

ISPITIVANJE ZUP ASTIH KAIŠNIH PRENOSNIKA

Blaža Stojanovi¹⁾, Lozica Ivanovi¹⁾, Nenad Miloradovi¹⁾

Kategorija rada:
STRU NI RAD

AFILIJA CIJA/ADRESA:
1) Mašinski fakultet Kragujevac

Rezime: U radu je prikazana metodologija ispitivanja zup asto kaišnog prenosnika i analiza dobijenih rezultata. Ispitivanje je izvršeno na probnom stolu koji radi na principu otvorenog kola snage. Merni sistem ine opti ki mikroskop ZKM01-250C, digimar za merenje promene geometrijskih veli ina i TALYSURF 6, ure aj za analizu i merenje parametara hrapavosti površina. Merenje geometrijskih veli ina i parametara hrapavosti vršeno je po unapred utvr enoj dinamici u skladu sa planom merenja i ispitivanja. U drugom delu rada prikazani su dobijeni rezultati i data njihova analiza.

Klju ne re i: zup asti kaišni prenosnici, ispitivanje prenosnika, otvoreno kolo snage, merenje, trenje, habanje

1. UVOD

Kaišni i remeni prenosnici prenose snagu i kretanje sa pogonskog na gonjeno vratilo. Osnovni elementi kaišnog prenosnika su kaišnici (remenice) i kaiš (remen). Pogonski kaišnik dovodi u kretanje gonjeni kaišnik preko vu nog ogranka, dok je drugi ogrank slobodan.

Zup asto kaišni prenosnici za razliku od kaišnih i remenih prenosnika spadaju u sinhronne prenosnike, odnosno omogu avaju konstantni prenosni odnos. Prenos snage se viši oblikom, dok se samo jedan deo prenos i trenjem.

Zup asto kaišni prenosnik predstavlja relativno mlad prenosnik koji je konstruisao Richard Case, 1946. godine. To je bio gumeni kaiš sa trapeznim profilom zuba. Tek posle primene zup astih kaiševa u pogonu bregaste osovine motora sa unutrašnjim sagorevanjem, postala je o igledna svrshodnost njihove primene. Prenos snage zup astim kaišem poseduje niz dobrih osobina: malu masu, malo klizanje, jeftino održavanje, laku zamenu, visok stepen korisnog dejstva, nizak nivo buke i td. Me utim glavni nedostatak zup astih kaiševa jeste osetljivost na prodor stranih tela i osetljivost na ulja i rastvara e[1-3]. Pooštavanje konstrukcionih zahteva sa aspekta pove anja radnog veka i smanjenja mase konstrukcija, iniciralo je pojavu velikog broja ispitivanja zup astih kaišnih prenosnika.

Prvi model zup astog kaiša daju Gerbert i dr [4] i vrše detaljnu analizu sila koje deluju na zube kaiša. Oni prvi uvode silu trenja u analizu raspodele optere enja. Ispitivanjem vu nih karakteristika [5], analizom raspodele optere enja i prethodnog zatezanja zup astog kaiša [6,7] ide se korak dalje u analizi ov ih prenosnika.

S obzirom na sve ve u upotrebu zup asto-kaišnih prenosnika, ali i njihov ograni en radni vek, krajem devedesetih godina XX veka analiza trenja i habanja postaje sve zna ajnija. Dalgamo, Childs i dr uvode nove modele zup astih kaiševa, stim što se pored sile trenja koja je do tada analizirana samo izme u temena zuba kaišnika i me uzublja kaiša, uvodi i sila trenja izme u bo nih površina zuba kaiša i kaišnika [8-10]. Dalgamo i dr bave se detaljnom analizom sprezanja i analizom triboloških procesa na kontaktnim površinama.

U cilju pove anja radnog veka i identifikacije glavnih uzroka njegovog smanjenja, autori se bave ispitivanjem zup asto kaišnog prenosnika.

U nastavku rada prikazan je postupak ispitivanja zup asto kaišnog prenosnika, kao i analiza dobijenih rezultata.

2. ISPITIVANJE ZUP ASTIH KAIŠNIH PRENOSNIKA

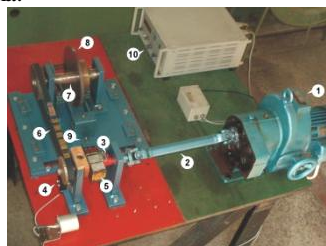
Ispitivanje zup astog kaiša je sprovedeno na probnom stolu koji je namenski konstruisan i napravljen u

Laboratoriji za mašinske konstrukcije i mehanizaciju na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Probni sto radi na principu otvorenog kola snage.

Osnovni elementi probnog stola su :

1. pogonska mašina,
2. kardanski prenosnik,
3. merno (ulazno) vratilo,
4. dava broja obrtaja ulaznog vratila,
5. dava obrtnog momenta ulaznog vratila,
6. ispitivani prenosnik (zup asto-kaišni prenosnik),
7. izlazno vratilo,
8. mehani ka ko nica,
9. zatezni mehanizam i
10. poja ava ki most,

Na slici 1 je prikazan probni sto sa osnovnim elementima.



Slika 1. Probni sto za ispitivanje zup astog kaiša

Pogonski agregat oznake KR-11/2C (37-180 o/min) - proizvo a "Prva petoletka" OOUR ure aji i delovi iz Brusa, ine elektromotor (1) tipa ZKT90S-4 (zatvoreni jednofazni asinhroni motor sa kaveznim rotorom, uga nom termi kom zaštitom, veli ine 90L u etvorpolnom izvo enju), frikcionni prenosnik i zup asti reduktor. Konstrukciono rešenje omogu uje automatsku regulaciju pritiska izme u frikcionih diskova, kompenzaciju aksijalnog zazora nastalog usled habanja. Promena broja obrtaja vrši se ru no, okretanjem to ka, pri emu se putem sprege zup anika i zup aste letve elektromotor sa koni nim frikcionim diskom radialno (vertikalno) pomera u odnosu na frikcionni to ak. Pogonska mašina (1) i ulazno vratilo (3) povezani su pomo u kardanskog prenosnika (2). Memo vratilo (3) je konstruisano tako da u režimu maksimalnog momenta tpi elasti ne deformacije. Na memo vratilo su postavljeni induktivni dava broja obrtaja ulaznog vratila (4) tipa MA1 i dava momenta (5) koga ine meme trake povezane sa predajnikom signala MT2555A, koji je posebnim adapterom pri viš en u sklopu sa nosa em baterije BK2801A.

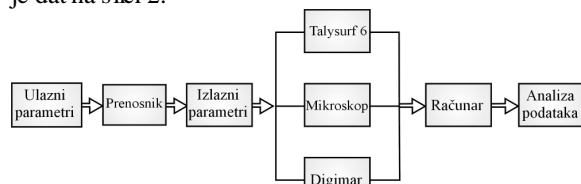
Ulazno i izlazno vratilo (7) povezuje ispitivani prenosnik (6), odnosno zup asti kaiš. Zatezanje zup astog kaiša vrši se pomo u zateznog mehanizma (9) (navojno vreteno). Pomo u navojnog vretena pomera se plo a, na kojoj se nalaze izlazno vratilo (7) i mehani ka ko nica (8).

Mehani kom ko nicom se zadaje odre ena vrednost momenta ko enja, tj. momenta optere enja izlaznog vratila zup asto-kaišnog prenosnika. Veli ina momenta optere enja se dobija direktnim o itavanjem sa displeja digitalnog poja ava kog mosta (10), koji signal momenta dobija sa memog vratila, a preko prijemnika signala EV2510A. Broj obrtaja na ulaznom vratilu se tako e o itava sa poja ava kog mosta, koji signal dobija preko induktivnog dava a i impulsnog prijemnika broja obrtaja DV2556. Time je, režim na ulaznom vratilu prenosnika definisan.

Adaptacijom elemenata za vezu sa pogonskom mašinom sa jedne i mernim vratilom sa druge strane, mogu e je ispitivanje bilo kog tipa prenosnika, uz ograni enje gabarita i navedenog dijapazona optere enja.

3. MERNI SISTEM

Probni sto koji je predstavljen u prethodnom poglavlju predstavlja deo mernog sistema koji obezbe uje realizovanje planiranog ispitivanja. Šematski prikaz funkcionisanja sistema, odnosno metodologije ispitivanja je dat na slici 2.



Slika 2. Šematski prikaz metodologije ispitivanja prenosnika

Delovi osmišljenog mernog sistema za tribometrijsko ispitivanje zup astog kaiša su:

1. probni sto sa mernim lancem,
2. ure aj za analizu i merenje hrapavosti površina TALYSURF 6
3. opti ki mikroskop ZKM01-250C
4. digimar i
5. ra unar, štampa .

Funkcionisanje sistema se odvija kroz kontinualno generisanje signala momenta uvijanja i broja obrtaja i kroz povremenu analizu stanja kontaktnih površina i merenje geometrijskih parametara.

Po uspostavljanju odre enog režima optere enja prenosnik je pušten u rad. Posle odre enog broja sati rada, vrši se demontaža prenosnika i merenje parametara hrapavosti, habanja, snimanje izgleda površine, merenje geometrijskih veli ina.

4. PLAN I VRSTE MERENJA

Da bi se dobila prava slika o tribološkim karakteristikama zup astog kaiša izvršeno je merenje parametara hrapavosti i odre ivanje geometrijskih veli ina [11,12]. Merenje ovih veli ina vršeno je po unapred utvr enoj dinamici. Pre po etka ispitivanja konstatovano je stanje kontaktnih površina kao i po etne vrednosti geometrijskih veli ina kaiša. Dalja merenja su vršena posle odre enog vremena rada i prikazana su u tabeli 1.

Tabela 1: Vremenski intervali merenja parametara hrapavosti i geometrijskih veli inakaiša

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

Može se primetiti da su vremenski intervali u po etku eksploatacije najmanji, iz razloga što u tom periodu nastaju najve e promene merenih veli ina. Nakon perioda uhodavanja vremenski razmaci se pove avaju što

je u skladu sa krivom habanja i o ekvanim promenama merenih veli ina.

4.1 Merenje parametara hrapavosti

Za tu svrhu je koriš en kompjuterizovani merni sistem TALYSURF 6 (slika 3). On omogu ava veoma kompleksno definisanje stanja površina. Njegove mogu nosti su:

- merenje svih relevantnih parametara hrapavosti i valovitosti,
- statisti ka obrada rezultata merenja parametara hrapavosti,
- prikazivanje rezultata na ekranu, njihovo memorisanje, štampanje i citanje
- prostomo skeniranje površina.

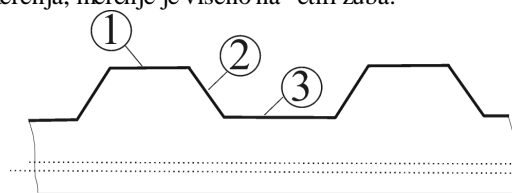


Slika 3. Profilmetar - TALYSURF 6

Merenje parametara hrapavosti vršeno je na tri merna mesta (slika 4):

- na temenu zuba kaiša 1,
- na boku zuba kaiša 2 i
- u me uzublju kaiša 3.

Da bi se dobili što ta niji rezultati i smanjila greška merenja, merenje je vršeno na etiri zuba.

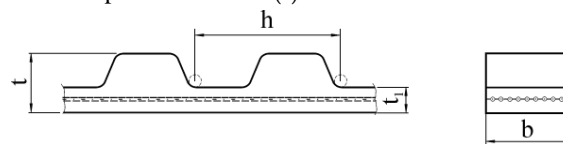


Slika 4. Merna mesta na kaišu za merenje parametara hrapavosti

4.2. Merenje geometrijskih veli ina

Radi stvaranja potpune slike o njihovoj promeni, merenje geometrijskih veli ina je izvo eno na osam zuba kaiša. Pri tome su merene slede e veli ine (slika 5) [2, 13]:

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



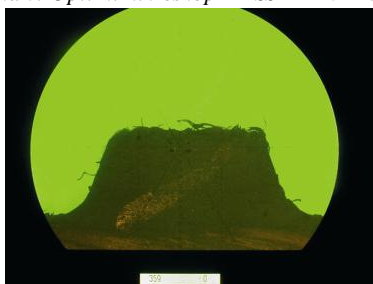
Slika 5. Merene geometrijske veli ine zup astog kaiša

Odre ivanje koraka kaiša izvršeno je pomo u valj i a. Valj i i se postavljaju u koene dva uzastopna zuba. Zatim se kaiš zajedno sa valj i ima postavlja u stegu. Sila kojom se steže kaiš je ista za sva merenja. Merenje koraka se vrši na opti kom mikroskopu ZEISS ZKM01-250C (slika 6). Ta nost mikroskopa je ± 0.0001 mm . Postavljanjem digitalnog fotoaparata na okular mikroskopa vršeno je snimanje zuba kaiša. Fotografisanje je vršeno posle svakog merenja, radi

vizuelnog praenja habanja zuba kaiša. Izgled zuba pre po etka rada, prikazan je na slici 7.



Slika 6. Optički mikroskop ZEISS ZKM01-250C



Slika 7. Zub kaiša pre po etka rada

Praenje promene širine kaiša, debljine me uzublja i ukupne debljine kaiša vršeno je na digimaru firme MARH (slika 8). Merenje ovih veli ina ostvaruje se tako što se kaiš postavlja na odgovaraju u plo u i pri tome je zategnut odre enom silom. Digimar se nalazi u nultom položaju u trenutku kada igla dodirne plo u. Pomeranjem igle na merno mesto dobija se vrednost tražene veli ine. Ta nost ure aja je 0.0005 mm.



Slika 8. Ure aja za merenje geometrijskih veli ina - digimar

5. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Nakon završene teorijske analize i eksperimentalnih ispitivanja pristupa se analizi dobijenih rezultata.

Kao relevantni parametri za ocenu triboloških procesa praeni su:

- geometrijski parametri i njihova promena,
- parametri hrapavosti (R_a , R_{max} i kriva nošenja).

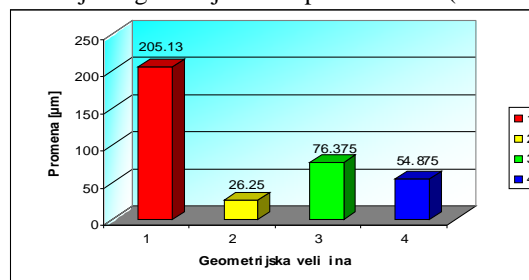
U opštem slučaju u toku rada prenosnika razlikujemo tri etape habanja i to:

- period uhadavanja,
- period normalnog habanja i
- period razomog habanja.

Kada je re o vrednostima promena geometrijskih veli ina njihove apsolutne srednje vrednosti su prikazane na slici 9.

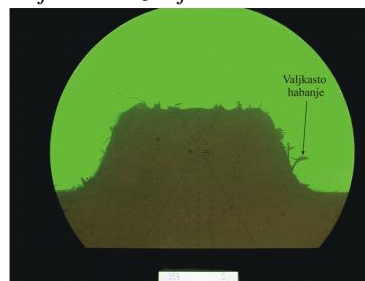
Sa histograma se vidi da se najviše menja korak kaiša. Korak kaiša se izdužuje približno 0.2 [mm], što dovodi do poveanja dužine kaiša. Ukupno izduženje kaiša iznosi ~23 mm. Veliki deo ovog izduženja je posledica plasti nog deformisanja kaiša, odnosno izduženja vu nog elementa. Me utim 30% promene koraka kaiša izazvano je

habanjem bo nih površina zuba. Izduženje koraka je najve e u periodu uhadavanja i iznosi ~60% ukupnog izduženja. U ovom periodu uglavnom dolazi do plasti nih deformacija. Na kraju perioda uhadavanja i u periodu normalnog habanja korak kaiša se prvenstveno menja usled valjkastog habanja bo nih površina zuba (slika 10).



Slika 9. Srednje vrednosti promena geometrijskih veli ina

- 1 - Korak kaiša
- 2 - Širina kaiša
- 3 - Ukupna visina kaiša
- 4 - Debljina me uzublja kaiša



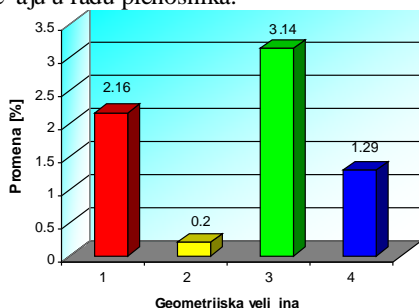
Slika 10. Valjkasto habanje zubakaiša

Dobijene srednje vrednosti promena geometrijskih veli ina ne odstupaju mnogo od pojedina nih vrednosti za svaki zub kod koraka, ukupne visine kaiša i debljine me uzublja. Me utim kod širine kaiša srednja vrednost odstupa od pojedinih vrednosti. Ova odstupanja su posledica konstrukcije kaiša. Naime, kaiš odre ene širine dobija se se enjem iz kotura odgovaraju e dužine. Prime eno je da su odstupanja po etne širine u odgovaraju im tolerancijama, ali da kaiš nema svuda istu širinu. Na pojedinim eonim površinama uo lživ je vu ni element. Pojava vu nog elementa menja prirodu tribomehani kog sistema elo kaiša - obodni prsten jer se tada u kontaktu nalaze dve metalne površine. U zavisnosti od toga da li su u kontaktu metal-metal ili metal-nemetal menja se i širina kaiša. Pored toga, zakon po kome se menja širina kaiša odstupa od ostalih promena. Širina kaiša se zna ajno menja ako bi se deformacije sabirale po apsolutnoj vrednosti. Naime, kaiš se prvo širi, da bi se posle 100 sati rada njegova širina smanjivala. Zbog ovog fenomena srednja vrednost promene širine kaiša ima relativno malu vrednost. O igledno da se širina kaiša u periodu od 100-300 sati rada smanjuje usled abrazivnog habanja eonih površina kaiša, ime se potvr uje analiza tribomehani kog sistema elo kaiša – obodni prsten. Srednja vrednost promene širine kaiša posle 100 sati rada iznosi 110 [μm] i posle promene koraka kaiša ima najve e vrednost.

Na dijagramu 11 prikazane su relativne promene merenih geometrijskih veli ina izražene u procentima. Ove vrednosti se dobijaju deljenjem srednjih vrednosti promena i srednjih vrednosti merenih veli ina.

Daljom analizom ovih vrednosti dolazi se do zaklju ka da se sve veli ine ne menjaju po istom zakonu. Me utim

ako se dalje posmatra, uoava se da se ukupna visina kaiša menja znatno više od debljine me uzublja kaiša. Ovo dovodi do smanjenja aktivne visine zuba kaiša koji je u kontaktu sa zubom kaišnika. Ako se uzme u obzir da se posle 150 sati rada smanjuje i širina kaiša dolazi se do zaključka da se smanjuje i nominalna bo na površina zuba kaiša. S obzirom da zup asti kaišni prenosnici snagu prenose oblikom i trenjem poveanjanje koraka kaiša i smanjenje nominalne površine zuba može dovesti do poremećaja u radu prenosnika.



Slika 11. Relativne promene merenih geometrijskih veli ina

- 1 - Korak kaiša
- 2 - Širina kaiša
- 3 - Ukupna visina kaiša
- 4 - Debljina me uzublja kaiša

6. ZAKLJUČAK

Ispitivanje zup asto kaišnog prenosnika izvršeno je na namenski konstruisanom uređaju koji radi na principu otvorenog kola snage. Po unapred utvrđenoj dinamici, u odgovarajućim intervalima, izvršeno je merenje promene geometrijskih veli ina i parametara hrapavosti. Rezultati dobijeni merenjem jasno pokazuju da se u radu ovog prenosnika mogu izdvojiti tri perioda (period uhadavanja, period normalnog habanja i period razomog habanja). Period razomog habanja je jasno izražen, s obzirom da u tom periodu nastaje velika promena geometrijskih veli ina, ali i promena parametara hrapavosti. Što se geometrijskih veli ina tiče, najizraženija je promena koraka i širine kaiša. Promena koraka kaiša dovodi do izduženja kaiša i promene geometrije sprezanja, a širina kaiša se najpre poveća, a zatim (posle 100 h rada) naglo smanjuje. Ukupna promena širine kaiša je jako velika i uzrokovana kontaktom kaiša i kaišnika. Smanjenje širine kaiša i visine zuba kaiša dovodi do smanjenja nominalne površine kontakta, što za posledicu ima veću opterećenost zuba i smanjenje stepena korisnog dejstva. Analizom tribomehaničkih sistema i dobijenih eksperimentalnih rezultata dolazi se do zaključka da se u toku rada najviše habaju bo na i eona površina kaiša. Bo na površina se menja kontinualno u ispitivanom vremenu. Međutim, smanjenje širine kaiša usled abrazivnog habanja eone površine nastaje tek u periodu normalnog habanja. Na temelju zuba kaiša tako e se

TESTING OF TIMING BELT DRIVES

ABSTRACT: Methodology of testing the timing belt drives and analysis of acquired results are presented in the paper. Testing was conducted on a test bench that operates as open power circuit. Measuring system consisted of an optical microscope, "ZKM01-250C", "digimar" for measurement of geometric values variation and a „TALYSURF 6“ device for analysis and measurement of surface roughness parameters. Measurement of geometrical values and roughness parameters was done according to previously determined dynamics and measurement and testing plan. The second part of the paper presents the obtained results and their analysis.

Key words: timing belt drives, drive testing, open power circuit, measurement, friction, wear

Datum prijema rada: 14. 05. 2010. god.

javlja valjkasto habanje, ali je njegov intenzitet dosta manji nego na boku zuba. Najmanje je habanje me uzublja kaiša zbog kinematike sprezanja. Uo ene promene geometrijskih veli ina i parametara hrapavosti zup astih kaiševa nedvosmisleno uti u na radnu sposobnost i vek trajanja prenosnika.

LITERATURA

- [1] Stojanovic, B., Miloradovic, N. Development of timing belt drives, *Mobility and Vehicle Mechanics*, 2009, vol.35, no.2, p. 31-36.
- [2] Tanasijevic, S. Mehani ki prenosnici: lan ani prenosnici, zup asti kaišni prenosnici, kardanski prenosnici, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1994.
- [3] Stojanovic, B. Karakteristike triboloških procesa zup astih kaiševa, Magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2007.
- [4] Gerbert, G., Jönsson, H., Persson, U., Stenstrom, G. Load distribution in timing belts. *Trans. ASME, J. Mech. Des.*, 1978 vol.100, p. 208-215.
- [5] Kagotani, M., Koyama, T., Hiroyuki, U., Aida, T., Hoshiro, T. Load distribution on toothed belt drives under a state of initial tension, *Bull. Jap. Soc. Mech. Engrs.*, 1984, vol. 27, no 230, p.1780-1787.
- [6] Metzner, D., Urbansky, N. Vorspannkraft bei Zahnriemengetrieben, *Maschinenbautechnik*, 1984, vol. 33, p. 559-563.
- [7] Naji, M. R., Marshek, K. M. Toothed belt load distribution. *Trans. ASME, J. Mechanisms*, 1983, vol.105, p. 339-347.
- [8] Dalgarno, K. W., Day, A. J., Childs, T. H. C. Finite element analysis of synchronous belt tooth failure. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part D, Journal of Automobile Engineering*, 1993, vol.207, p. 145-153.
- [9] Childs, T. H. C., Dalgarno, K. W., Hojjati, M. H., Tutt, M. J. The meshing of timing belt teeth in pulley grooves. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part D, Journal of Automobile Engineering*, 1997, vol. 211, p. 205-218.
- [10] Childs, T. H. C., Hojjati, M. H., Kohno, M., Nakamura, T. Land friction effects in the meshing of timing belts. *Proc. Instn Mech. Engrs, Part J, Journal of Engineering Tribology*, 1998, vol. 212, p.87-100.
- [11] Stojanovic, B., Tanasijevic, S., Miloradovic, N. Tribomechanical systems in timing belt drives, *Journal of the Balkan Tribological Association*, 2009, vol.15, no.4, p. 465-473.
- [12] Stojanovi, B., Miloradovi, N., Blagojevi, M. Analysis of Tribological Processes at Timing Belt's Tooth Flank, *Tribology in Industry*, 2009, vol.31, no. 3-4, p. 53-58.
- [13] ISO 5296-1 Synchronous belt drives – Belts - Part 1: Pitch codes MXL, XL, L, H, XH and XXH - Metric and inch dimensions. Geneva, International Organization for Standardization, 1989.
- [14] Živkovi, P., Daši, B., Makragi, S., ANALIZA I PRORA UN GUBITAKA SNAGE KOD PLANETARNIH ZUP ASTIH PRENOSNIKA SNAGE, GODINA XV BROJ (32-33) 3-4/2009 str.147 – 152.