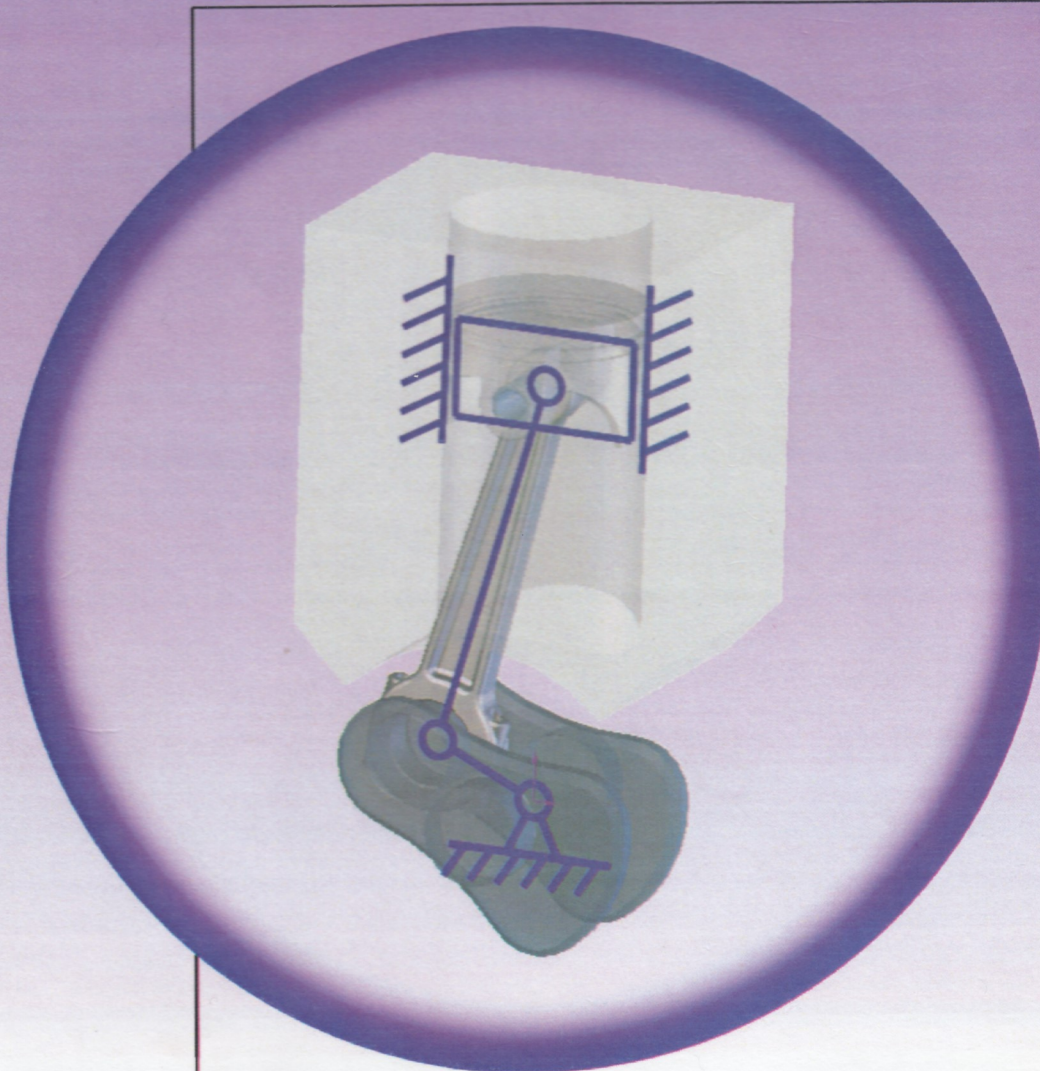




Univerzitet u Nišu  
Mašinski fakultet

Nenad Pavlović  
Miloš Milošević

# POLUŽNI MEHANIZMI



Niš, 2012

Univerzitet u Nišu  
Mašinski fakultet

Nenad D. Pavlović  
Miloš Milošević

# **POLUŽNI MEHANIZMI**

Niš, 2012.

dr Nenad D. Pavlović, redovni profesor  
dr Miloš Milošević, docent

# POLUŽNI MEHANIZMI

## *Recenzenti*

dr Života Živković, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu u penziji  
dr Aleksandar Veg, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu

## *Izdavač*

Mašinski fakultet u Nišu  
Niš, Aleksandra Medvedeva 14

## *Štampanje odobrilo*

Nastavno naučno veće  
Mašinskog fakulteta u Nišu  
odluka broj: 612-315-9/2012  
od 15.5.2012. godine

## *Tehnička priprema*

dr Miloš Milošević

## *Tiraž*

250 primeraka

## *Štampa*

UNIGRAF, Niš

ISBN 978-86-6055-029-5



CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd  
621.83.06-23  
531.133.2  
62-23  
004.42 CINDERELLA  
ПАВЛОВИЋ, Ненад Д., 1950-  
Polužni mehanizmi / Nenad D. Pavlović,  
Miloš Milošević. - Niš : Mašinski fakultet, 2012  
(Niš : Unigraf). - 173 str. : ilustr. ;  
24 cm + 1 elektronski optički disk (DVD ; 12 cm)  
Na vrhu nasl. str.: Univerzitet u Nišu. -  
Tiraž 250. - Bibliografija: str. 172-173.  
ISBN 978-86-6055-029-5  
1. Милошевић, Милош, 1969- [аутор]  
а) Теорија механизма  
б) Машине - Механизми  
в) Преносници снаге - Механизми  
д) Програмски пакет "Cinderella"  
COBISS.SR-ID 194524684

## **Predgovor**

*Korišćenje mehanizama u mašinama spada u najstarije oblasti tehnike. Mnogi od jednostavnijih mehanizama bili su korišćeni i pre nove ere. Upotreba mehanizama je i danas nezaobilazna, pre svega u svim granama mašingradnje, u aparatima i uređajima, ali ih srećemo i u svakodnevnom životu.*

*Osnovni zadatak mehanizama je realizovanje kretanja pa je nauka o mehanizmima i mašinama jedna od retkih tehničkih nauka, ako ne i jedina, koja se bavi problemima kretanja pokretnih delova tehničkih sistema. Pojavom računara i programskih paketa za rad sa dinamičkim geometrijskim sistemima pružila se mogućnost da se kretanje ovakvih tehničkih sistema vizuelizuje pomoću grafičkih konstrukcija. Uz pomoć interaktivnog geometrijskog programskog paketa Cinderella mogu se pratiti i dinamičke promene grafičkih postupaka analize i sinteze mehanizama; grafička konstrukcija nacrtana u ovom programskom paketu za neki od položaja mehanizma, zadržava pri pomeranju pogonskog člana sve postavljene relacije i trenutno se prilagođava svakom od narednih položaja mehanizma.*

*Ova publikacija i priloženi DVD imaju za cilj da studentima Mašinskih fakulteta i svima onima koji će u praksi ili istraživanjima težiti razvoju novih ili poboljšanju postojećih tehničkih rešenja, multimedijalnim i interaktivnim pristupom olakšaju savladavanje znanja iz oblasti nauke o mehanizmima i osposobe ih za primenu ovih znanja na konkretnim, praktičnim problemima. Na DVD-u je priložen interaktivni multimedijalni udžbenik u kome su korišćene prečice za aktiviranje multimedijalnih sadržaja predstavljenih animacijama i interaktivnih veb-stranica. Oznaka za animaciju (A) pored neke slike upućuje čitaoca da njenim selekovanjem može da se otvori odgovarajuća animacija koja se odnosi na mehanizam sa slike. Postavljanje kursora miša preko oznake za interaktivnu veb-stranicu (W) obezbeđuje otvaranje odgovarajuće veb-stranice gde čitalac može samostalno da menja parametre mehanizma i ručno pomera mehanizam i tako interaktivno koristi grafičke konstrukcije postupaka analize i sinteze mehanizama. Na grafičkim konstrukcijama, prikazanim na interaktivnim veb-stranicama, samo se tačke prikazane svetlocrvenom bojom mogu slobodno pomerati. Ove tačke se selektuju klikom na levi taster miša, a prevlačenje tačke po radnoj površini ekrana vrši se uz pritisnut levi taster miša. Tačke označene tamnocrvenom bojom nije moguće nezavisno pomerati pošto je njihov položaj striktno definisan presekom odgovarajućih geometrijskih elemenata realizovane grafičke konstrukcije.*

*Prema saznanju autora, sličnog udžbenika, koji bi opisanim pristupom pojednostavio upoznavanje sa ovom materijom, do sada nije bilo u svetskoj literaturi.*

*Da bi čitaoca osposobili za samostalno korišćenje interaktivnog geometrijskog programskog paketa Cinderella, u cilju grafičkog prikazivanja i analize sopstvenih rešenja ravnih polužnih mehanizama, u poslednjem poglavlju objašnjena je upotreba najvažnijih alata ovog programskog paketa na primeru grafičke konstrukcije polužnog četvorougla. Na taj način je tradicionalni pristup grafičkim metodama, zasnovan na korišćenju olovke, papira, lenjira i šestara, zamenjen savremenim, koji se bazira na upotrebi ekvivalentnih računarskih alata.*

*Izložena materija se zasniva na udžbeniku prof. dr Živote Živkovića iz koga se više desetina generacija studenata Mašinskog fakulteta u Nišu upoznavalo sa ovom atraktivnom oblašću tehnike. I sam interaktivni pristup ovoj materiji predstavlja rezultat višegodišnjeg uspešnog iskustva sa korišćenjem programskog paketa Cinderella u nastavi iz predmeta „Mehanizmi i mašine“ na Mašinskom fakultetu u Nišu, kao i pri izradi projektnih zadataka studenata. Kako programski paket Cinderella omogućava uspešno rešavanje dvodimenzionalnih zadataka geometrije, vizuelizacija kretanja mehanizama i dinamičkih promena grafičkih konstrukcija postupaka analize i sinteze ovim programom može se efikasno primeniti samo kod mehanizama čiji se članovi kreću u međusobno paralelnim ravnima, a interaktivnost korisnika sa vizuelnim prikazom najupečatljivije se ispoljava na primerima analize i sinteze polužnih mehanizama. Stoga izložena materija u ovoj knjizi prezentira samo deo programa predmeta „Mehanizmi i mašine“, koji se odnosi na ravne polužne mehanizme.*

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

*I pored činjenice da je za pripremu raznorodnog materijala (multimedijalnog, interaktivnog, štampanog) uloženo mnogo truda i vremena, postoji mogućnost da se u ovom udžbeniku potkrala i poneka greška. Sa željom da ovaj materijal doživi naredno, kvalitetnije izdanje, dobronamerne primedbe i sugestije čitalaca su dobrodošle.*

*U Nišu, juna 2012.*

*A u t o r i*



# POLUŽNI MEHANIZMI



## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1. Mašine i mehanizmi .....	1
1.2. Zadaci i metode nauke o mehanizmima i mašinama .....	2
1.3. Funkcije mehanizama. Osnovni pojmovi .....	4
1.4. Vrste mehanizama .....	9
<b>2. STRUKTURNA ANALIZA</b> .....	<b>11</b>
2.1. Kinematski parovi .....	11
2.2. Struktura mehanizama. Kinematska šema mehanizama .....	15
2.3. Stepen slobode kretanja. Pasivni članovi i veze .....	20
2.4. Strukturna analiza ravnih polužnih mehanizama .....	25
2.5. Četvoročlani polužni mehanizmi .....	27
2.5.1. Polužni četvorougao .....	27
2.5.2. Klipni mehanizam .....	31
2.5.3. Kulisni mehanizam .....	32
<b>3. KINEMATSKA ANALIZA RAVNIH POLUŽNIH MEHANIZAMA</b> .....	<b>37</b>
3.1. Trenutni pol. Inverzno kretanje .....	37
3.2. Grafičke metode pozicione i analize stanja brzina i ubrzanja .....	45
3.2.1. Poziciona analiza grafičkom metodom .....	45
3.2.2. Dva beskonačno bliska položaja pokretne tačke .....	46
3.2.3. Grafičke metode određivanja brzine .....	46
3.2.4. Grafička metoda određivanja prenosne funkcije prvoga reda .....	53
3.2.5. Tri beskonačno bliska položaja pokretne tačke .....	55
3.2.6. Grafičke metode određivanja ubrzanja .....	56
3.3. Analitičke metode pozicione i analize stanja brzina i ubrzanja .....	63
3.3.1. Poziciona analiza analitičkom metodom .....	63
3.3.2. Analiza brzina i ubrzanja analitičkom metodom .....	66

3.4. Programski paketi za kinematsku analizu mehanizama .....	70
3.5. Merni postupak određivanja kinematskih parametara mehanizama .....	74
3.6. Kinematika kretanja kroz tri beskonačno bliska položaja .....	76
3.6.1. Bresovi krugovi .....	76
3.6.2. Ojler-Savari-jeva jednačina .....	81
3.6.3. Određivanje tangente ruleta i centra krivine putanje pokretne tačke .....	86
3.6.4. Određivanje prevojnog i povratnog kruga spojke četvoročlanih mehanizama .....	89
3.6.5. Ekstremum prenosne funkcije prvoga reda .....	92
3.7. Putanje tačaka u ravni spojke. Teorema Robertsa i Čebiševa .....	93
<b>4. SINTEZA RAVNIH POLUŽNIH MEHANIZAMA .....</b>	<b>97</b>
4.1. Sinteza mehanizama za vođenje tela kroz zadate položaje .....	104
4.1.1. Vođenje tela kroz dva zadata položaja .....	105
4.1.2. Vođenje tela kroz tri zadata položaja .....	106
4.2. Sinteza mehanizama za prenos .....	116
4.2.1. Sinteza mehanizama za realizovanje zadatog hoda vođenog člana .....	116
4.2.2. Sinteza mehanizama kao generatora funkcije .....	122
4.2.2.1. Sinteza polužnog četvorougla kao generatora funkcije .....	123
4.2.2.2. Sinteza klipnog mehanizma kao generatora funkcije .....	127
4.2.2.3. Sinteza četvoročlanih mehanizama kada su zadate brzine i ubrzanja .....	128
<b>5. ANALIZA SILA I MOMENATA KOD POLUŽNIH MEHANIZAMA .....</b>	<b>131</b>
5.1. Sile i momenti .....	131
5.1.1. Pogonske sile i momenti. Pogonske mašine .....	132
5.1.2. Tehnološke sile i momenti .....	134
5.1.3. Sile i momenti u kinematskim parovima .....	135
5.2. Kinetostatička analiza polužnih mehanizama .....	137
5.2.1. Strukturna grupa druge klase .....	140
5.2.2. Strukturna grupa treće klase .....	144
5.2.3. Strukturna grupa prve klase .....	146
5.3. Ugao prenosa i ugao pritiska .....	148

## **6. GRAFIČKA KONSTRUKCIJA MEHANIZMA U PROGRAMSKOM PAKETU**

<b>CINDERELLA .....</b>	<b>151</b>
6.1. Osnove programskog paketa Cinderella .....	151
6.1.1. Traka sa menijima .....	154
6.1.2. Traka sa opštim alatima .....	155
6.1.3. Traka sa geometrijskim alatima .....	155
6.1.4. Traka sa alatima za upravljanje pogledom .....	159
6.2. Konstrukcija polužnog četvorougla u programskom paketu	
Cinderella .....	160
6.2.1. Konstrukcija krivaje .....	160
6.2.2. Dodavanje spojke i balansijera .....	161
6.2.3. Pomeranje mehanizma .....	164
6.2.4. Animacija mehanizma .....	166
6.2.5. Grafički prikaz putanje tačke .....	167
<b>PRILOG .....</b>	<b>169</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>172</b>



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 Miloš Milošević rođen je 14. januara 1969. godine u Nišu. Osnovnu i srednju školu završio je u Nišu.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu diplomirao je 1993. godine na smeru Automatsko upravljanje. Magistarsku tezu odbranio je 1998. godine, a 2006. godine odbranio je doktorsku disertaciju.

Od 1994. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao saradnik u zvanju asistent pripravnik i od 1999. godine u zvanju asistent na grupi predmeta Precizno mašinstvo. Od 2006. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu kao nastavnik u zvanju docent, od 2012. godine u zvanju vanredni profesor i od 2017. godine u zvanju redovni profesor za užu naučnu oblast Mehatronika.

Govori engleski jezik.

Autor je ili koautor većeg broja naučnih radova publikovanih u časopisima i zbornicima radova konferencija iz oblasti Teorije mašina i mehanizama, Mehatronike i Mehatroničkih sistema kod motornih vozila.