

SERBIATRIB`07
10th International Conference on Tribology
and
WORKSHOP`07
Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge

**PROMENA KORAKA ZUPČASTIH KAIŠEVA
U PERIODU EKSPLOATACIJE**

Blaža Stojanović, dipl.maš.inž, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Srbija

***Rezime:** Zupčasto-kaišni prenosnici predstavljaju relativno nove prenosnike koji se javljaju u drugoj polovini 20. veka. Prenos snage i kretanja sa pogonskog na gonjeni kaišnik vrši se preko bočnih površina zuba kaiša, a delimično trenjem između zuba kaiša i međuzublja kaišnika*

U ovom radu data je analiza tribomehaničkog sistema zub kaiša – zub kaišnika, i analiza promene koraka zupčastog kaiša u periodu eksploatacije. Ispitivanje triboloških karakteristika zupčastog kaiša izvršeno je na namenski konstruisanom i napravljenom probnom stolu u laboratoriji za Mašinske konstrukcije i mehanizaciju na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

***Ključne reči:** Zupčasto-kaišni prenosnici, korak kaiša, trenje, habanje*

**PITCH VARIATION OF TIMING BELTS
DURING EXPLOITATION**

***Summary:** Timing belt transmitters are relatively new transmitters that have been developed in the second half of the 20th century. Transmission of power and motion from a drive pulley to a driven pulley is achieved across the side surfaces of the belt teeth, and partially through friction between the belt teeth and hollows between the teeth of the pulley.*

Analysis of tribomechanical system «belt tooth – pulley tooth» and analysis of the variation of pitch of timing belt during exploitation are given in the paper. Testing of tribological characteristics of the timing belt was conducted on a test bench, designed and specially made for this purpose, at the Laboratory for Machine Constructions and Mechanisation of the Faculty of Mechanical Engineering from Kragujevac.

***Keywords:** Timing belt transmitters, pitch belt, friction, wear*

1. UVOD

Zupčasto kaišni prenosnici predstavljaju relativno novu koncepciju u prenosu snage, danas prihvaćenu u svim oblastima industrije. To je zapravo kombinacija lančanog i zupčastog prenosa, sa prednostima koje poseduje kaišni prenos. To su u osnovi pljosnati kaiševi sa serijom jednakih prostornih zuba unutar temenog prečnika [1].

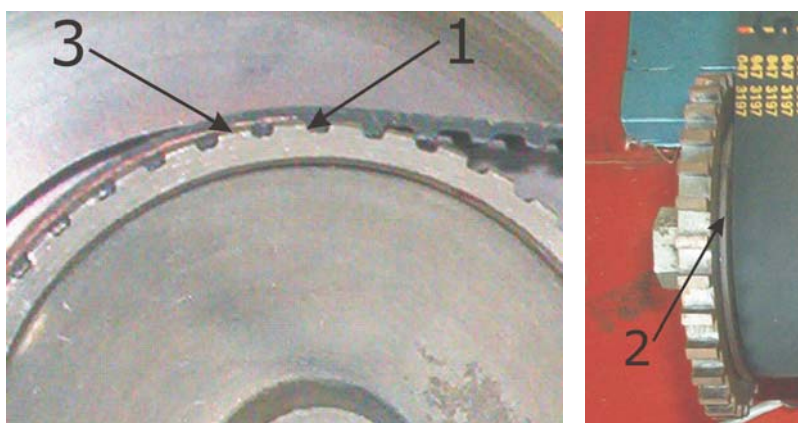
2. TRENJE U ZUPČASTIM KAIŠEVIMA

Najveći deo kretanja i snage prenosi se oblikom, dok se samo jedan mali deo prenosi trenjem. Uticaj trenja u svakom slučaju nije zanemarljiv.

Pojava trenja u zupčasto-kaišnom prenosniku, kao i njegove posledice nisu dovoljno razjašnjene. Za razliku od ostalih prenosnika snage i kretanja (zupčanika, lančanih prenosnika, kardanskih prenosnika i td.) gde se trenje uglavnom javlja pri kontaktu dve metalne površine, kod zupčastih kaišnih prenosnika u kontaktu se nalaze metalna i nemetalna površina odnosno dve nemetalne površine [2].

Osnovni tribomehanički sistemi u zupčasto-kaišnom prenosniku su (slika 1):

1. zub kaiša – zub kaišnika
2. čelo kaiša – obodni prsten
3. međuzublje kaiša – teme zuba kaišnika



Sl. 1. Zupčasto-kaišni prenosnik i osnovni tribomehanički sistemi

U tabeli 1 date su vrste kretanja koje se javljaju u ovim tribomehaničkim sistemima.

Tabela. 1. Tribomehanički sistemi i vrste kretanja kod zupčastih kaišnih prenosnika

Tribomehanički sistem	Vrsta kretanja
zub kaiša - zub kaišnika	- udar - klizanje - kotrljanje
čelo kaiša - obodni prsten	- udar - klizanje
međuzublje kaiša - teme zuba kaišnika	- klizanje - kotrljanje

Pri sprezanju zuba kaiša sa zubom kaišnika u kontaktu se nalaze njihove bočne površine. U trenutku ulaza zuba kaiša u spregu sa kaišnikom najpre dolazi do kontakta po liniji. Početak sprezanja započinje udarom zuba kaiša u zub

kaišnika. Zub kaiša se, obzirom na svoje elastične osobine, deformiše i dolazi do povećanja kontaktne površine. Nakon povećanja površine kontakta i zaokretanja kaiša i kaišnika, zub kaiša počinje da klizi niz bočnu površinu kaišnika, pri čemu se javlja trenje kotrljanja sa klizanjem.

Vrednost sile trenja raste sa povećanjem puta klizanja, tako da svoju najveću vrednost ima u korenu zuba kaiša (slika 2). Istovremeno tačka delovanja rezultujuće komponente normalne sile pomera se od vrha zuba ka njegovom korenu. Normalna sila se menja po paraboličnom zakonu:

$$N_i = -\frac{N_{\max}}{l_i^2} \cdot (l - l_i)^2 + N_{\max}$$

gde su:

N_{\max} - maksimalna vrednost normalne sile

($N_{\max} \approx 1.5F_0 / z_{01}$) i

l_i - put trenja

Sila trenja koja se javlja na bočnoj površini zuba kaiša određuje se pomoću sledećeg izraza:

$$F_{ti} = N_i \cdot \mu = \frac{F_{oi} \cdot \mu}{\cos(\beta/2)}$$

gde su:

N_i - normalna sila koja deluje na zub kaiša,

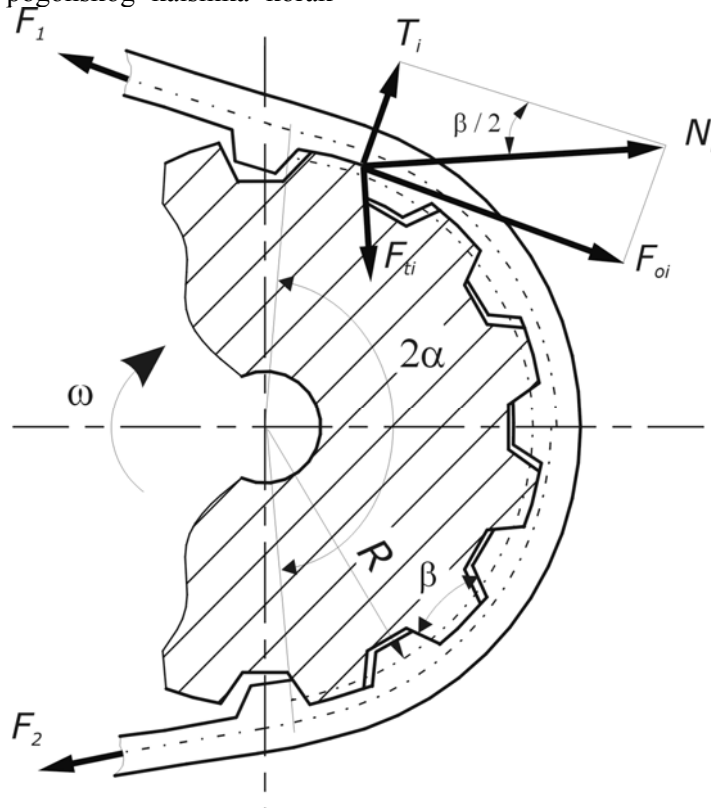
μ - koeficijent trenja,

F_{oi} - obimna sila koja deluje na zub kaiša i

β - ugao profila kaiša.

Pri kretanju kaiša duž obvojnog luka dolazi do promene pravca i smera sile trenja. Promenljiva sila duž obvojnog luka prouzrokuje promenu koraka kaiša. Kod pogonskog kaišnika korak

kaiša je na opterećenom delu veći od koraka kaišnika, što dovodi do klizanja kaiša u smeru obrtanja i tada sila trenja deluje u smeru sile zatezanja u vučnom ogranku kaiša. Kod gonjenog kaišnika na slobodnom ogranku korak kaiša je manji od koraka kaišnika, dok je na vučnom ogranku veći od njega. Ove razlike dovode do toga da sila trenja u blizini vučnog ogranka deluje u suprotnom smeru od smera obrtanja odnosno u pravcu sile u slobodnom ogranku.



Sl. 2. Sila trenja na bočnoj površini zuba kaiša

3. ISPITIVANJE ZUPČASTOG KAIŠA

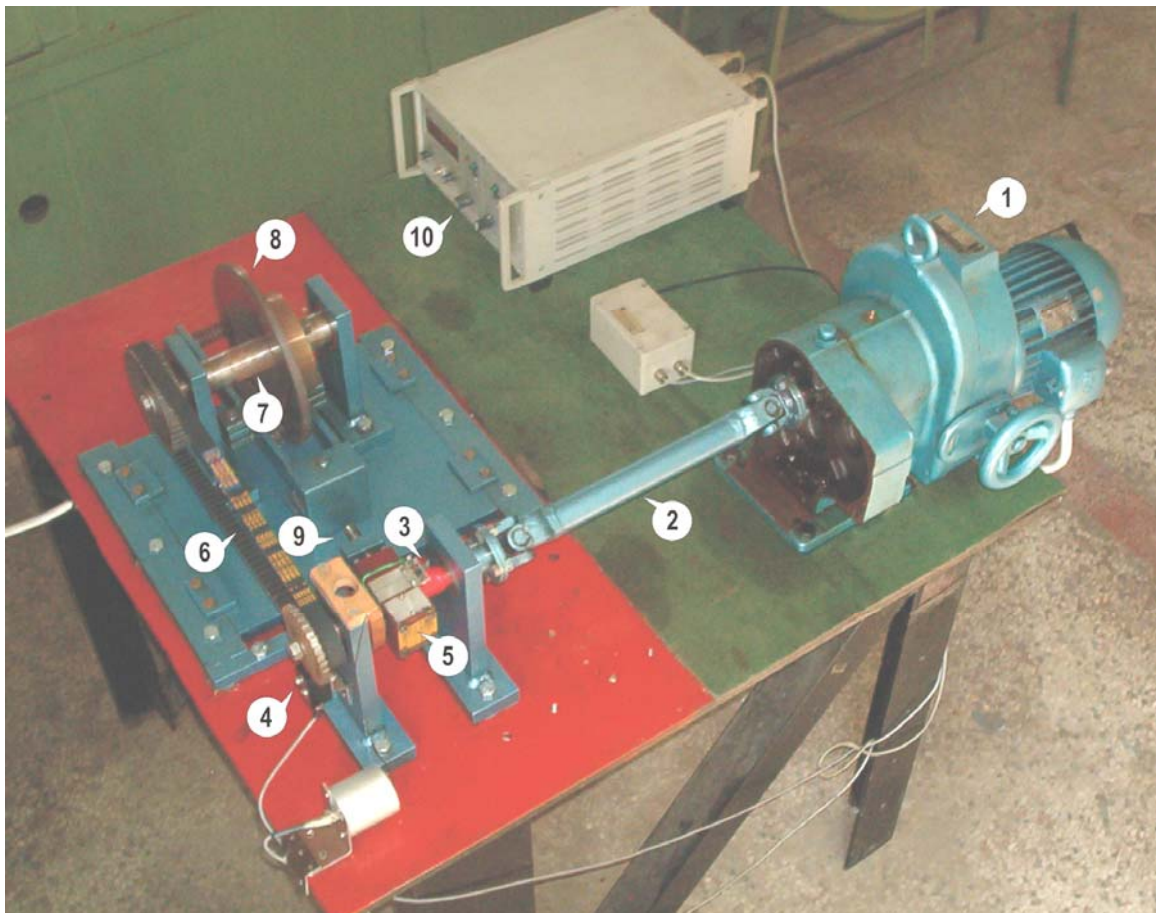
Ispitivanje zupčastog kaiša je sprovedeno na probnom stolu koji je namenski konstruisan i napravljen u laboratoriji za Mašinske konstrukcije i mehanizaciju. Probni sto radi na principu otvorenog kola snage.

Osnovni elementi probnog stola su :

1. pogonska mašina,
2. kardanski prenosnik,
3. merno (ulazno) vratilo,
4. davač broja obrtaja ulaznog vratila,

5. davač obrtnog momenta ulaznog vratila,
6. ispitivani prenosnik (zupčasto-kaišni prenosnik),
7. izlazno vratilo,
8. mehanička kočnica,
9. zatezni mehanizam i
10. pojačavački most,

Na slici 3 je prikazan probni sto sa osnovnim elementima.



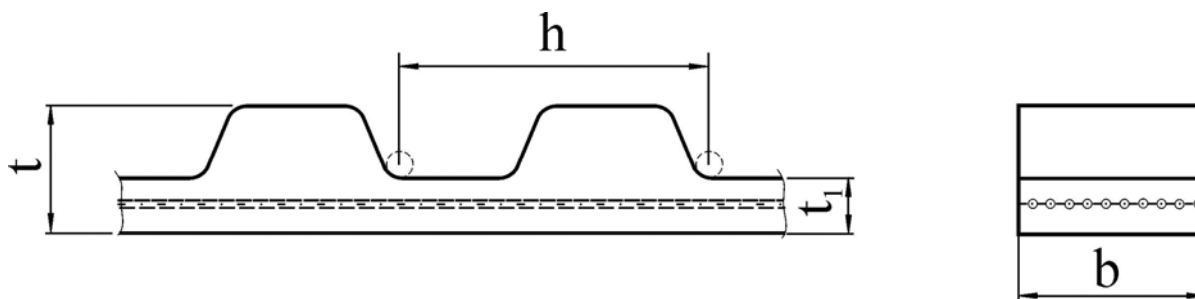
Sl. 3. Probni sto za ispitivanje zupčastog kaiša

Da bi se dobila prava slika o tribološkim karakteristikama zupčastog kaiša izvršeno je merenje parametara hrapavosti i određivanje geometrijskih veličina. Merenje ovih veličina vršeno je po unapred utvrđenoj dinamici. Pre

početka ispitivanja konstatovano je stanje kontaktnih površina kao i početne vrednosti geometrijskih veličina kaiša. Dalja merenja su vršena posle određenog vremena rada i prikazana su u tabeli 2.

Tabela 2. Vremenski intervali merenja parametara hrapavosti i geometrijskih veličina kaiša

Broj merenja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vreme rada [sati]	0	5	10	20	50	100	150	200	250	300



Sl. 4. Merene geometrijske veličine zupčastog kaiša

4. PROMENA KORAKA KAIŠA

Merenje geometrijskih veličina je vršeno u fabrici Zastava alati u Sektoru osiguranja kvaliteta

Da bi se dobila potpuna slika o njihovoj promeni, merenje je izvedeno na osam zuba kaiša. Pri tome su merene sledeće veličine (slika 4):

- korak kaiša (h),
- širina kaiša (b),
- debljina međuzublja (t_1) i
- ukupna visina kaiša (t).

Korak kaiša predstavlja rastojanje između centara dva uzastopna zuba i meri se na tzv.

liniji koraka. S obzirom na konstrukciono izvođenje kaiša i dostupnu aparaturu korak kaiša je meren u korenu zuba. Merenje je vršeno na optičkom mikroskopu ZEISS ZKM01-250C.

Promena koraka kaiša (Δh) se može prikazati pomoću izraza:

$$\Delta h = h - h_0$$

gde su:

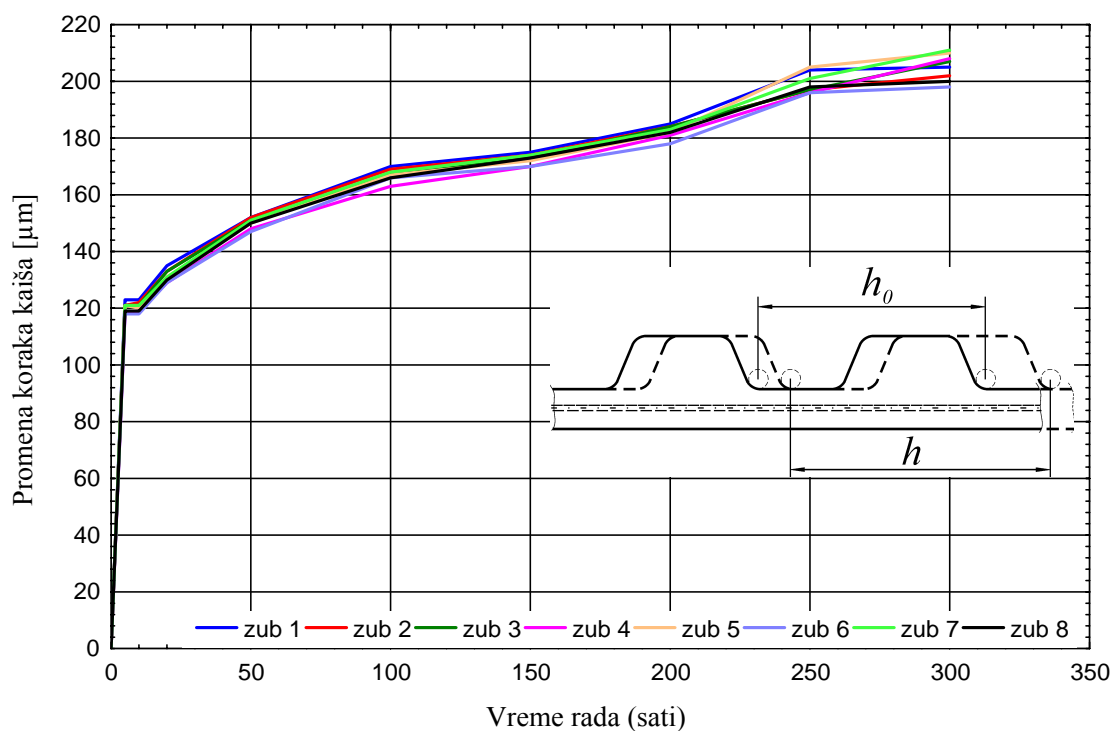
h - izmerena vrednost koraka kaiša u toku ispitivanja i

h_0 - početna vrednost koraka kaiša.

Rezultati merenja promene koraka kaiša u toku rada za svih osam zuba dati su u tabeli 3 i prikazani na slici 5.

Tabela 3: Promena koraka kaiša $\Delta h = h - h_0$ [μm]

Vreme rada (sati)	Δh							
	Zub kaiša							
	1	2	3	4	5	6	7	8
5	123	121	121	118	121	118	121	119
10	123	122	121	119	120	118	121	119
20	135	133	133	129	131	129	131	130
50	152	152	151	148	150	147	151	150
100	170	169	167	163	167	166	168	166
150	175	174	173	170	172	170	174	173
200	185	184	184	181	182	178	183	182
250	204	197	197	196	205	196	201	198
300	205	202	207	208	210	198	211	200



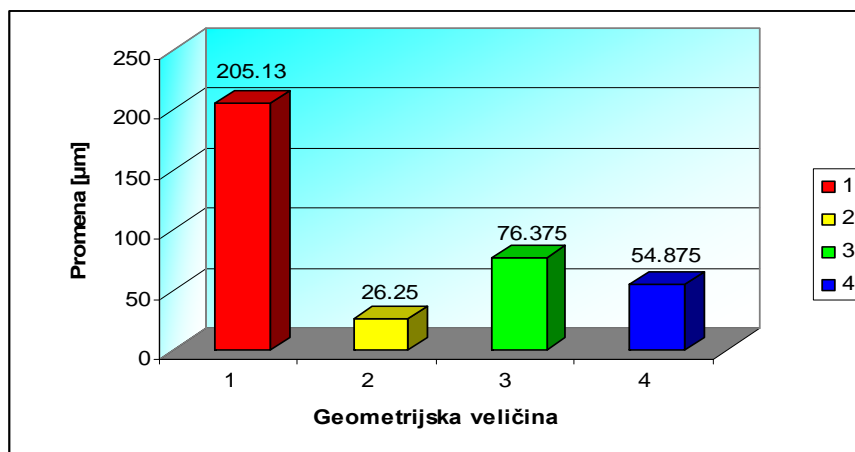
Sl. 5. Promena koraka kaiša u toku rada

5. ANALIZA TRIBOLOŠKIH PROCESA

U periodu uhodavanja dolazi do naglog povećanja koraka kaiša. Ovo povećanje nastaje kako usled plastičnih deformacija kaiša, tako i usled habanja bokova zuba. Pri tome je posebno naglašeno valjkasto habanje kaiša (poseban oblik habanja elastomera), što za posledicu ima odnošenje materijala sa zuba kaiša i povećanje koraka.

U periodu normalnog habanja koji se javlja posle ≈ 20 sati rada promena geometrijskih veličina je i dalje izražena. Nakon 20 sati rada korak kaiša se i dalje povećava. Promena koraka kaiša je izraženija u periodu od 20 do 50 sati, da bi nakon toga bila približno linearna. Rezultati dobijeni merenjem na svih osam zuba skoro da ne odstupaju jedan od drugog.

Kada je reč o vrednostima promena geometrijskih veličina njihove apsolutne srednje vrednosti su prikazane na slici 6.



Sl. 6. Srednje vrednosti promena geometrijskih veličina

1 - Korak kaiša

2 - Širina kaiša

3 - Ukupna visina kaiša

4 - Debljina međuzublja kaiša

Sa histograma se vidi da se najviše menja korak kaiša. Korak kaiša se izdužuje približno 0.2 [mm], što dovodi do povećanja dužine kaiša. Ukupno izduženje kaiša iznosi ~ 23 [mm]. Veliki deo ovog izduženja je posledica plastičnog deformisanja kaiša, odnosno izduženja vučnog elementa. Međutim 30% promene koraka kaiša izazvano je habanjem bočnih površina zuba. Izduženje koraka je najveće u periodu uhodavanja i iznosi $\sim 60\%$ ukupnog izduženja. U ovom periodu uglavnom dolazi do plastičnih deformacija. Na kraju perioda uhodavanja i u periodu normalnog habanja korak kaiša se prvenstveno menja usled valjkastog habanja bočnih površina zuba.

6. ZAKLJUČAK

Povećanje koraka kaiša nastaje usled plastičnih deformacija kaiša i valjkastog habanja bočnih površina zuba. Veliki deo ovog izduženja, približno 70%, je posledica plastičnog deformisanja kaiša, dok ostatak nastaje zbog valjkastog habanja bokova zuba kaiša. Učešće

valjkastog habanja u ukupnom izduženju kaiša raste sa povećanjem vremena rada zupčastog kaiša iz razloga što su plastične deformacije najizraženije u periodu uhodavanja. Promena koraka kaiša dovodi do poremećaja u radu zupčasto-kaišnog prenosnika. Naime, dolazi do promene raspodele opterećenja, smanjenja nosivosti i neravnomernosti u radu. Javlja se potreba za dodatnim zatezanjem kaiša što direktno utiče na radni vek prenosnika

LITERATURA

- [1] **Tanasijević S.:** Mehanički prenosnici: lančani prenosnici, zupčasti kaišni prenosnici, kardanski prenosnici, *Jugoslovensko tribološko društvo*, Kragujevac, 1994.
- [2] **Stojanović B.:** Trenje u zupčasto-kaišnim prenosnicima, *Zbornik radova: IRMES '04*, Kragujevac, 2004.