

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

---

Vinko Ivušić

# TRIBOLOGIJA

2. IZDANJE



Zagreb, 2002.

---

UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U ZAGREBU  
MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS

---

Recenzenti:

dr.sc. Mladen Novosel, profesor emeritus Sveučilišta u Osijeku  
Prof.dr.sc. Tomislav Filetin, FSB, Zagreb  
Prof.dr.sc. Mladen Franz, FSB, Zagreb

Izdavač: Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Ivana Lučića 1, Zagreb

Glavni urednik: Prof.dr.sc. Tomislav Filetin

Odluka Senata Sveučilišta u Zagrebu,  
broj: 02-40/1-1998 od 3. ožujka 1998. godine  
Udžbenik

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Nacionalna i sveučilišna knjižnica - Zagreb

UDK 621.891(075.8)

IVUŠIĆ, Vinko  
Tribologija / Vinko Ivušić. - 2. izd. -  
Zagreb : Hrvatsko društvo za materijale i  
tribologiju, 2002. - (Udžbenici  
Sveučilišta u Zagrebu = Manualia  
Universitatis studiorum Zagrabensis)

Bibliografija: str. 83-86.

ISBN 953-96038-8-9

I. Tribologija -- Udžbenik

420424085

Grafičko rješenje naslovnice: Andrej Filetin

Copyright © Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb

Tisak: Garmond, Zagreb

Naklada: 500

## PREDGOVOR

1. izdanju

Činjenica da se tribologijom i u Hrvatskoj bavi sve više ljudi, a da je tribološka literatura na hrvatskom jeziku jako oskudna, potakla me je na pisanje ove male knjige. Ona je namjenjena prije svega studentima dodiplomskog i postdiplomskog studija Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu ali i svima onima koji moraju ili žele učiti o tribologiji ili se tribologijom bave, često i ne znajući da se to tako čudno zove. Iz područja tribologije svake godine se u svijetu objavi oko 6000 naslova, što je podatak iz 1989. godine. Nije jednostavno to pratiti, izdvojiti najvažnije od nepreglednog broja informacija i uključiti ih u minimalni fond znanja koji bi trebao biti obuhvaćen jednom dobrom knjigom o tribologiji. Zato ovo možda još nije dovoljno dobra knjiga o tribologiji, ali vjerujem da je jedan potreban korak prema njoj, nadam se i uz Vašu pomoć, jer je svačiji "osobni doprinos" (sl. 6) dobrodošao. Zahvaljujem se svima koji su mi pomogli već u ovom prvom koraku a posebno suradnicima projekta "Tribologija" Marinku Jakovljeviću, Želimiru Oršaniću, Gojku Mariću, Zdravku Schauperlu, Vesni Ivanković, Krešimiru Grilecu i Denisu Pruscu. Također zahvaljujem Branku Žuveli Dodi za crtež tribološkog stabla, (sl. 6) i Sanjinu Mahoviću za opis karakterizacije hrapavosti površina. Zahvaljujem Ministarstvu znanosti i tehnologije Republike Hrvatske na potpori projektu "Tribologija" i na nacionalnoj razini i u okviru akcije Europske komisije COST-516. Za objavljivanje ove knjige zaslužne su i tvrtke BELING - Rijeka, CASTROL CROATIA - Zagreb, ABB - Karlovac, Centar za vozila Hrvatske - Zagreb, INA - Zagreb, IDEF - Zagreb, AKRIPOL - Trebnje (Slovenija), TUP - Dubrovnik i ELIMP - Zagreb. Na kraju, ali ne najmanje, zahvaljujem recenzentima koji su svojim primjedbama bitno poboljšali izvorni rukopis.

*Vinko Ivušić*

## **PREDGOVOR**

### 2. izdanju

Drugo izdanje knjige razlikuje se od prvog po nekim manjim ispravcima i po dodatku: "Rječnik osnovnih triboloških pojmova" (englesko-njemački-hrvatski). Hrvatski nazivi prevedeni su engleski i njemački pojmovi iz [2]. Za ovaj rječnik zaslužni su Tomislav Filetin i Želimir Oršanić, a pomogli su Ljiljana Pedišić, Milan Opalić, Toma Udiljak i Sanjin Mahović, na čemu im zahvaljujem. Također dugujem zahvalnost "meštru od tribologije" Zdenku Perčiniću za dugogodišnju suradnju i doprinos koji je ugrađen u Laboratorij za tribologiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Zagreb, travanj 2002.

Vinko Ivušić

## SADRŽAJ

1. UVOD I POVIJESNI PREGLED	1
2. POVRŠINE I NJIHOV DODIR	6
2.1 Površinski (konformni) dodir	9
2.2 Koncentrirani (nekonformni) dodir	9
3. SUSTAVNI PRISTUP TRIBOLOŠKIM PROBLEMIMA	12
4. PROCESI TRENJA	13
4.1. Trenje sklizanja	13
4.2. Trenje kotrljanja	16
5. MEHANIZMI TROŠENJA	18
5.1. Abrazija	18
5.1.1. Otpornost na abraziju	21
5.2. Adhezijsko trošenje	24
5.2.1. Otpornost na adhezijsko trošenje	26
5.3. Umor površine	29
5.3.1. Otpornost na umor površine	31
5.4. Tribokorozija	32
5.4.1. Otpornost na tribokoroziju	33
6. PROCESI TROŠENJA	34
6.1. Praćenje procesa trošenja	34
7. TRIBOLOŠKE MJERE	44
7.1. Izbor materijala triboelemenata	44
7.2. Zaštita površina od trošenja	45
7.3. Uhodavanje	46
7.4. Podmazivanje	48
8. PODJELA SLUČAJEVA TROŠENJA	51
8.1. Sklizno trošenje	51
8.2. Kotrljajuće trošenje	58
8.3. Udarno trošenje	62
8.4. Fretting	64

8.5. Abrazijsko trošenje	66
8.5.1. Test "suhi pijesak / gumeni kotač"	67
8.5.2. Indeks otpornosti na abraziju	68
8.5.3. Izbor materijala otpornih na abrazijsko trošenje	69
8.6. Erozijska česticama	74
8.7. Erozijska kapljevina	77
8.8. Kavitacijska erozijska	79
POPIS OZNAKA	82
LITERATURA	83
RJEČNIK OSNOVNIH TRIBOLOŠKIH POJMOVA	87