

UNIVERZITET U BEOGRADU

Slobodan Jaramaz  
Dejan Micković

# Unutrašnja balistika



MAŠINSKI FAKULTET  
Beograd, 2011.

UNIVERZITET U BEOGRADU

Slobodan Jaramaz  
Dejan Micković

**UNUTRAŠNJA  
BALISTIKA**

MAŠINSKI FAKULTET  
Beograd, 2011.

Prof. dr Slobodan Jaramaz, Mašinski fakultet, Beograd  
Prof. dr Dejan Micković, Mašinski fakultet, Beograd

## **UNUTRAŠNJA BALISTIKA**

II izdanje

*Recenzenti:*

Prof. dr Miroljub Adžić

Prof. dr Đorđe Blagojević

*Izdavač:*

MAŠINSKI FAKULTET

ul. Kraljice Marije 16, 11020 Beograd

tel: 011 3370 760

faks: 011 3370 364

*Za izdavača:*

Prof. dr Milorad Milovančević, dekan

*Glavni i odgovorni urednik:*

Prof. dr Aleksandar Obradović

*Odobreno za štampu odlukom Dekana Mašinskog fakulteta  
u Beogradu, br. 185/11 od 10.11.2011.*

*Tiraž:*

150 primeraka

*Štampa:*

PLANETA PRINT

Ruzveltova 10, Beograd

tel/faks: 011 3088 129

ISBN 978-86-7083-739-3

## **PREDGOVOR DRUGOM IZDANJU**

Unutrašnja balistika je jedna od osnovnih naučnih disciplina čije izučavanje omogućava uspešno projektovanje sistema naoružanja i njihovih elemenata. Unutrašnja balistika se bavi proučavanjem pojava i procesa koji se odigravaju u cevi oruđa pri opaljenju pogonskog punjenja projektila.

Udžbenik je namenjen studentima master i osnovnih akademskih studija na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu usmerenja za sisteme naoružanja. Pored toga, knjiga može korisno da posluži studentima doktorskih studija na Mašinskom fakultetu, kao i svima onima koji se bave unutrašnjom balistikom kao osnovnom delatnošću.

U Beogradu, oktobra 2011.

Autori



# SADRŽAJ

<b>1. UNUTRAŠNJA BALISTIKA .....</b>	<b>1</b>
1.1 UVOD U UNUTRAŠNJU BALISTIKU .....	1
1.2 PROCES OPALJENJA .....	2
1.3 OSNOVNI UNUTRAŠNJE BALISTIČKI SISTEMI I NJIHOVI ELEMENTI .....	3
1.4 OSNOVNE OSOBENOSTI PROCESA OPALJENJA .....	5
<b>2. BARUT .....</b>	<b>8</b>
2.1 OSNOVNI ZAHTEVI I SASTAV .....	8
2.2 BARUTNO PUNJENJE .....	10
2.3 POGONSKO-KONSTRUKCIONI MATERIJALI .....	14
2.4 FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE BARUTA .....	15
2.5 BALISTIČKE KARAKTERISTIKE BARUTA .....	18
2.6 SAGOREVANJE BARUTA .....	20
2.6.1 Osnovne faze procesa sagorevanja .....	20
2.6.2 Sagorevanje malodimnih baruta po paralelnim slojevima .....	20
2.6.3 Mehanizam sagorevanja baruta .....	21
2.6.4 Zakon brzine sagorevanja.....	23
2.6.5 Brzina formiranja gasova .....	24
2.6.6 Veza između geometrije baruta i obrazovanja gasova .....	27
2.6.7 Veza između pritiska i uslova punjenja pri sagorevanju baruta u stalnoj zapremini.....	37
2.6.8 Eksperimentalno određivanje karakteristika u manometarskoj bombi .....	40
<b>3. OSNOVNI PROCESI I ZAVISNOSTI PRI OPALJENJU .....</b>	<b>43</b>
3.1 UVODNA RAZMATRANJA .....	43
3.2 BILANS ENERGIJE PRI OPALJENJU I OSNOVNA JEDNAČINA UNUTRAŠNJE BALISTIKE .....	45
3.3 OSNOVNE ENERGETSKE KARAKTERISTIKE OPALJENJA	50
3.4 SEKUNDARNI RADOVI BARUTNIH GASOVA PRI OPALJENJU .....	54
3.5 ODNOS PRITISKA NA DNO KANALA CEVI I NA DNO PROJEKTILA .....	62

<b>4. OSNOVNI ZADACI UNUTRAŠNJE BALISTIKE .....</b>	<b>64</b>
4.1 OSNOVNI ZADACI .....	64
4.2 METODE REŠAVANJA OSNOVNOG ZADATKA UNUTRAŠNJE BALISTIKE .....	65
4.3 REŠENJE OSNOVNOG ZADATKA UNUTRAŠNJE BALISTIKE .....	66
4.3.1 Postavka zadatka, sistem jednačina, osnovne pretpostavke .....	66
4.3.2 Metod Drozdova .....	68
4.3.3 Proračun temperature barutnih gasova .....	77
4.3.4 Proračun vremena kretanja projektila u cevi oruđa .....	78
4.4 TABLIČNI METOD REŠAVANJA OSNOVNOG ZADATKA UNUTRAŠNJE BALISTIKE .....	81
<b>5. BALISTIČKO PROJEKTOVANJE .....</b>	<b>87</b>
5.1 ZADATAK BALISTIČKOG PROJEKTOVANJA CEVI .....	87
5.2 BALISTIČKE KARAKTERISTIKE ORUĐA .....	88
5.3 OPŠTE ZAVISNOSTI KONSTRUKTIVNIH KARAKTERISTIKA KANALA CEVI OD USLOVA PUNJENJA PRI ZADATOJ POČETNOJ BRZINI PROJEKTILA I MAKSIMALNOM PRITISKU BARUTNIH GASOVA .....	92
5.4 DIREKTIVNI DIJAGRAM I NJEGOVA ANALIZA .....	95
5.4.1 Primena direktivnog dijagrama .....	98
<b>6. REŠENJE ZADATAKA UNUTRAŠNJE BALISTIKE ZA KOMBINOVANA PUNJENJA .....</b>	<b>102</b>
6.1 ANALITIČKO REŠENJE .....	103
<b>7. UNUTRAŠNJA BALISTIKA BESTRZAJNIH ORUĐA .....</b>	<b>111</b>
7.1 VRSTE BESTRZAJNIH ORUĐA .....	112
7.2 USLOVI URAVNOTEŽENJA SISTEMA .....	113
7.3 OSOBENOSTI UNUTRAŠNJE BALISTIKE BESTRZAJNIH ORUĐA .....	117
7.3.1 Formiranje sistema jednačina .....	117
7.3.2 Rešenje osnovnog zadatka unutrašnje balistike za bestrzajna oruđa .....	120

<b>8. UNUTRAŠNJA BALISTIKA MINOBACAČA .....</b>	<b>124</b>
8.1 OSOBENOSTI OPALJENJA IZ MINOBACAČA .....	124
8.2 ANALITIČKO REŠENJE OSNOVNOG ZADATKA ZA MINOBACAČE .....	125
<b>9. POPRAVNE FORMULE UNUTRAŠNJE BALISTIKE .....</b>	<b>132</b>
9.1 UVOĐENJE POPRAVKI PRI GAĐANJU .....	132
9.2 POPRAVNE FORMULE IKOPZ .....	132
9.3 POPRAVNE FORMULE I TABLICE SLUHOCKOG .....	133
9.4 POPRAVNE FORMULE I TABLICE ERMOLAEVA .....	134
<b>10. UNUTRAŠNJE BALISTIČKA ISPITIVANJA .....</b>	<b>136</b>
10.1 CILJ, KLASIFIKACIJA I MERNE VELIČINE .....	136
10.2 PRIPREMA UNUTRAŠNJE BALISTIČKIH ISPITIVANJA ...	137
10.2.1 Barut i barutna punjenja .....	137
10.2.2 Projektili i upaljači .....	138
10.2.3 Čaure, pomoćni elementi metka i kompletiranje metaka ...	138
10.2.4 Balistička oruđa i minobacači .....	139
10.3 MERENJE PRITISKA .....	140
10.3.1 Krešerni sistemi .....	140
10.3.2 Piezoelektrični davači .....	146
10.3.3 Merenje nadpritisaka .....	154
10.4 MERENJE BRZINE PROJEKTILA NA USTIMA CEVI ORUĐA	157
10.5 MERENJE IMPULSA TRZANJA SISTEMA .....	170
<b>11. EKSPERIMENTALNO-ISTRAŽIVAČKE METODE U UNUTRAŠNJOJ BALISTICI .....</b>	<b>172</b>
11.1 NOVE METODE MERENJA PRITISKA .....	172
11.2 MERENJE BRZINE PROJEKTILA U CEVI .....	176
11.3 ULTRABRZA SNIMANJA .....	182
11.3.1 Kamere za ultrabrza snimanja .....	182
11.3.2 Metode ultrabrze kino-fotografije .....	184
11.4 RADIOGRAFIJA .....	187
11.4.1 Impulsna radiografija .....	188
11.4.2 Kino-radiografija .....	191



<b>12. POJAVE NA USTIMA CEVI ORUĐA .....</b>	<b>193</b>
12.1 UVODNA RAZMATRANJA .....	193
12.2 PRITISAK NA DNO PROJEKTILA .....	195
12.3 NADPRITISAK OKO ORUĐA .....	197
12.4 BLJESAK NA USTIMA CEVI ORUĐA .....	200
<b>13. EROZIJA CEVI ORUĐA .....</b>	<b>205</b>
13.1 UVODNA RAZMATRANJA .....	205
13.2 FENOMENOLOGIJA EROZIJE CEVI ORUĐA .....	205
13.3 ANALITIČKO PREDVIĐANJE ŽIVOTA CEVI ORUĐA .....	207
13.4 LABORATORIJSKE METODE ZA PROUČAVANJE EROZIJE CEVI ORUĐA.....	214
<b>14. POGON PROJEKTILA POMOĆU TEČNIH GORIVA .....</b>	<b>219</b>
14.1 KONCEPCIJE POGONA POMOĆU TEČNIH GORIVA .....	219
14.2 TEČNA GORIVA .....	222
<b>LITERATURA .....</b>	<b>223</b>