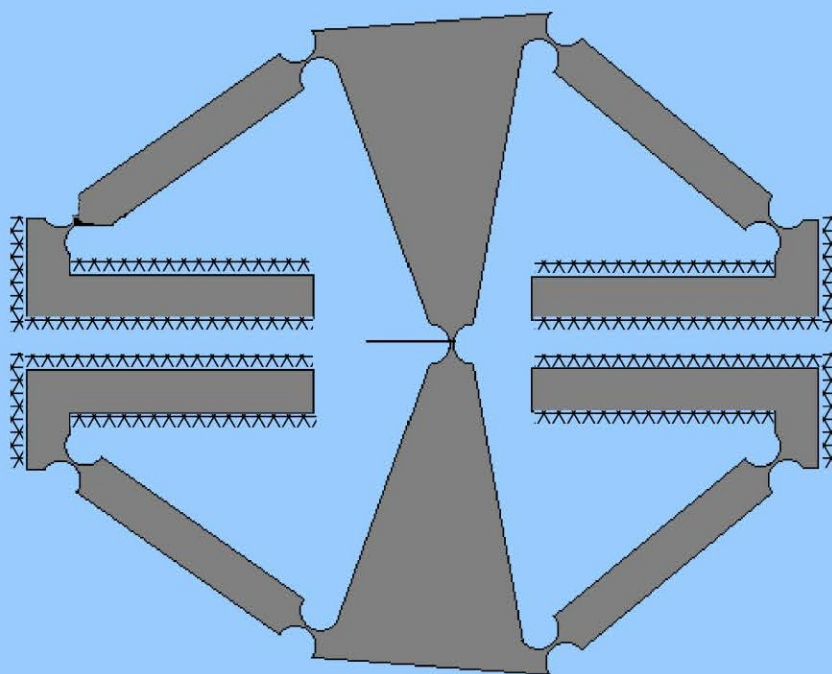


MAŠINSKI FAKULTET NIŠ

**Nenad D. Pavlović
Nenad T. Pavlović**

GIPKI MEHANIZMI



Niš, 2013.

MAŠINSKI FAKULTET NIŠ

Nenad D. Pavlović

Nenad T. Pavlović

GIPKI MEHANIZMI

Niš, 2013.

Nenad D. Pavlović
Nenad T. Pavlović

GIPKI MEHANIZMI

Recenzenti

dr Života Živković, red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu u penziji
dr Aleksandar Veg, red. prof. Mašinskog fakulteta u Beogradu

Izdavač

Mašinski fakultet
Univerziteta u Nišu
Niš, A. Medvedeva 14

Štampanje odobrilo

Nastavno naučno veće
Mašinskog fakulteta u Nišu
odlukom br. 612-329-10-1/2013 od 26.04.2013.

Štampa:

"Unigraf", Niš

Tiraž 150 primeraka

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

62-23
531.133.3
621.814-23

ПАВЛОВИЋ, Ненад Д., 1950-
Gipki mehanizmi / Nenad D. Pavlović,
Nenad T. Pavlović. - Niš : Mašinski fakultet,
2013 (Niš : Unigraf). - 217 str. : ilustr. ;
24 cm

Tiraž 150. - Bibliografija uz svako
poglavlje.

ISBN 978-86-6055-036-3

1. Павловић, Ненад Т., 1966- [аутор]
а) Механизми б) Теорија механизма с)
Машински елементи - Спојеви
COBISS.SR-ID 199450380

P R E D G O V O R

Pod gipkim mehanizmima podrazumevaju se pokretljive, materijalno koherentne strukture koje mogu da prenesu sile i transformišu kretanje samo zahvaljujući elastičnosti (elastičnoj deformaciji) odgovarajućih segmenata strukture. Elastični segmenti gipkih mehanizama zamenjuju funkciju zglobova kod klasičnih mehanizama čime je eliminisana potreba za održavanjem (podmazivanjem zglobova). Činjenica da kod gipkih mehanizama nema klasičnih zglobova eliminiše i potrebu montaže kao i pojave zazora, trenja i habanja (u zglobovima) pa su ovakvi mehanizmi pogodni za primene u tzv. "čistom prostoru" kakav npr. zahtevaju poluprovodničke i mikromehaničke tehnologije. Prednosti gipkih mehanizama u odnosu na klasične mehanizme, pored već pobrojanih, su i njihova kompaktnost, mogućnost minijaturizacije (za primene kod mikoelektromehaničkih sistema) i niska cena izrade.

Prema saznanjima autorâ, gipki mehanizmi nisu do sada obradivani u našoj stručnoj literaturi. Ova knjiga ima za cilj da popuni ovu prazninu i prezentira zainteresovanim čitaocima sve aktuelne aspekte analize, sinteze i primene gipkih mehanizama. Izložena materija sadrži i originalne rezultate koje su autori već prezentirali široj naučnoj javnosti, publikovanjem u međunarodnim časopisima i zbornicima radova međunarodnih konferencija.

Knjiga je pisana prvenstveno kao udžbenik namenjen studentima profila "Mehatronika i upravljanje" na Mašinskom fakultetu u Nišu, ali se iskreno nadamo da će omogućiti korisna saznanja i studentima drugih tehničkih fakulteta kao i da će zainteresovati i one koji se po prvi put sreću sa ovom materijom.

Najtoplije se zahvaljujemo recenzentima dr Životi Živkoviću, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta u Nišu u penziji, i dr Aleksandru Vugu, redovnom profesoru Mašinskog fakulteta u Beogradu, na korisnim savetima i sugestijama.

Zahvaljujemo se i dr Daliboru Petkoviću i dipl.maš.inž. Andriji Milojeviću na pomoći pri obradi pojedinih poglavlja ove knjige.

Niš, aprila 2013.

A u t o r i

S A D R Ź A J

1. GIPKI ZGLOBOVI	1
1.1. Prednosti i nedostaci gipkih zglobova	2
1.2. Modeliranje gipkih zglobova u obliku zareza izloženih malim deformacijama	7
1.2.1. Gipki zglob sa kružnim zarezom	12
1.2.2. Gipki zglob sa pravougaonim zarezom i zaobljenjima na krajevima	14
1.2.3. Gipki zglob sa zarezom u obliku elipse	16
1.3. Modeliranje tipova gipkih zglobova izloženih velikim deformacijama (model kvazikrutog tela)	17
1.4. Pokretljivost gipkih zglobova	24
1.5. Vrste gipkih zglobova za realizovanje obrtnog kretanja	28
1.5.1. Konstruktivna rešenja gipkih zglobova sa lisnatim oprugama kojima se realizuje obrtno kretanje	28
1.5.2. Ostali tipovi gipkih zglobova za realizovanje obrtnog kretanja	33
1.6. Realizovanje translatornog kretanja gipkim zglobovima	38
Literatura	40
 2. SINTEZA GIPKIH MEHANIZAMA	 41
2.1. Sinteza gipkih mehanizama kao gipkih kopija klasičnih mehanizama	42
2.1.1. Modeliranje gipkih zglobova u programskom paketu ANSYS	42
2.1.2. Sinteza mehanizama s koncentrisanim gipkostima za generisanje pravolinijske putanje	47
2.1.2.1. Sinteza gipke kopije Heken-ovog mehanizma za pravolinijsko vođenje tačke spojke	48
2.1.2.2. Sinteza gipke kopije Roberts-Čebišev-ljevog mehanizma za pravolinijsko vođenje tačke spojke	52
2.1.2.3. Sinteza gipke kopije Vat-ovog mehanizma za pravolinijsko vođenje tačke spojke	54
2.1.2.4. Sinteza gipke kopije Evans-ovog mehanizma za pravolinijsko vođenje tačke spojke	57
2.1.2.5. Nova rešenja gipkih mehanizama za generisanje pravolinijske putanje	58
2.1.3. Eksperimentalna provera rezultata dobijenih modeliranjem gipkih mehanizama	59
2.1.4. Sinteza gipkog klipnog mehanizma s koncentrisanim gipkostima	62
2.1.5. Pokretljivost gipkih mehanizama	64
2.1.6. Sinteza mehanizma s koncentrisanim gipkostima za translatorno vođenje ravni	66

2.2. Sinteza gipkih mehanizama optimizacijom strukture fleksibilnog kontinuuma	72
2.2.1. Optimizacija strukture	73
2.2.2. Formulacija problema optimizacije	74
2.2.3. Optimizacija topologije fleksibilnog kontinuuma, oblika segmenata i njihove veličine	75
2.2.3.1. Optimizacija veličine segmenata	76
2.2.3.2. Optimizacija oblika segmenata	77
2.2.3.3. Optimizacija topologije	77
2.2.3.3.1. Dimenzije poprečnog preseka linijskih elemenata kao optimizacione promenljive	80
2.2.3.3.2. Fiktivna gustina materijala tačaka kontinuuma kao optimizaciona promenljiva	84
2.2.4. Algoritmi optimizacije	86
2.2.5. Optimizacija topologije primenom programskog paketa Matlab	94
2.3. Sinteza gipkih bistabilnih mehanizama	100
2.3.1. Stabilnost	101
2.3.2. Analiza stabilnosti bistabilnog zatvarača	102
2.3.3. Analiza stabilnosti bistabilnih prekidača	113
2.3.4. Gipki tristabilni mehanizmi	114
Literatura	119

3. GIPKE PLATFORME ZA POZICIONIRANJE	121
3.1. Uvod	121
3.2. Gipke platforme za pozicioniranje sa 1 stepenom slobode kretanja	124
3.2.1. Gipki opružni mehanizmi za translatorno vođenje platforme	124
3.2.1.1. Gipki mehanizmi oblika polužnog paralelograma	124
3.2.1.2. Opružni sistem za vođenje u obliku slova S	129
3.2.1.3. Opružni sistem za vođenje u obliku slova U	132
3.2.1.4. Sistem za vođenje krute platforme sa četiri opruge	134
3.2.1.5. Mobilnost opružnih sistema za translatorno vođenje platforme	136
3.2.2. Nanopozicioniranje platforme samovođenim gipkim mehanizmom za povećanje pomeranja	137
3.2.3. Gipka platforma za mikropozicioniranje pri zavarivanju laserom	141
3.3. Industrijski nanopozicioneri sa 1, 2 i 3 stepena slobode kretanja	142
3.3.1. Industrijski nanopozicioneri sa 1 stepenom slobode kretanja	142
3.3.2. Povećanje pogonskog pomeranja piezoaktuatora	146
3.3.3. Industrijski nanopozicioneri sa 2 i 3 stepena slobode kretanja	148
3.4. Gipke platforme za pozicioniranje sa 3 stepena slobode kretanja	150
3.5. Gipka platforma za pozicioniranje sa 6 stepeni slobode kretanja	154
Literatura	157

4. GIPKI HVATAČI I MANIPULATORI	159
4.1. Uvod	159
4.2. Gipki mikrohvatači	160
4.2.1. Razvoj gipkih mikrohvatača kao gipkih kopija konvencionalnih mekhanizama hvatača	160
4.2.2. Hibridni gipki mikrohvatači sa piezoaktuatorima	164
4.2.3. Monolitni gipki mikrohvatač sa aktuatorom od legure koja pamti oblik	167
4.2.4. Gipki mikrohvatač od superelastične legure sa elektromotornim aktuatorom	168
4.2.5. Gipki mikrohvatač sa optičkim sistemom za registrovanje sile hvatanja	169
4.2.6. Mehatronički mezoskopski sistem gipkog hvatača izrađenog od polimera	170
4.2.7. Gipki mikrohvatač sa elektrotermičkim pogonom	172
4.3. Gipki manipulator sa 2 stepena slobode kretanja	177
Literatura	181
 5. GIPKI AKTUATORI OD ELASTOMERA SA FLUIDNIM POGONOM	183
5.1. Zatvorene elastične strukture koje uokviruju neki prostor kao aktuator mehanizma hvatača	183
5.2. Od noge pauka do gipkog zgloba (aktuatora)	185
5.3. Razvoj gipkih aktuatora sa fluidnim pogonom	188
5.4. Od pipaka puža do gipkog aktuatora	193
5.5. Klasifikacija statičkog ponašanja gipkih aktuatora sa fluidnim pogonom	194
5.6. Primena gipkih struktura sa skokovitom promenom stanja u sigurnosnim zatvaračima	199
Literatura	202
 6. ADAPTIVNI I UPRAVLJIVI GIPKI SISTEMI	203
Literatura	210
 PRILOZI	211
Prilog 1. Program za minimizaciju gipkosti strukture u programskom paketu <i>Matlab</i>	211
Prilog 2. Modifikacija programa za minimizaciju gipkosti strukture u program sinteze gipkih mehanizama	214
Prilog 3. Prvi izvod potencijalne energije bistabilnog zatvarača primenom softvera <i>Wolfram Mathematica</i>	216



Dr Nenad D. Pavlović rođen je 2. marta 1950. godine u Valjevu. Osnovnu i srednju školu završio je u Nišu.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu diplomirao je 1973. godine na smeru Mašinske konstrukcije. Magistarsku tezu odbranio je 1979. godine, a 1984. godine odbranio je doktorsku disertaciju.

Od 1974. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao saradnik u zvanju asistent pripravnik i od 1979. godine u zvanju asistent na predmetu Teorija mašina mašina i mehanizama. Od 1985. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao nastavnik u zvanju docent, od 1990. godine u zvanju vanredni profesor i od 1995. godine u zvanju redovni profesor na grupi predmeta Precizno mašinstvo.

Govori engleski i nemački jezik.

Autor je nekoliko udžbenika iz oblasti Preciznog mašinstva i Teorije mašina i mehanizama.

Autor je ili koautor većeg broja naučnih radova publikovanih u časopisima i zbornicima radova konferencija iz oblasti Teorije mašina i mehanizama, Opruga kao pogonskih elemenata i Gipkih mehanizama.



Dr Nenad T. Pavlović rođen je 28. avgusta 1966. godine u Beloj Palanci.

Osnovnu i srednju školu završio je u Nišu.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu diplomirao je 1991. godine na smeru Preciznog mašinstva. Magistarsku tezu odbranio je 1996. godine, a 2003. godine odbranio je doktorsku disertaciju.

Od 1992. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao saradnik u zvanju asistent pripravnik i od 1997. godine u zvanju asistent na grupi predmeta Precizno mašinstvo. Od 2003. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao nastavnik u zvanju docent, od 2008. godine u zvanju vanredni profesor i od 2013. godine u zvanju redovni profesor za užu naučnu oblast Mehatronika.

Govori engleski i nemački jezik.

Autor je ili koautor većeg broja naučnih radova publikovanih u časopisima i zbornicima radova konferencija iz oblasti Opruga kao pogonskih elemenata i Gipkih mehanizama.