

U N I V E R Z I T E T U B E O G R A D U

Milosav Ognjanović

MAŠINSKI ELEMENTI



MAŠINSKI FAKULTET

Beograd

UNIVERZITET U BEOGRADU

Milosav Ognjanović

MAŠINSKI ELEMENTI

MAŠINSKI FAKULTET
Beograd, 2014

Prof. dr Milosav Ognjanović,

MAŠINSKI ELEMENTI

IX izdanje

Recenzenti:

Prof. dr Radivoje Mitrović, Mašinski fakultet Beograd

Prof. dr Božidar Rosić, Mašinski fakultet Beograd

Izdavač:

MAŠINSKI FAKULTET

Univerziteta u Beogradu,

Ul. Kraljice Marije 16, Beograd

tel. (011) 3370 760

fax.(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. 285/14 od 02.10.2014. godine

Tiraž: 700 primeraka

ISBN 978-86-7083-841-3

Štampa:

PLANETA PRINT

Igora Vasiljeva 33r, Beograd

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje.

Sva prava zadržava izdavač i autor

PREDGOVOR

Mašinski elementi su komponente mašinskih sistema od opšteg značaja, a njihovo izučavanje podrazumeva upoznavanje funkcije, primene, konstrukcijskih rešenja, osnovnih proračuna i u određenoj meri izrade. Student se uvodi u rešavanje praktičnih zadataka mašinskog inženjera, polazeći od već stečenih znanja iz oblasti Mehanike, Mašinskih materijala, Otpornosti materijala, Inženjerske grafike i dr. Knjiga je uskladjena sa Bolonjskim procesom izvodjenja nastave. Podeljena je u tri celine koje odgovaraju po jednom jednosemestralnom predmetu: Mašinski elementi-1, Mašinski elementi-2 i Mašinski elementi-3. Obuhvaćena su osnovna znanja koja student treba da stekne, zajedno sa svim potrebnim numeričkim podacima koji su potrebni za proračune. Gotovo sva poglavlja se završavaju rešenim primerima uz odgovarajuća objašnjenja.

Ovo izdanje je još jedno u nizu počev od 1999. godine kada je ova knjiga objavljena u sličnom obliku. Nastala je prilagodjavanjem i osavremenjavanjem ranijih izdanja pod drugim nazivima: Teorija mašinskih elemenata (1991.,1994.), Mašinski elementi – praktikum za vežbe (1985, 1987, 1989, 1990, 1992.), Osnovi konstruisanja – zbirka zadataka (1981, 1986, 1988, 1991.), Čvrstoća i zaptivanje kućišta pod pritiskom (1997.), Modeliranje mašinskih elemenata (1992.) i dr. Izložena materija i podaci su uskladjivani sa međunarodnim standardima i literaturom u ovoj oblasti.

Kao i do sada, biću zahvalan svim korisnicima ove knjige koji će svojim sugestijama i primedbama doprineti njenom poboljšanju.

Beograd, Jul 2013.

Autor

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
Mašinski elementi 1	
2. Opšti deo	3
2.1. Standardizacija mašinskih delova i sklopova.....	4
2.2. Tolerancije mašinskih delova i sklopova.....	5
2.2.1. Tolerancije dužinskih mera – pojmovi, označavanje, parametri..	5
2.2.2. Tolerancije slobodnih mera – precutne tolerancije.....	20
2.2.3. Tolerancije sklopa dužinskih mera – složene tolerancije.....	21
2.2.4. Naleganja dužinskih mera.....	22
2.2.5. Sistemi, familije i prioriteti naleganja.....	25
2.2.6. Uticaj toplote na promenu naleganja.....	26
2.2.7. Tolerancije oblika i položaja osa i površina mašinskih delova...	28
2.2.8. Tolerancije hrapavosti površina.....	31
2.2.9. Numerički primeri.....	35
2.3. Osnove proračuna mašinskih elemenata.....	44
2.3.1. Radna opterećenja mašinskih elemenata.....	44
2.3.2. Radni i nominalni naponi u mašinskim delovima.....	45
2.3.3. Koncentracija napona.....	48
2.3.4. Kritična stanja mašinskih delova.....	53
2.3.5. Kritični naponi za statičko naprezanje – Statička čvrstoća.....	54
2.3.6. Dinamička izdržljivost.....	56
2.3.7. Izdržljivost mašinskog dela.....	63
2.3.8. Uticaj načina promene napona na izdržljivost.....	65
2.3.9. Stepen sigurnosti.....	67
2.3.10. Površinska naprezanja.....	70
2.3.11. Numerički primeri.....	74
3. Vratila.....	84
3.1. Opterećenje vratila.....	88
3.1.1. Sile na vratilu.....	89
3.1.2. Šema sila.....	92
3.1.3. Dijagram momenata uvijanja i aksijalnih sila.....	94

3.2. Čvrstoća vratila.....	96
3.2.1. Naponi u vratilu.....	96
3.2.2. Koncentracija napona u vratilu.....	98
3.2.3. Dinamička izdržljivost i stepen sigurnosti vratila.....	100
3.2.4. Izbor dimenzija vratila.....	101
3.3. Krutost i stabilnost vratila.....	103
3.4. Spojevi vratila i glavčina.....	104
3.4.1. Spojevi vratila i glavčina trenjem.....	104
3.4.2. Spovevi vratila i glavčina klinovima.....	108
3.4.3. Žlebni spojevi.....	110
3.5. Numerički primeri.....	112
4. Ležaji.....	118
4.1. Kotrljajni ležaji.....	119
4.1.1. Vrste i karakteristike kotrljajnih ležaja.....	120
4.1.2. Tolerancije ležaja.....	126
4.1.3. Nosivost i radni vek ležaja.....	128
4.1.4. Ekvivalentno opterećenje ležaja.....	135
4.1.5. Izbor i ugradnja kotrljajnih ležaja.....	138
4.2. Klizni ležaji.....	146
4.2.1. Nosivost kliznih ležaja.....	148
4.2.2. Zagrevanje, hladjenje i podmazivanje kliznih ležaja.....	152
4.2.3. Oblici i materijal posteljica kliznih ležaja.....	154
4.3. Numerički primeri.....	156
5. Navojni spojevi.....	163
5.1. Navoj i navojni parovi.....	165
5.1.1. Parametri navoja i navojnih parova.....	165
5.1.2. Standardni profili navoja.....	167
5.1.3. Tolerancije navoja.....	174
5.1.4. Opterećenje navoja.....	176
5.1.5. Naponi u navoju.....	180
5.1.6. Materijal i izdržljivost navojnih delova.....	182
5.2. Zavrtnajske veze.....	185
5.2.1. Pritezanje zavrtnajskih veza.....	188
5.2.2. Uzdužno opterećene zavrtnajske veze.....	190
5.2.3. Poprečno opterećene zavrtnajske veze.....	194
5.2.4. Grupne zavrtnajske veze.....	195
5.3. Pokretni navojni spojevi – Navojni prenosnici.....	196
5.4. Numerički primeri.....	199

Mašinski elementi 2

6. Prenos snage	207
6.1. Numerički primeri	212
7. Frikcioni prenosni parovi	218
7.1. Nosivost, klizanje i habanje	220
7.2. Materijali frikcionih parova	222
7.3. Numerički primeri	224
8. Zupčanici	226
8.1. Profil zupca	236
8.1.1. Principi izrade evolventnih profila zubaca.....	240
8.1.2. Pomeranje profila zubaca.....	244
8.1.3. Geometrijske mere zubaca.....	248
8.1.4. Sprezanje i dimenzije zupčanika.....	251
8.1.5. Numerički primeri.....	257
8.2. Cilindrični zupčanici	262
8.2.1. Sprezanje i geometrija.....	262
8.2.2. Tolerancije cilindričnih zupčanika.....	269
8.2.3. Opterećenje i raspodela opterećenja.....	272
8.2.4. Naponi na bokovima zubaca.....	276
8.2.5. Naponi u podnožju zubaca.....	280
8.2.6. Izbor parametara cilindričnih zupčanika.....	283
8.2.7. Numerički primeri.....	299
8.3. Konusni zupčanici	304
8.3.1. Sprezanje i dimenzije konusnih zupčanika.....	304
8.3.2. Čvrstoća i nosivost konusnih zupčanika.....	208
8.3.3. Numerički primeri.....	311
8.4. Pužni zupčanici	314
8.4.1. Oblici profila cilindričnog puža.....	316
8.4.2. Oblik globoidnog puža.....	317
8.4.3. Čvrstoća zubaca pužnog zupčanika.....	318
8.4.4. Zagrevanje pužnih parova.....	319
8.4.5. Numerički primeri.....	321
9. Kaišni prenosni parovi	322
9.1. Sile u kaišu	324
9.2. Naponi u kaišu	327
9.3. Plošnati kaišni parovi	328
9.4. Trapezni kaišni parovi	330
9.5. Poly –V kaišni parovi	338

9.6. Zupčasti kaišni parovi.....	340
9.7. Numerički primeri.....	342
10. Lančani prenosni parovi.....	344
10.1. Geometrijske mere lanca i lančanika.....	347
10.2. Opterećenje lanca.....	348
10.3. Naponi i vek lanca.....	350
11. Spojnice.....	354
11.1. Krute spojnice.....	356
11.2. Elastične spojnice.....	358
11.2.1. Elastične spojnice sa gumenim prstenima.....	358
11.2.2. Elastične spojnice sa gumenim ulošcima.....	360
11.2.3. Elastične spojnice sa gumenim torusom – periflex spojnice....	361
11.2.4. Elastične spojnice turboflex.....	362
11.2.5. Elastična spojnica sa čeličnom trakom – Bibby spojnica.....	364
11.3. Zglobne spojnice.....	365
11.3.1. Zglobna spojnica sa zupcima.....	365
11.3.2. Kardanova spojnica.....	366
11.4. Kandžasta spojnica.....	368
11.5. Zupčasta spojnica.....	369
11.6. Frikcione spojnice.....	370

Mašinski elementi 3

12. Opruge.....	375
12.1. Fleksione opruge.....	377
12.2. Torzione opruge.....	380
12.3. Složeno napregnute opruge.....	382
12.4. Opruge od gume.....	383
12.5. Materijali za opruge.....	385
12.6. Numerički primeri.....	388
13. Nerazdvojni spojevi.....	400
13.1. Zavareni spojevi.....	401
13.1.1. Kritični naponi.....	404
13.1.2. Radni naponi.....	408
13.1.3. Zaostali naponi.....	410
13.2. Zalemljeni spojevi.....	412
13.3. Zalepljeni spojevi.....	414
13.4. Zakovani spojevi.....	416
13.5. Numerički primeri.....	420

14. Kućišta pod pritiskom	426
14.1. Naponi u zidovima kućišta elementarnog oblika	430
14.2. Naponi u zidovima kućišta složenog oblika	436
14.3. Naponi u prirubnicama	440
14.4. Kritični naponi kućišta pod pritiskom	444
14.5. Izbor debljine zidova kućišta pod pritiskom	448
14.6. Numerički primeri	452
15. Zaptivanje	460
15.1. Zaptivanje nepokretnih površina	461
15.1.1. Zaptivanje nemetalnim zaptivačima.....	462
15.1.2. Zaptivanje metalnim zaptivačima.....	468
15.1.3. Zavrtnajske veze statičkih zaptivnih spojeva.....	471
15.2. Zaptivanje pokretnih površina	472
15.2.1. Kompresioni zaptivači.....	472
15.2.2. Hidraulik zaptivači.....	473
15.2.3. Zaptivači na čeonim površinama.....	476
15.3. Zaptivanje bez dodira	478
15.3.1. Zaptivanje zazorom.....	478
15.3.2. Zaptivanje labirintima.....	480
15.3.3. Kombinovano zaptivanje zazorom i labirintima.....	481
15.3.4. Membransko zaptivanje.....	482
16. Literatura	483
Prilog – A : Crteži	485
Prilog – B : Primeri	492