

## NOVE KONSTRUKCIJE ZUPČASTIH KAIŠEVA

Blaža Stojanović, dipl.maš.ing, Mašinski fakultet  
Kragujevac

### Rezime

Savremena stremljenja konstruktora uslovljena tržišnim zahtevima za porastom nosivosti, smanjenje šuma i prođenjem radnog veka trajanja rezultirala su razvojem novih konstrukcija zupčastih kaiševa. Poboljšanja su dobijena iznašenjem optimalne forme zuba i primenom novih materijala. Novi kaiševi se sastoje od samo dve komponente, poliuretana otpornog na habanje i vučnog elementa od poboljšanog čelika. Kombinacijom ove dve komponente dobijen je kaiš visoke čvrstoće na smicanje i malog elastičnog izduženja.

Ključne reči: zupčasti kaiš

### 1. UVOD

Zupčasti kaišni prenosnici predstavljaju relativno novu koncepciju u prenosu snage, danas prihvaćenu u svim oblastima industrije. To je zapravo kombinacija lančanog i zupčastog prenosa. To su u osnovi pljosnati kaiševi sa serijom jednakih prostornih zuba unutar temenog prečnika.

Zupčasti kaiš prenosi obrtni moment oblikom. Ravnometerno raspoređeni zubi sa unutrašnje strane zupčastih kaiševa svojim međuzubljima dolaze u kontakt sa Zubima kaišnika i na taj način, sprezanjem, ostvaruje se veza kaiša i kaišnika i prenosi obrtni moment.

Prenošenje snage zupčastim kaiševima poseduje niz dobroih osobina /1/:

- malo klizanje, konstantnu brzinu;
- jeftino održavanje, jer zbog odsustva dodira metala po metalu nema potrebe za podmazivanjem;
- mogućnost prenošenja snage u širokom opsegu, preko 400 kW;
- malo opterećenje na ležišta konstrukcije;
- širok opseg brzina, od 0.5 m/s do preko 33 m/s;

- kompaktnost konstrukcije, uslovljena malim osnim rastojanjem, malom širinom kaiša i mogućnošću prenošenja velikih snaga;
- mogućnost prenošenja snage na veći broj vratila istovremeno;
- malo zagrevanje;
- mirniji rad u periodu uhodavanja;
- malu masu konstrukcije, što je ponekad kritičan faktor (konstrukcija aviona, ručnih uredaja i slično);
- tačan kinematski prenosni odnos ( $i=\text{const}$ );
- relativno nizak nivo šuma;
- vrlo visok stepen iskorišćenja ( $\eta=0.99$ )

Zupčasti kaišni prenosnici imaju široku primenu u industriji. Primenjuju se počevši od računskih mašina, kompjutera i instrumenata, preko mašina alatki, pumpi i kompresora, do teških industrijskih postrojenja.

Nedostaci zupčastih kaišnih prenosnika su:

- skupa izrada;
- osetljivost na prodor stranih tela (mogućnost oštećenja pri sprezanju);
- može doći do preskakanja zuba.

Uprkos prednostima u radu prenosnici sa zupčastim kaišom su tek relativno skoro dobili veliku primenu. Tek posle primene zupčastih kaiševa u pogonu bregaste osovine motora sa unutrašnjim sagorevanjem, postala je očigledna svrshodnost njihove primene. Popularnost zupčastih kaiševa u automobilskoj industriji ubrzala je njihovo korišćenje u ostalim granama industrije. Danas zupčasti kaiševi nalaze sve veću primenu, posebno od trenutka pojave i razvoja tehnologije izrade poliuretanskih kaiševa. Tržište predlaže kaiševe neograničene dužine i sa neograničenim brojem zuba.

### 2. PODELA ZUPČASTIH KAIŠEVA

U eksploataciji se nalaze različiti zupčasti kaiševi koji se razlikuju po nameni konstrukcije, tehnologiji izrade, materijalu, profilu zuba i sl. Javljuju se pokušaji standardizacije konstrukcija zupčastih kaiševa. Međutim do danas ovi pokušaji su bili bezuspešni, jer su ovi kaiševi relativno novi, njihove konstrukcije su specijalne i dimenzije kaiševa se određuju u različitim sistemima, što otežava njihovo poređenje.

Zupčaste kaiševe možemo podeliti prema više kriterijuma, i to:

➤ Prema nameni:

1. Zupčasti kaiševi za energetske mašine. To su beskonačni kaiševi sa spiralnim vučnim elementom. Oni se koriste kao transmisija za prenos snage između vratila. Primenjuju se u strugovima, pilanama, mlinovima, pekarima. Oni se takođe primenjuju za pogon klipova, kompresora i poligrafskim uredajima.

Zupčasti kaiševi se koriste kod prenosnika velikih brzina za pogon točila, mašina za tkanje, centrifuga, tekstilnim i drvnoprerađivačkim mašinama. Maksimalna dužina kaiša je 22 [m].

2. Zupčasti kaiševi za stepene transmisije i pozicione sisteme. Njihovi vučni elementi raspoređeni su paralelno sa bočnim ivicama. Koriste se za realizaciju linearne pomeranja. Zupčasti kaiševi za male transmisije, stepene transmisije i pozicione sisteme primenjuju se u uređajima za regulaciju i kontrolu mašina za valjanje metala, energetskim uređajima i hemijskim postrojenjima. Dužina kaiša nije ograničena.

3. Specijalni zupčasti kaiševi. Za specijalne uslove rada primenjuju se specijalno izrađeni kaiševi. Kaiševi sa zubima na obe strane preporučuju se za reverzibilne prenosnike. Kaiševi sa modifikovanom leđnom površinom mogu se koristiti u svojstvu transporteru za prenošenje sirovina i gotovih proizvoda. Pored toga, izrađuju se zupčasti kaiševi koji su otporni na visoke temperature, a takođe i kaiševi otporni na maziva i elektro-otporni kaiševi.

➤ Prema tehnologiji izrade:

1. Zupčasti kaiševi dobijeni livenjem pod pritiskom. Zupčasti kaiševi koji se izrađuju ovom metodom sastoje se iz dve komponente – kaiša sa zubima i vučnog elementa koji je opterećen na istezanje i koji prima radno opterećenje. Kaiš se izrađuje od plastičnih masa ili gume specijalnog sastava, s tim što oba materijala moraju biti visoke otpornosti na habanje. Vučni element se izrađuje iz tanke čelične žice ili polieteričnog korda i nalazi se u telu kaiša. Kod veoma malih kaiševa izduženje se kontroliše pomoću vučnog elementa. Kokila za livenje kaiša treba da obezbedi standardne dimenzije i minimalne tolerancije oblika zuba za ravnometerno prenošenje snage. Zubi kaiša treba da imaju tačan oblik i da budu tačno raspoređeni, da bi obezbedili i garantovali kvalitetno sprezanje sa zubima kaišnika.

2. Zupčasti kaiševi dobijeni vulkanizacijom. Zupčasti kaiševi se izrađuju sa vučnim elementom koji je zatvoren u telo kaiša i sa vlaknastom prevlakom zuba. Telo kaiša (zubi i leđna površina) se izrađuju od sintetičke smese gume otporne na habanje koja čuva vučni element. Ovaj sastav treba da bude čvrst i da poseduje dimenzionalnu stabilnost, da bi zubi pouzdano primili presečne sile. Zaštitna prevlaka zuba se izrađuje od najlona otpornog na habanje, koji ima mali koeficijent trenja i čuva zube i kaiš od habanja. Prevlaka takođe smanjuje šum pri radu kaišnog prenosnika. Telo kaiša, vučni element i prevlaka kaiša spajaju se u celinu u kokili u procesu vulkanizacije.

3. Zupčasti kaiševi dobijeni estrudiranjem. Neki zupčasti kaiševi se izrađuju metodom estrudiranja. U tom slučaju se dobijaju odsečci kaiša čiji se krajevi mogu spajati među sobom i pri tome se dobija kaiš bilo koje dužine. Odsečci kaiša imaju paralelne vučne elemente u obliku čelične žice ili polieteričnog vlakna. Takođe poseduju najljonske prevlake zuba ili leđne površine (ili oba elementa). Zupčasti kaiševi sa neprekidnim namotanim metalnim vučnim elementima,

bez spajanja, izrađuju se u bilo kojoj dužini do 25,5 [m]. Slični kaiševi, koje izrađuje firma "Plastimatic" (USA), primenjuje se pre svega kod prenosnika sa velikim momentom i brzinama /2/. Telo kaiša i zuba izrađuju se metodom estrudiranja od poliuretana.

➤ Prema mernim jedinicama:

1. Zupčasti kaiševi čije su dimenzije date u [mm]-metrički sistem. Osnovni parametar ovih kaiševa predstavlja modul ili korak koji je dat u [mm].
2. Zupčasti kaiševi čije su dimenzije date u inčima [ " ]. Ovi kaiševi se uglavnom izrađuju od neoprena, a osnovni parametar predstavlja korak u [ " ].

Obe vrste kaiševa nisu kompatibilne među sobom.

➤ Prema materijalu:

Za izradu zupčastih kaiševa koriste se sledeći materijali /3/:

- Prirodni kaučuk (guma)
- Neopren
- Poliuretan (uretan)

Osnovne karakteristike ovih materijala su:

Prirodna guma:

- velika elastičnost,
- lako oblikovanje,
- veliki koeficijent trenja,
- visoka granica jačine kidanja,
- malo habanje,
- širok temperaturski opseg (posebno niske temperature),
- mala otpornost na ulja i rastvarače, posebno na ketone i alkohol i
- prirodna guma je podložna oksidaciji.

Neopren:

- velika elastičnost,
- širok temperaturski opseg (posebno visoke temperature)
- dobra otpornost na spoljašnje uticaje (pogodan za otvorene prenosnike) i
- slaba otpornost na ulje i rastvarače

Poliuretan:

- visoka otpornost na habanje,
- mali koeficijent trenja,
- dobra otpornost na ulja i oksidaciju,
- širok temperaturski opseg (posebno niske temperature),
- mala otpornost na visoke temperature

➤ Prema obliku profila zuba:

- trapezni,
- polukružni (krivolinijski),
- polukružni sa ravnim vrhom,
- trouglasti (testerasti),
- kaiš sa optimizovanim zaobljenim profilom i td.

Većina ovih zupčastih kaiševa se pravi u dvostranoj konstrukciji, sa zubima na obe strane kaiša.

### 3. NOVE KONSTRUKCIJE ZUPČASTIH KAIŠEVA

Savremena streljenja konstruktora uslovljena tržišnim zahtevima za porastom nosivosti, smanjenje šuma i produženjem radnog veka trajanja rezultirala su razvojem novih konstrukcija zupčastih kaiševa. Poboljšanja su dobijena iznalaženjem optimalne forme zuba i primenom novih materijala. Novi kaiševi se sastoje od samo dve komponente, poliuretana otpornog na habanje i vučnog elementa od poboljšanog čelika. Kombinacijom ove dve komponente dođen je kaiš visoke čvrstoće na smicanje i malog elastičnog izduženja.

Prema obliku profila razlikujemo sledeće zupčaste kaiševe /4/:

- ATP zupčasti kaiš,
- BAT zupčasti kaiš sa krivim zubima,
- AT zupčasti kaiš,
- T zupčasti kaiš,
- SFAT zupčasti kaiš sa pomerenim zubima,
- ATK/TK kombinovani zupčasti kaiš i
- K trouglasti (testerasti) zupčasti kaiš

#### ATP zupčasti kaiš

Osnovni koncept novog ATP profila je podela trapeznog zuba na dva nezavisna zuba (sl. 1). Primenom poliuretana i vučnog elementa od poboljšanog čelika povećana je otpornost na zamor i smanjeno izduženje kaiša. Vučne performanse su povećane za 60 %, šuma smanjen za 10 dB i radni vek produžen zahvaljujući:

- povećanju kontaktne površine za 70%,
- ravnomerno raspodeli opterećenja,
- poboljšanoj raspodeli snage,
- smanjenju poligon efekta,
- smanjenoj konstrukcionalnoj širini i
- optimalnom sprezanju zuba.



SL. 1. ATP zupčasti kaiš

Za sada se zupčasti kaiševi ove vrste izrađuju sa koracima 10 i 15 [mm]. ATP zupčasti kaiševi se najčešće primenjuju u mašinama alatkama, građevinskim mašinama i prenosnicima velikih snaga.

#### BAT zupčasti kaiševi sa krivim zubima

U cilju smanjenja buke i povećanja vučnih karakteristika nastao je novi profil zupčastih kaiševa sa krivim zubima

(sl. 2). U osnovi je to zupčasti kaiš sa trapeznim profilom zuba, gde su zubi kaiševa postavljeni lučno. Ovaj zupčasti kaiš se izrađuje samo sa korakom 10 [mm].



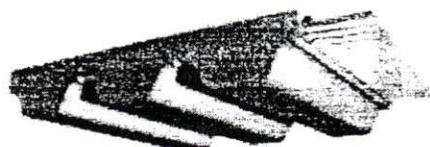
Sl. 2. BAT zupčasti kaiš

BAT zupčasti kaiševi se najčešće primenjuju u građevinskim i tekstilnim mašinama.

#### AT zupčasti kaiš

Kaiš sa optimizovanim zaobljenim profilom AT (sl. 3) odlikuje se povećanom, više od 30 %, prenesenom specifičnom snagom u poređenju sa kaiševima sa trapeznim profilom zuba "T". Povećanje poprečnog preseka zuba (veća širina zuba) i srazmerno pojačan vučni element (od poboljšanog čelika) omogućavaju korišćenje AT kaiševa kod prenosnika gde je potreban precizan prenos obrtnog kretanja, a takođe i kod prenosnika sa linearnim pomeranjem gde je potrebno tačno pozicioniranje.

Izrađuju se sa korakom od 3, 5, 10 i 20 [mm].



Sl. 3. AT zupčasti kaiš

Primenjuju se u alatnim, tekstilnim, štamparskim i građevinskim mašinama. Njihova primena je široka i u funkciji je veličine koraka.

#### T zupčasti kaiš

Trapezni poliuretanski kaiševi se izrađuju prvenstveno u metričkim jedinicama po DIN 7721, sa koracima 2, 2.5, 5, 10 i 20 [mm] (sl. 4). Izrađuju se i u dvostranoj konstrukciji. Njihova primena je ista kao kod trapeznih kaiševa čije su dimenzije date u inčima.



Sl. 4. T zupčasti kaiš

#### SFAT zupčasti kaiš

SFAT profil predstavlja u osnovi trapezni profil sa zubima postavljenim u dva nezavisna koloseka (sl. 5). Ova dva koloseka su pomerena za polovinu veličine koraka i

međusobno su povezana. Primena ovih kaiševa ne zahteva konstrukciju obodnih prstenova kod zupčastih kaiševa. Osnovna karakteristika ovih kaiševa je smanjena buka.

Izrađuju se sa koracima 10 i 20 [mm].



Sl. 5. SFAT zupčasti kaiš

SFAT kaiševi se najčešće primenjuju u mašinama alatkama, građevinskim, tekstilnim i štamparskim mašinama i prenosnicima velikih snaga.

#### ATK/TK kombinovani zupčasti kaiš

Zupčasti kaiš ovog profila predstavlja kombinaciju trapeznog zupčastog kaiša i klinastog kaiša (sl. 6). Vučne karakteristike ovog kaiša su povećane, tako da se prvenstveno koristi za prenošenje transportnog materijala. Ovakva konstrukcija kaiševa ne zahteva upotrebu obodnih prstenova kod zupčastih kaiševa.

Ovaj zupčasti kaiš se izrađuje samo sa korakom 10 [mm].



Sl. 6. ATK/TK kombinovani zupčasti kaiš

ATK/TK kombinovani zupčasti kaiš se najčešće primenjuju u rudarskim i građevinskim mašinama.

#### K trouglasti (testerasti) zupčasti kaiš

K trouglasti (testerasti) zupčasti kaiš predstavlja novu konstrukciju sa uglom profila  $\beta = 70^\circ$ . Izrađuje se sa koracima 1 i 1.5 [mm] (sl. 7). Posebnu primenu nalazi kod kancelarijskih mašina (štampača, plotera), fotoaparata, radio i video uređaja.

Ovaj kaiš poseduje sledeće osobine:

- malu masu,
- veliku otpornost na habanje,
- veliku fleksibilnost,
- dobru otpornost na ulja i
- jeftino održavanje.



Sl. 7. K trouglasti (testerasti) zupčasti kaiš

Osnovni parametri (dopuštena snaga, maksimalni broj obrtaja, maksimalna obimna brzina, minimalni broj zuba kaišnika i težina na 10 mm širine) novih kaiševa dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni parametri novih zupčastih kaiševa

Oznaka kaiša	Snaga P [kW]	Broj obrtaja n [ $\text{min}^{-1}$ ]	Obimna brzina V [m/s]	Broj zuba kaišnika $z_1$	Težina na 10 mm širine [kg/m]
AT 3	$\leq 5$	20000	80	15	0.023
AT 5	$\leq 15$	10000	80	15	0.034
AT 10	$\leq 70$	10000	60	15	0.063
AT 20	$\leq 200$	6500	40	18	0.106
ATP 10	$\leq 100$	10000	60	15	0.060
ATP 15	$\leq 200$	8000	50	20	0.082
SFAT 10	$\leq 70$	10000	60	15	0.058
SFAT 20	$\leq 200$	6500	40	18	0.096
BAT 10	$\leq 70$	10000	60	15	0.058
ATK/TK 10	$\leq 70$	10000	60	15	0.058
T 2	$\leq 0.5$	20000	80	10	0.011
T 2.5	$\leq 0.5$	20000	80	10	0.015
T 5	$\leq 5$	10000	80	10	0.024
T 10	$\leq 30$	10000	60	12	0.048
T 20	$\leq 100$	6500	40	15	0.084
K 1	$\leq 0.5$	20000	80	10	0.011
K 1.5	$\leq 0.5$	20000	80	10	0.011

Standardne širine novih kaiševa date su u tabeli 2.

Tabela 2. Standardne širine zupčastih kaiševa

Oznaka kaiša	ŠIRINA KAIŠA [mm]						
	4	6	8	10	12	16	20
AT 3	x	x	x	x	x	x	x
AT 5	x	x	x	x	x	x	x
AT 10				x	x	x	x
AT 20							
ATP 10				x		x	x
SFAT 10							
SFAT 20							
BAT 10							
ATK/TK 10							
T 2	x	x	x	x	x	x	x
T 2.5	x	x	x	x	x	x	x
T 5	x	x	x	x	x	x	x
T 10				x	x	x	x
T 20							x
K 1	x	x	x	x			
K 1.5	x	x	x	x	x	x	x

Tabela 2. Standardne širine zupčastih kaiševa-nastavak

Oznaka kaiša	ŠIRINA KAIŠA [mm]					
	25	32	50	75	100	150
AT 3	x	x				
AT 5	x	x	x			
AT 10	x	x	x	x	x	x
AT 20	x	x	x	x	x	x
ATP 10	x	x	x	x	x	
SFAT 10			x	x	x	
SFAT 20			x	x	x	
BAT 10	x	x	x	x	x	
ATK/TK 10			x	x	x	
T2						
T 2.5						
T 5	x	x	x	x	x	
T 10	x	x	x	x	x	
T 20	x	x	x	x	x	
K 1						
K 1.5						

## 5. ZUPČASTI KAIŠNICI

Kaišnici predstavljaju veoma važne i odgovorne delove zupčastog kaišnog prenosa. Od pravilnog izbora, konstrukcije i kvaliteta izrade kaišnika u mnogome zavisi sinhronost prenosa i nivo eksplotacionih karakteristika /1/.

Po svojim konstrukcionim karakteristikama zupčasti kaišnici se razlikuju među sobom kao i zupčasti kaiševi. Sastoje se od određenog broja jednakih međuzublja, koja omogućavaju korektno sprezanje sa kaišem. Kaišnici se konstruišu tako da zubi kaiša ulaze i napuštaju međuzublje sa zanemarljivim trenjem.

Međuzublje se izrađuje sa zazorom. Zazor olakšava ulaz i izlaz zuba kaiša iz sprezanja, kompenzira nagomilane greške temenog prečnika, greške profila međuzublja i zuba kaiša, a takođe i iskošenja osa vratila prenosnika.

Po svojim konstrukcionim oblicima zupčasti kaišnici se prave u više različitih izvedenja. Oni se sastoje iz:

- venca,
- glavčine i
- ploče ili paoka, koji spajaju venac sa glavčinom.

Prave se sa ili bez obodnih prstenova, kao i sa simetričnom ili asimetričnom glavčinom.

Venac je spojen glavčinom, pločom koja može biti iste debeline kod najmanjih kaišnika (do 100 [mm]). Kod većih kaišnika ploča je tanja od venca i izrađuje se sa simetrično izbušenim rupama, radi smanjenja težine, kao i lakšeg prihvatanja kaišnika pri obradi. Vezivanje venca i glavčine paocima preporučljivo je kod većih prečnika (preko 300[mm]).

Kaišnici se izrađuju od različitih materijala otpornih na habanje: čelika, livenog gvožđa, aluminijumskih legura, plastičnih masa – u zavisnosti od dimenzija kaišnika i uslova korišćenja. Pri veliko-serijskoj proizvodnji kaišnici se često izrađuju od cinka ili aluminijumskog liva.

U poslednje vreme sve je češća primena plastičnih masa: LEXAN 500, FIBERGLASS (ojačani) i DELRIN 500.

Zupčasti kaišnici kompanije MULCO za najnovije profile kaiševa izrađeni su od aluminijumskih legura (AlCuMgPb, AlZnMgCu0.5-F48) /4/.

Obodni prstenovi se najčešće prave od ugljeničnog čelika ili aluminijuma i njegovih legura.

Zupčasti kaišnici od plastičnih masa i lakih legura obično se izrađuju livenjem pod pritiskom. Zubi kaišnika se narezaju profilisanim glodalom. Pravolinijski deo profila zuba kaišnika se dobija odgovarajućim profilisanim zubima glodala. Za olakšavanje ulaza zuba kaišnika u spregu sa kaišnikom, glava zuba kaišnika je zaobljena. Zubi kaišnika za kaiševe do 12.7[mm], usled male visine, mogu se narezivati pužastim (odvalnim) glodalima sa pravolinijskim profilom.

Tačnost koraka kaišnika, mala hrapavost površina i pravilan oblik zuba garantuju bešuman rad prenosnika i dug radni vek kaiša.

## 6. ZAKLJUČAK

Zupčasto kaišni prenosnici predstavljaju relativno nove prenosnike konstruisane 50-tih godina dvadesetog veka. Njihov oblik (profil zuba) kao i materijali od kojih se izrađuju još uvek se menjaju. S obzirom da se kretanje kaiša duž obvojnog ugla kaišnika odvija po mnogougaonim profilu, iznalaženjem optimalnog profila zuba smanjuje se tzv. "poligon" efekat i opterećenje se ravnomernije raspoređuje na sve zube u sprezi. Kod trapeznih profila zuba najveće opterećenje nosi prvi zub u sprezi, s obzirom da se kontakt najpre ostvaruje u tački. Najnoviji ATP profili (MULCO) smanjuju neravnomernost raspodele opterećenja, zahvaljujući tome što se u kontaktu istovremeno nalaze tri zuba. Samim tim povećava se radni vek prenosnika.

Pri proizvodnji zupčastih kaiševa najpre su se koristili guma i čelični ili vučni element od fiberglasa. Danas sve veću upotrebu nalaze poliuretan (uretan) i neopren. Novi materijali se odlikuju povećanom otpornošću na habanje i širokim temperaturskim opsegom upotrebe.

U okviru rada dat je pregled najnovijih profila najvećih i najpoznatijih svetskih proizvođača (MULCO, BRECO, CONTITECH).

Trend razvoja zupčastih kaiševa ogleda se u tome da se pogodnom kombinacijom oblika profila zuba i materijala kaiša dobiju:

- veća nosivost,
- duži radni vek i
- ravnomernija raspodela opterećenja

## LITERATURA

- /1/ TANASIJEVIĆ S, *Mehanički prenosnici: lančani prenosnici, zupčasti kaišni prenosnici, kardanski prenosnici*, Jugoslovensko tribološko društvo, Mašinski fakultet Kragujevac, 1994 god.
- /2/ *Toothed belt drives*, Mech. Eng., 1987, 109, № 4, 36-39.
- /3/ *World of Timing Belts*, Stock drive products, New York, 1998.
- /4/ *Katalozi firmi Mulco, Bando, Gates, Dayco, Goodyear, Breco, Flender, Contitech*

## NEW DESIGN TIMING BELTS

Blaža Stojanović, B.Sc, faculty of mechanical engineering,  
Kragujevac

### Summary

Timing belts are made of wear resistant polyurethane and high tensile strength steel cord tension members. The combination of these two high materials forms the basic for precise dimension and high load bearing properties of the polyurethane timing belt. New timing belts feature an exceptional span rigidity thanks to their embedded steel cord, i.e. no post-elongation.

Keywords: timing belts

Adresa za kontakt:

Blaža Stojanović, dipl. maš. ing.  
Mašinski fakultet Kragujevac  
34000 Kragujevac  
Sestre Janjić 6

E-mail: blaza@kg.ac.yu