

R. RAKIĆ

# Uticaj triboloških procesa na pouzdanost hidrauličnih sistema kod alatnih mašina\*

## 1. UVOD

Razvoj tribologije za vreme proteklih dvadesetpet godina bio je zaista impresivan, kako uopšte, tako i u naučnom i tehnološkom području [1].

Razvoj hidrauličnih sistema zbog potrebe povećanja efikasnosti i ekonomičnosti rada modernih mašina alatki, osetljivih kontrolnih numeričkih uređaja, regulacionih ventila, građevinskih i poljoprivrednih mašina, medicinsko tehničkih aparata i vazduhoplovne tehnike, dovelo je do zahteva za kontrolom triboloških procesa i razvoja vrlo kvalitetnih hidrauličnih ulja.

Cilj istraživanja u ovom radu je:

- utvrđivanje karaktera triboloških procesa i uzroka zastoja tribomehaničkih sistema,
- smanjenje broja zastoja tribomehaničkih sistema i
- povećanje pouzdanosti tribomehaničkih sistema hidraulike kod mašina alatki.

Eksperimentalna istraživanja uticaja triboloških procesa na pouzdanost hidrauličnih sistema kod mašina alatki izvršena su u jednoj metaloprerađivačkoj industriji.

## 2. HIDRAULIČNI SISTEMI KOD MAŠINA ALATKI

Hidraulični sistemi na mašinama alatkama naročito su pogodni za automatizaciju ciklusa i kretanja, jer je sa hidraulikom jednostavno upravljati, a upravljanje se obavlja kontinualno. Hidraulika se često u praksi kombinuje sa pneumatikom i elektronikom, tako da se može ostvariti veoma mnogo kvalitetnih kombinacija.

Principijelna shema hidrauličnih sistema, uprkos različitim vrstama konstrukcije, praktično je jedunaka. Kao

primer, na sl. 1 prikazan je jedan hidraulični sistem mašine alatke sa pripadajućim podsklopovima.

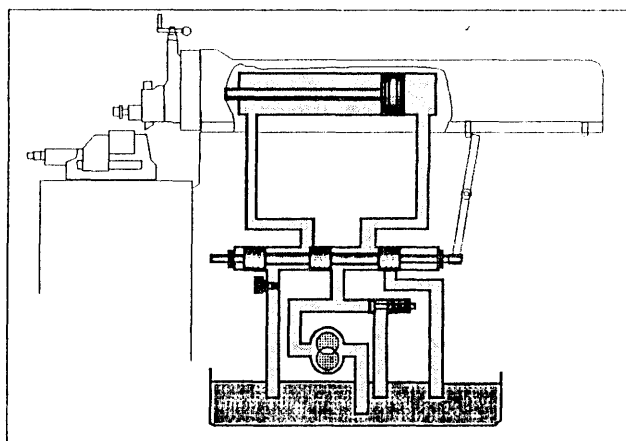
Osnovni elementi, odnosno podsklopovi hidrauličnog podsistema (prikazani na slici 1.) su:

- a) rezervoar (1),
- b) pumpa za proizvodnju pritiska (2),
- v) upravljački razvodnici i ventili, među kojima su najvažniji: prigušni ventil, sigurnosni ventil, ventil za hod unazad, itd. (3),
- g) radni cilindar i klip. (4)

## 3. HIDRAULIČNA ULJA

Osnovni zadaci hidrauličnog ulja u hidrauličnom sistemu su:

- da dobro prenosi pritisak i snagu,
- da podmazuje pokretne delove radi smanjenja prisutnih triboloških procesa,
- da štiti sve elemente od rđe i korozije,
- da zaptiva sistem prema unutra i prema spolja i
- da odvodi višak razvijene toplote.



Sl. 1 Hidraulični sistem mašine alatke:  
Hydraulic system of the machine tool  
Гидравлическая система металлорежущего станка

Dr Radoslav Rakić, dipl. ing, NIS-Naftagas promet,  
Novi Sad,

Dugogodišnjim praćenjem dokazano je da obzirom na uslove rada, najkritičniji hidraulični sistemi su u mašinama alatkama a naročito oni sa numeričkim upravljanjem i kontrolom procesa. Naime, kod mašina alatki velika je mogućnost prodora tečnosti za obradu metala bilo emulzije, čistih ulja za obradu ili sintetskih tečnosti sa raznim kontaminantima u hidraulični sistem. Ovo dalje izaziva emulgovanje hidrauličnog ulja koje tokom vremena ubrzava tribološke procese. Postoji mogućnost reakcije aditiva, raznih kontaminata sa realnim posledicama stvaranja nerastvorivih taloga, začepljenja filtera ili slepljivanja razvodnih ventila.

Shodno ISO klasifikaciji, za hidraulična ulja [2], ISO tehničkim izveštajem u vezi preporuka za izbor maziva za mašine alatke [3] i autorovih istraživanja [4] u tabeli 1 date su preporuke za izbor hidrauličnog ulja za mašine alatke.

Najvažnije radne karakteristike hidrauličnog ulja su:

- viskoznost
- indeks viskoznosti,
- nestišljivost,
- otpornost na oksidaciju,
- zaštita od korozije,
- kompatibilnost sa ugrađenim materijalima,
- otpornost na tribološke procese i prekomerno habanje.

Viskoznost ulja je najbitnija karakteristika, kako za funkciju prenosa pritiska i snage, tako i za funkciju podmazivanja pokretnih elemenata. Prema ovoj karakteristici izvršena je klasifikacija tečnih industrijskih maziva. Brojčane oznake, pored slovnih oznaka HM, HV i HG u tabeli 1, upravo su preporučene viskozitetne gradacije za hidraulične sisteme mašina alatki.

Tabela 1.

Slovna oznaka	Oznaka kategorije ISO-L	Primeri primene
H	HM22 HM 32 HM 46 HM 68	Opšti hidraulični sistemi koji sadrže vrlo opterećene elemente
	HV 22 HV 32 HV 46	Primenjuje se u mašinama alatkama sa numeričkim upravljanjem
	HG 32 HG 46 HG 68	Hidraulični sistemi kombinovani sa podmazivanjem kliznih vođica

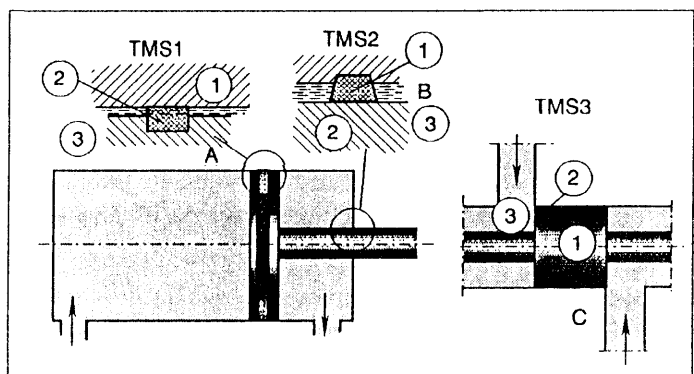
#### 4. KARAKTERISTIKE TRIBOLOŠKIH PROCESA

Kod hidrauličnih sistema pojavljuju se više vrsta tribomehaničkih sistema kod kojih se javljaju tribološki procesi. Među njima najkritičniji prikazani su na sl. 2, gde spadaju:

- tribomehanički sistem: klipni prsten-radni cilindar (A),

- tribomehanički sistem: zaptivač radnog cilindra-klipnjača (B),
- tribomehanički sistem: klip-upravljački cilindar (C).

Tribološki procesi se razvijaju na svim elementima tribomehaničkih sistema, ali je habanje znatno sporije na cilindrima i klipnjači nego na klipu, klipnom prstenu i prstenovima za zaptivanje [5]. Kontakt se kod tribomehaničkog sistema A i tribomehaničkog sistema C ostvaruje između dva metalna materijala različite otpornosti na habanje, a kod tribomehaničkog sistema B, između metala i nemetala. Intenzitet habanja nemetalnih materijala, kao i metalnih materijala sa manjom otpornosti na habanje je veći, tako da se na ovim elementima i dešava kritična pohabanost, koja dalje dovodi do zastoja tribomehaničkog sistema, odnosno hidrauličnog sistema i na kraju mašine alatke. Znači, tribološke karakteristike elemenata 1, 2 i 3 tribomehaničkog sistema su, u ovom slučaju razmatranja, definisane preko vremena rada do pojave zastoja identifikovanog tribomehaničkog sistema.



Sl. 2. Shematski prikaz identifikovanih tribomehaničkih sistema  
Schematic presentation of identified tribomechanic systems  
Схема усlтановленных тpибологических систем

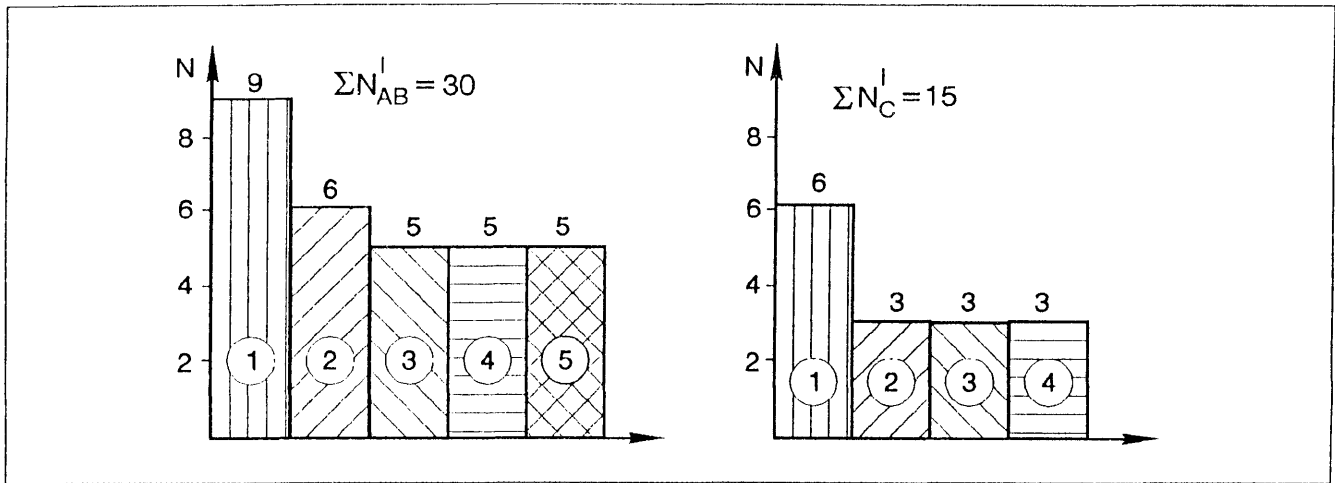
#### 5. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja uticaja triboloških procesa na pouzdanost hidrauličnih sistema kod mašina alatki izvršena su u jednoj metaloprerađivačkoj industriji.

U ovom radu izneti su rezultati istraživanja izvršeni kod 28 brusilica, statistički obrađeni za vreme dva puta po 2100 radnih časova (I i II period istraživanja). Obzirom na višegodišnje praćenje hidrauličnih sistema kod mašina alatki i dobijenih rezultata [6, 7], u ovom radu su statistički praćeni radni cilindar i upravljački razvodnik, gde su identifikovana tri kritična tribomehanička sistema:

- TMS 1 - klipni prsten-radni cilindar,
- TMS 2 - zaptivač radnog cilindra-klipnjača i
- TMS 3 - klip-upravljački cilindar.

Na sl. 3 prikazani su uzroci zastoja u I periodu istraživanja kod radnog cilindra i upravljačkog razvodnika, a koji su vezani za hidraulično ulje i tribološke procese na elementima tribomehaničkih sistema i to: 1-neravnome-



Sl. 3. Shematski prikaz uzroka zastoja radnog cilindra (AB) i upravljačkog razvodnika (C)  
Schematic presentation of cause for working cylinder stopping (AB) and of controlling distributor (C)  
Схема причин оттока работы цилиндра (AB) и управлѣющего распределитѣля (C)

ran pritisak usled prodora tečnosti za obradu, 2-neravnomeran hod usled kontaminacije sa ostalim mazivima, 3-zaribao klip usled mehaničkih kontaminata, 4-neravnomeran hod usled procesa habanja klipa/klipnog prstena, 5-curenje ulja usled procesa habanja na zaptivaču klipnjače, N-broj zastoja. Na osnovu sl. 3, može se konstatovati da najveći problem kod hidrauličnih sistema alatnih mašina, izaziva prodor sredstava za obradu u sistem.

Na sl. 4 dat je prikaz identifikovanih zastoja (1-radni cilindar, 2-upravljački razvodnik, 3-ukupno, N-broj zastoja), čiji je uzrok hidraulično ulje i tribološki procesi kod radnog cilindra, upravljačkog razvodnika i ukupno, u dva perioda eksperimentalnog istraživanja (I i II period). U oba perioda istraživanja uslovi rada hidrauličnih sistema i mašina alatki bili su praktično isti. Jedino je izmenjeno hidraulično ulje, i to u I periodu istraživanja, koje je trajalo oko 2100 radnih časova, a korišćeno je kod svih 28 brusilica hidraulično ulje oznake HM odgovarajućeg preporučenog viskoziteta. U II periodu istraživanja, koje je isto trajalo oko 2100 radnih časova u većini slučajeva korišćeno je hidraulično ulje oznake HG odgovarajućeg preporučenog viskoziteta. Praktično, u svim slučajevima gde je hidraulični sistem kombinovan sa podmazivanjem kliznih vodica. Kada to nije bio slučaj, korišćeno je hidraulično ulje oznake HV odgovarajućeg preporučenog viskoziteta. Na osnovu sl. 4 može se konstatovati da je u datim uslovima rada u II periodu istraživanja identifikovano oko 8,9% manje zastoja, nego u I periodu istraživanja. Oдавде se može konstatovati da hidraulično ulje oznake HG, odnosno HV ima bolja tribološka svojstva nego hidraulično ulje oznake HM.

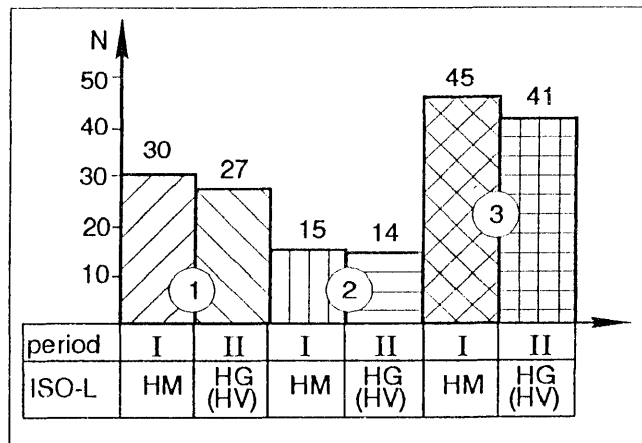
Ukazujući na tehničku istinu da zastoj na bilo kom tribomehaničkom sistemu izaziva zastoj celog hidrauličnog sistema. Na sl. 5 dat je prikaz krive pouzdanosti hidrauličnih sistema (R(t)-funkcija pouzdanosti, t-vreme (h),

$\lambda$ -intenzitet zastoja (br. zastoja/h), I, II-periodi istraživanja,  $t_{sr}$ -prosečno vreme rada kritičnog elementa (h) posmatranih brusilica, za I i II period istraživanja. Testiranjem  $\lambda^2$  testom, dokazano je da se pojava događaja zastoja tribomehaničkih sistema pokorava Poasonovoj raspodeli. Verovatnoće razmaka vremena između zastoja pokoravaju se eksponencijalnoj raspodeli. Na osnovu ovih utvrđenih zakonitosti, funkcija pouzdanosti se izračunava iz:

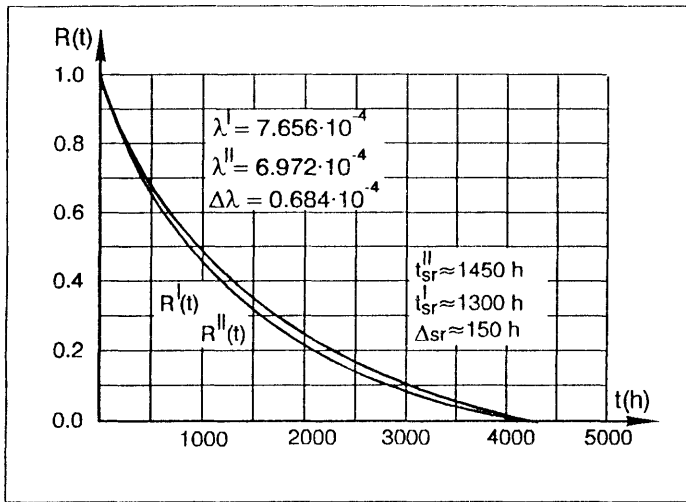
$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} = e^{-\lambda t}$$

gde je  $\lambda(t) = \lambda$  - intenzitet zastoja.

Na osnovu predstavljenih kriva pouzdanosti može se zaključiti da su u II periodu istraživanja tribološki procesi bili manji, kao i intenzitet zastoja a da je u tom periodu povećano prosečno vreme rada hidrauličnog sistema do pojave zastoja, kao i pouzdanost hidrauličnih sistema posmatranih mašina alatki u datim uslovima rada.



Sl. 4. Shematski prikaz broja identifikovanih zastoja  
Schematic presentation of number of identified stops  
Число установленных откозов



Sl. 5. Krive pouzdanosti hidrauličnih sistema  
Reliability curves of hydraulic systems  
Кривые надёжности гидравлических систем

## 6. ZAKLJUČAK

Najčešći uzroci zastoja hidrauličnih sistema kod mašina alatki su kontaminacije tečnostima za obradu, drugim mazivima i mehaničkim nečistoćama.

Hidraulična ulja oznake HG, odnosno HV omogućavaju duži vek rada do pojave zastoja, a time i veću pouzdanost hidrauličnih sistema mašina alatki u odnosu na hidraulična ulja oznake HM u datim uslovima rada.

## LITERATURA

- [ 1. ] H. P. JOST, **Tribology: The First 25 Years and Beyond-Achievements, Shortcomings and Future Tasks**, 8th International Colloquium Tribology 2000, Ostfildern, FR Germany, 1992, Proceedings Vol. I, pp. 5. 3. 1-5. 3. 6.
- [ 2. ] ISO 6743, **Lubricants, industrial oils and related products (class L)-Classification - Part 4: Family H (Hydraulic Systems)**, 1982.
- [ 3. ] ISO Technical Report 3498, **Lubricants, industrial oils and related products (class L) - Recommendations for the choice of lubricants for machine tools**, 1986.
- [ 4. ] R. RAKIĆ, **Pouzdanost hidrauličnih sistema alatnih mašina u funkciji triboloških svojstava maziva**, XVIII Simpozijum Jugoma'84, Zadar, 1984.
- [ 5. ] B. Ivković, **Osnovi tribologije u industriji prerade metala**, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
- [ 6. ] R. RAKIĆ, **Uticaj maziva na zastoje kod mašinskih sklopova**, 2. jugoslovenska konferencija o tribologiji, YUTRIB'91, Kragujevac, 1991, Zbornik s. 71-74.
- [ 7. ] R. RAKIĆ, **The Influence of Tribological Processes on the Reliability of Machine Tools**, 11th International Conference on Production Research IC-PR'91, Hefei, China, 1991, Proceedings pp. 749-752.

\* Rad je izložen na Trećoj jugoslovenskoj konferenciji o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 24.-25. juna 1993. god.

## The Influence of Tribological Processes on The Reliability of Hydraulic Systems of Machine Tools

*The use of hydraulic systems for the setting, operation and control of machine tools has increased rapidly in recent years. Hydraulic mechanisms are nowadays often linked to electronic controls or to feedback control systems. In machine tools, hydraulic systems have the advantage of providing stepless and vibrationless transfer of power.*

*The aim of investigation consists of:*

- reducing the intensity of development of tribological processes,
- decreasing the frequency of failures and
- increasing the reliability of hydraulic systems.

## Влияние трибологических процессов на производительность гидравлических систем в металлообрабатывающих станках

*В настоящее время в металлообрабатывающих станках всё больше используются гидравлические системы. Их преимущество над другими типами систем проявляется в меньшей вибрационной активности при передаче энергии.*

*Описание в настоящей работе исследования проводили с целью понижения интенсивности трибологических процессов и частотности отказов в работе и повышения производительности гидравлических систем.*