovijih sofisticiranih dostignuća u ovoj oblasti. U skladu sa tom idejom, načinjen je logičan redosled tretirane materije, počev od objekata i nivoa upravljanja, preko problema rutiranja i raspoređivanja, digitalizacije u železničkom transportu pa do rešavanja problema intermodalnog železničkog transporta.

Knjiga je namenjena studentima osnovnih i master studija železničkog profila kao i planerima i menadžerima u železničkoj privredi i institutima. Cilj ove knjige jeste da čitaocu pruži relevantna znanja iz oblasti upravljanja železničkim saobraćajem i transportom, da ga upozna sa problemima odlučivanja, matematičkom interpretacijom ovih problema i tehnikama za njihovo rešavanje.

Autori duguju posebnu zahvalnost recenzentima, redovnim profesorima, dr Dragutinu Kostiću i dr Zoranu Gligoriću na korisnim primedbama i sugestijama.

Dugujemo zahvalnost Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu koji je odlučio da objavi ovu knjigu.

