



## TRIBOLOŠKI PROCESI MEHANIZMA SLOBODNOG HODA IMPULSNIH FRIKCIONIH VARIJATORA

Desimir Jovanović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zastava oružje AD, Kragujevac, Srbija, zo.tehnologija@nadlanu.com

**Apstrakt:** Impulsni varijatori su veoma specifični prenosnici sa mnoštvom neobičnih osobina koje se ne sreću kod drugih mehaničkih prenosnika. Razlikuju se od ostalih vrsta prenosnika po tome što se prenos snage i kretanja ne vrši neprekidno već u obliku periodičnih impulsa. Mehanizam slobodnog hoda predstavlja jedan od vitalnih delova u prenosu snage impulsnih polužnih varijatora kojim se vrši transformacija oscilatornog kretanje spoljašnjeg omotača (kulise) u obrtno kretanje izlaznog vratila. Elementi mehanizma slobodnog hoda su u toku rada izloženi trenju i habanju koje u nekim slučajevima može biti izuzetno intenzivno. U radu su analizirani tribološki procesi na elementima mehanizma slobodnog hoda impulsnog frikcionog varijatora sa posebnim osvrtom na habanje tribomehaničkih sistema: spoljašnji omotač (kulisa) - valjčić i valjčić-vratilo (zvezda).

**Ključne reči:** Tribološki procesi, habanje, impulsni varijatori, mehanizam slobodnog hoda,

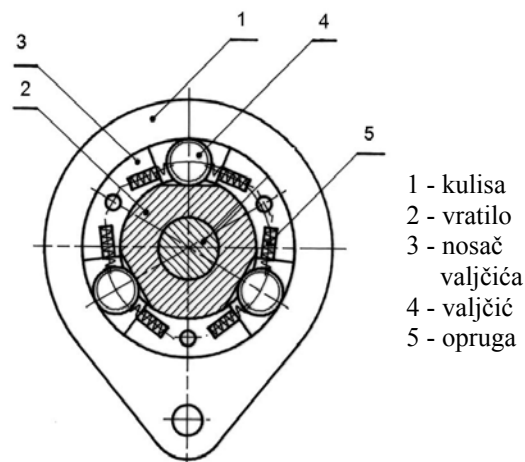
### 1. UVOD

Kod impulsnih prenosnika se energija ne prenosi neprekidno, već u obliku periodičnih impulsa. Da bi se ublažili problemi izazvani zastojeom u prenosu i neravnomernošću brzine, pri konstrukciji se spaja nekoliko slogova transformacionih mehanizama i mehanizama slobodnog hoda. Ti mehanizmi su zaokrenuti jedan u odnosu na drugi za ugao  $\Delta\varphi$ .

Kao posledica triboloških procesa na kontaktnim površinama posmatranih triboelemenata mehanizma slobodnog hoda mogu nastati različite vrste habanja. One se razlikuju međusobno po načinu i intezitetu, kao i po krajnjim posledicama koje ostavljaju. Pouzdanost i vek trajanja mehanizma slobodnog hoda zavise od razvoja procesa habanja u osnovnim tribomehaničkim sistemima.

### 2. OPIS EKSPERIMENTA

Ekperimentalna ispitivanja prenosnika snage impulsnog polužnog varijatora tipa sa četiri transformaciona mehanizma i mehanizma slobodnog hoda obavljena su na specijalno napravljenom probnom stolu. Predmet istraživanja je mehanizam slobodnog hoda (MSH) varijatora (slika 1).



Slika 1. Mehaniizam slobodnog hoda.

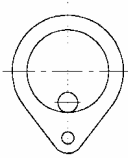
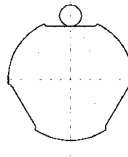
Izabran je režim rada ispitivanog prenosnika. Kočnicom je postignuto opterećenje izlaznog vratila varijatora. Na taj način su definisani uslovi rada uz poznatu geometriju kontakta. Po uspostavljanju izabranog režima rada prenosnik se pušta u rad, određen broj sati posle čega se vrši demontaža i merenje parametara hrapavosti i habanja.

Osnovni tribomehanički sistemi ispitivanog mehanizma slobodnog hoda (tabela 1) kod kojih tribološki procesi utiču na funkcionisanje

mehanizma i čije su promene usled habanja praćene u toku vremena ispitivanja su:

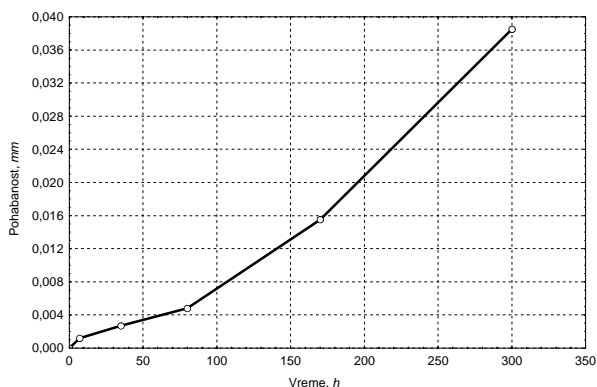
- kulisa – valjčić,
- vratilo – valjčić.

**Tabela 1.** Osnovni tribomehanički sistemi

	Tribomehanički sistem		Vrsta kretanja
	naziv	izgled	
1	kulisa - valjčić		kotrljanje sa klizanjem
2	vratilo - valjčić		kotrljanje sa klizanjem

### 3. ANALIZA REZULTATA

Elementi mehanizma slobodnog hoda izloženi su u radu višekratno ponovljenim učestalim promenama opterećenja i jakom zamoru unutar materijala celog sistema. Prisustvo oblasti cikličnih naprezanja je uzrok nastajanja zamora u mehanizmu slobodnog hoda, pojave mikropukotina, kratera kao i većih plastičnih deformacija, koje mogu prouzrokovati trajno oštećenje i otkaz mehanizma. Mehanizmi habanja kod elemenata posmatranih tribomehaničkih sistema (valjčić, kulisa, vratilo) su: adheziono, zamorno i abrazivno habanje.

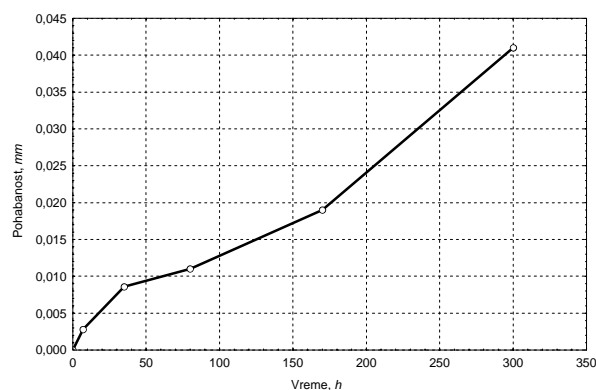


**Slika 2.** Kriva habanja vratila (zvezde)

Kod vratila (zvezde), preovladavajući vid habanja je zamorno habanje (piting) sa izraženim procesom plastičnog deformisanja kontaktne površine, što je direktna posledica kontakta elemenata različite tvrdoće (vratilo 48 HRC, valjčić

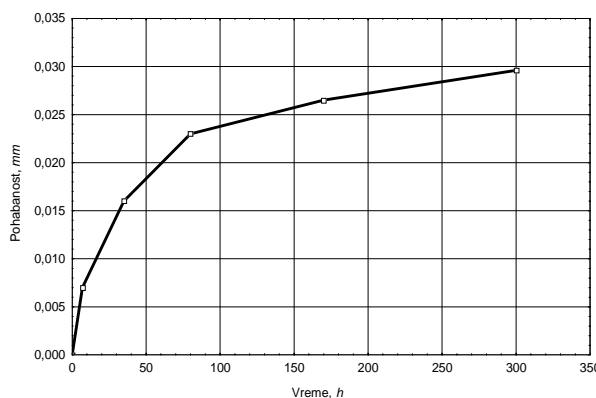
62HRC), u uslovima velikih normalnih pritisaka, naprezanja.

Usled relativnog kretanja valjčića po vratilu i velikih specifičnih pritisaka koji prate proces zaklinjavanja, dolazi do povećanja plastičnih deformacija površinskih slojeva i do pojave i porasta mikrodefekata u njemu. Posle određenog broja radnih ciklusa, odnosno ciklusa opterećenja može doći do odvajanja sitnih delova materijala sa površine, koji mogu biti uzročnik povećanog abrazivnog habanja na posmatranim elementima. U cilju smanjenja inteziteta zamornog habanja poželjno je da su kontaktne površine elemenata sa što finijim kvalitetom obrađene površine.



**Slika 3.** Kriva habanja valjčića

Pojavi adhezionog habanja u zoni kontakta valjčić - vratilo i valjčić - kulisa, prethodi razaranje mazivnog sloja, usled velikog opterećenja pri zaklinjavanju, što dovodi do povećanja kontaktnog pritiska i temperature koji izazivaju plastične deformacije i pojavu skoringa na kontaktnim površinama.



**Slika 4.** Kriva habanja kulise

Kao kritičan deo u prenosu kretanja i snage javlja se kulisa koja je u toku rada izložena cikličnim opterećenjima praćenim čestim udarima usled neravnomernog obrtanja gonjenog vratila. Uljni film u kontaktu kulise sa valjčićem i nosačem valjčića se razara pri procesu zaklinjavanja, što za posledicu ima povećano habanje koje u kombinaciji

sa zamorom materijala i veoma čestim preopterećenjima prenosnika dovodi do otkaza kulise.

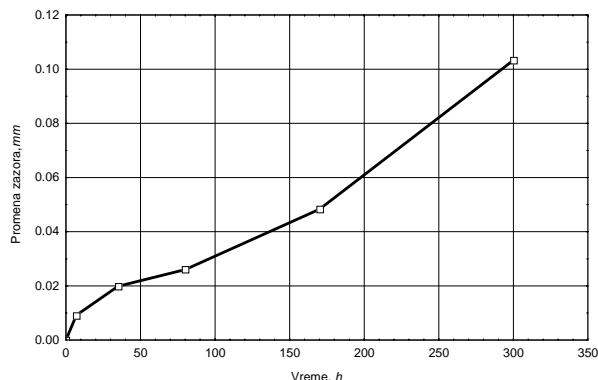
Ako se posmatraju krive habanja i parametri hrapavosti zapaža se period uhadavanja površina kod većine elemenata od oko 50 sati rada i početak normalnog procesa habanja. Period uhadavanja karakteriše promenu topografije površina usled prelaska tehnološke u eksploatacionu topografiju. Ovaj proces prati nagla promena parametara hrapavosti, vrhovi neravnina su odneti i profil postaje ujednačeniji. Usled visokih lokalnih opterećenja, koja su neophodna za prenos snage i kretanja trenjem, dolazi do promene hrapavosti dobijene posle završne obrade kontaktnih površina. Na početku ispitivanja dolazi do intenzivnog odvođenja materijala sa površine što se vidi i sa krivih habanja. Najviše izraženi vrhovi neravnina bivaju odneti, pa profil postaje ujednačeniji odnosno manje hrapav. Parametri hrapavosti opadaju do kraja ovog perioda. Ovo govori da površina teži da se "uravnoteži" u pogledu topografije. Period normalnog habanja počinje posle perioda uhadavanja. Parametri hrapavosti blago rastu, površina je prešla u eksploatacionu, i habanje je ustaljeno. Izuzetak je vratilo kod koga parametri hrapavosti naglo rastu na oko 200 sati rada a sa krivih habanja se vidi i povećano habanje što je u skladu sa prethodnim, i ako se nastavi ovakav trend porasta habanja može se očekivati brzi prelazak normalnog u razorno habanje.

Intezitet habanja elemenata tribomehaničkih sistema kod mehanizma slobodnog hoda ispitivanog impulsnog varijatora je funkcija velikog broja uticajnih faktora. Najuticajniji faktori su: vrsta i kvalitet površinske i termo-hemijske obrade, veličina normalnog opterećenja i brzina relativnog kretanja između elemenata osnovnih tribomehaničkih sistema.

Kao posledica habanja elemenata mehanizma slobodnog hoda dolazi do promene zazoru u njemu, što direktno utiče na promenu ugla zaklinjavanja a samim tim i na povećanje neravnomernosti obrtanja izlaznog vratila prenosnika (zvezde mehanizma slobodnog hoda).

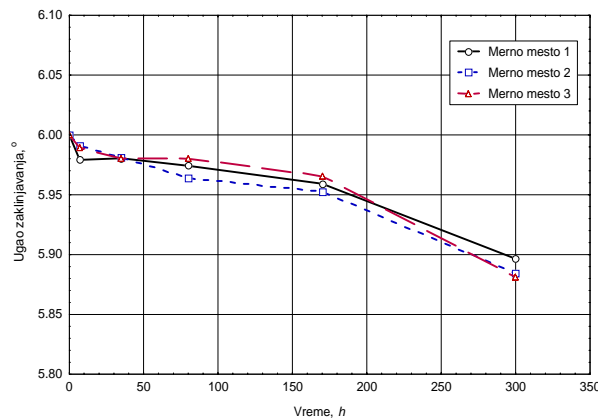
Na slici 5 data je promena zazora izračunata na osnovu geometrijskih veličina za različite vrednosti pohabanosti elemenata mehanizma slobodnog hoda na mestu kulise 4. Trend porasta zazora vrši se po osnovnim zakonima triboloških procesa habanja, tako da se na krivoj zavisnosti aksijalnog zazora od vremena rada prenosnika uočavaju period početnog (inicijalnog) habanja i period ustaljenog habanja, odnosno dijagram promene zazora oslikava krive habanja posmatranih triboelemenata. Promena zazora između elemenata u kontaktu, valjčića i omotača, kao direktna posledica habanja elemenata

mehanizma slobodnog hoda utiče na promenu ugla zaklinjavanja, a samim tim na povećanje neravnomernosti obrtanja izlaznog vratila prenosnika.



Slika 5. Kriva promene zazora

Posmatrani varijator ima četiri kulise fazno pomerene za ugao  $\pi/2$ , koje se naizmenično uključuju i isključuju. Pojavom triboloških procesa na elementima u kontaktu menjaju se uglovi zaklinjavanja i produžava vreme zaklinjavanja. Kako je i kod nehabanog mehanizma slobodnog hoda vreme zaklinjavanja različito za svaku kulisu (zavisno od geometrije sprezanja) pojavom habanja ono se produžava za neki vremenski interval  $\Delta t$  na svakoj kulisi što izaziva nove poremećaje ravnomernosti obrtanja izlaznog vratila. Promena ugla zaklinjavanja data je na slici 6 izračunata za tri merna mesta na mestu kulise 4.



Slika 6. Promena ugla zaklinjavanja

Kod mehanizma slobodnog hoda sa više valjčića, svakom valjčiću odgovara različit ugao zaklinjavanja. Greške izrade glavnih elemenata mehanizma slobodnog hoda a posebno greške montaže (nesaosnost omotača) izazivaju različite vrednosti ugla zaklinjavanja na različitim kontaktnim površinama. U jednom delu ta vrednost je manja a u drugom veća od nominalne. Ova pojava je naročito izražena kod mehanizama sa pravolinijskim profilom, što je istovremeno i glavni razlog za izbor krivolinijskog profila.

### 3. ZAKLJUČAK

Pojava triboloških procesa na kontaktnim površinama elemenata tribomehaničkih sistema mehanizma slobodnog hoda impulsnih frikcionih varijatora je jedan od osnovnih uzroka gubitka preciznosti i pouzdanosti rada. U toku rada ovakvih tribomehaničkih sistema kao neizbežan pratilac procesa kotrljanja valjčića između omotača javlja se otpor kotrljanju, koji je veoma složene prirode i mora se posmatrati u kontekstu svih uzroka i faktora koji na njega deluju.

Dominantan mehanizam habanja na elementima posmatranih tribomehaničkih sistema je zamorno habanje, a zastupljeni su i adheziono i abrazivno habanje. Intezitet habanja elemenata posmatranih tribomehaničkih sistema je funkcija velikog broja uticajnih faktora, vrste i kvaliteta površinske i termohemijske obrade, veličine normalnog opterećenja i brzine relativnog kretanja između osnovnih, kritičnih tribomehaničkih sistema prenosnika.

Kao posledica habanja elemenata mehanizma slobodnog hoda dolazi do promene zazora u njemu, što direktno utiče na promenu ugla zaklinjavanja a samim tim i na povećanje neravnomernosti obrtanja izlaznog vratila prenosika (zvezde mehanizma slobodnog hoda). Da bi se habanje kontaktnih površina elemenata osnovnih tribomehaničkih sistema mehanizma slobodnog hoda impulsnih frikcionih varijatora smanjilo i produžilo radni vek prenosnika potrebno je razmotriti izbor materijala triboelemenata, poboljšati topografiju kontaktnih površina, razmotriti ekonomsku opravdanost izrade

elemenata mehanizma slobodnog hoda sa tvrdim prevlakama na kontaktnim površinama. Klasični cilindrični valjčić zameniti konveksnim valjčićem. Konveksni valjčići se pod opterećenjem sabijaju i imaju isti oblik kontaktne površine kao i cilindrični, ali im je raspodela napona daleko ravnomernija, čak i pri vrlo visokim opterećenjima. Cilindrični valjčići su izloženi visokoj koncentraciji napona u oblasti ivičnog ruba, što ih čini jako izloženim pojavi ivičnog pitinga i kraćem veku trajanja. Konveksni valjčići su znatno manje izloženi habanju, a takođe i kompeziraju moguće devijacije u fazi konstruisanja i izrade, čak i u uslovima visokih opterećenja kao što su u mehanizmu slobodnog hoda

### LITERATURA

- [1] Мальцев В.Ф.: Роликовые механизмы свободного хода; М. "Машиностроение"; 1968.
- [2] Jovanović D.: Tribološki procesi mehanizma slobodnog hoda impulsnih polužno-frikcionih varijatora, magistarska teza, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2005.
- [3] Jovanović D, Tanasijević S.: Mehanizam slobodnog hoda impulsnih varijatora, oblik i karakteristike, KOD'04, Novi Sad, 2004.
- [4] Jovanović D, Tanasijević S.: Habanje mehanizma slobodnog hoda impulsnih polužnih varijatora, IRMES'04, Kragujevac, 2004.
- [5] Jovanović D, Tanasijević S.: Uticaj habanja na promenu ugla zaklinjavanja mehanizma slobodnog hoda impulsnih polužnih varijatora, IRMES'06, Banjaluka, 2006.

## TRIBOLOGICAL PROCESSES OF MECHANISM FREE MOTION AT IMPULSIVE FRICTION VARIATORS

**Abstract:** *Impulsive variators are different from the other types of variators. Therefore they don't transmit power and motion constantly. They transmit it in the form of periodical impulses. Free motion mechanism is one of the vital part in power transmitting of impulsive friction variators, which oscillating motion of external coulise convert in rotation movement of driving spindle. The mechanism elements of free motion are during work imposed by friction and wear which in some cases may be extremely intensive. In this paper are analysed the tribological processes of mechanism free motion at impulsive friction variators which special report on wear of tribomechanical system: external envelope (coulisa) – roller and roller- shaft (star).*

**Keywords:** *Tribological processes wear, impulsive variator, free motion mechanism*