

INTEGRALNI MODEL POUZDANOSTI HIDRAULIČKIH SISTEMA S OBZIROM NA IZBOR RADNOG FLUIDA

Nemanja Nikolić¹, Katarina Nikolić², Darko Zikić³, Živoslav Adamović⁴

Rezime: Na izbor hidrauličkog fluida utiču faktori koje je potrebno u potpunosti sagledati i na osnovu najstrožijih kriterijuma, koje oni postavljaju, za što viši nivo pouzdanosti u radu, definisati poseban integralni model.

1. IZBOR HIDRAULIČKOG FLUIDA

1.1. Stacionarni hidraulički sistemi

Pod pojmom stacionarni hidraulički sistemi obuhvataju se sistemi koji rade u okruženju (ambijantu) kod koga je temperatura tokom godine na istom nivou ili se menja u manjim granicama, tako da nema veći uticaj na promenu vrednosti viskoznosti radnog fluida. Takvi hidraulički sistemi su najčešće zastupljeni u industriji, gde se u letnjem periodu temperatura okoline održava na vrednostima od 20 do 30 °C. To su najčešće sistemi presa, valjaoničkih stanova u čeličnoj i aluminijumskoj industriji, sistem valjaka u papirnoj industriji, hidraulički sistemi turbinskih postrojenja, mašine za brizganje plastike....

Uopšte, većinu industrijskih primena zadovoljava ISO-HM-tip mineralnog hidrauličkog ulja (monogradna hidraulička ulja) gradacije ISO VG32 ili 46 eventualno 68. Međutim u zavisnosti od upotrebe i pojedinih specifičnih zahteva hidrauličkih sistema i komponenata u hidrauličkim sistemima mogu se naći i drugačiji tipovi fluida kao što su: HM ulja sa modifikovanim karakteristikama, nezapaljivi, biorazgradivi, hidraulički fluidi na bazi emulzije, itd.

1.2. Mobilni hidraulički sistemi

Mobilni hidraulički sistemi se, za razliku od stacionarnih, najčešće nalaze u radnom okruženju sa velikim promenama temperatura. Hidraulički sistemi rade u uslovima gde se okolne i radne temperature kreću od ekstremno niskih do ekstremno visokih. Temperature okoline u kojima hidraulički sistemi rade se kreću od -60°C do +50°C dok su radne temperature najčešće od +20°C pa do +60°C. Hidraulički sistemi su veoma rasprostranjeni, i najčešće se sreću u: mobilnoj građevinskoj mehanizaciji, šumarskoj poljoprivrednoj mehanizaciji, rečnim i prekomorskim brodovima, avio i svemirskoj tehnologiji, hidrauličkim sistemima na branama itd.

Mobilne mašine najčešće koriste **ISO-HV tip ulja, ISO VG32** mineralno hidrauličko ulje za radne temperature u opsegu od -20 do +70°C. Ovakve temperature iziskuju upotrebu **multigradnih mineralnih ili sintetičkih fluida** koji poseduju dobru osobinu smicanja i sadrže improvere viskoznosti radi prilagođavanja viskoznosti ulja određenim temperaturama.

Na dalji izbor hidrauličkog fluida direktno utiču uslovi, koji se postavljaju od strane parametara koji okružuju hidraulički sistem, parametara koji su sami deo hidrauličkog sistema ili neki drugi koji se postavljaju od strane korisnika hidrauličkog fluida.

Uslovi koji vrše direktan uticaj na izbor određenog hidrauličkog fluida su prikazani u tabeli 1:

¹Želvoz, Miloša Velikog 39, Smederevo, office@zelvoz.rs

²Želvoz, Miloša Velikog 39, Smederevo, office@zelvoz.rs

³Hidraulika, Zrenjanin

⁴Ph.D., Akademija mašinskih nauka, Niš

Tabela 1– Parametri koji utiču na izbor hidrauličkog fluida

Uticajni parametri	Zahtevi
„OKRUŽENJE“	Upotreba teškozapaljivih fluida, ekološki zahtevi u pogledu korišćenja biorazgradivih tečnosti zbog zaštite životne sredine ili upotreba posebnih hidrauličkih fluida za specifične primene ili
„HIDRAULIČKE KOMPONENTE“	Neke komponente hidrauličkog sistema (hidro motori, pumpe, servo ventili, proporcionalni ventili...) imaju posebne zahteve u pogledu potrebne čistoće ulja, fizičko-hemijskih osobina ulja, zadovoljenje određenih specifikacija u pogledu karakteristike
„RADNI PARAMETRI“	Radni parametri u sistemu mogu svojim vrednostima da utiču na promenu fizičko-hemijskih osobina ulja. Ti radni parametri su: pritisak i radna temperatura ulja;
„POSEBNI ZAHTEVI“	Odnosi se na neke od posebnih zahteva u pogledu fizičko-hemijskih osobina ulja kao što su: sadržaj vode u ulju, brzina

1.3. Uticaj parametara „okruženja“ na izbor hidrauličkog ulja

Prilikom analize odabira odgovarajućeg hidrauličkog fluida za posmatrani hidraulički sistem, u prvoj analizi uticaja parametara okruženja posmatraju se sve vrste hidrauličkih fluida. Sve ove vrste fluida nalaze svoju primenu u hidrauličkim sistemima koji, postavljaju određene uslove i ograničenja za primenu odgovarajućeg hidrauličkog fluida za postavljene zahteve.

Parametri „okruženja“ u kojima hidraulički sistem radi omogućavaju da se u prvom koraku izbor hidrauličkog fluida usmeri ka određenoj grupi fluida.

U zavisnosti od odgovarajućih zahteva koji se postavljaju, praćenjem daljeg toka analize dolazi se do odgovarajućeg rešenja u vidu određene grupe hidrauličkih fluida:

- Sintetički hidraulički fluidi i
- Mineralni hidraulički fluidi.

Uticaj parametara „okruženja“ na izbor hidrauličkog fluida svodi se na proveru procedure hidrauličkog fluida u odnosu na sledeće zahteve:

- otpornost na paljenje hidrauličkog fluida;
- zaštite životne sredine;
- specifičnosti zahteva primene i
- temperature okoline u kojoj se hidraulički sistem nalazi.

1.4. Temperatura okoline u kojoj se nalazi hidraulički sistem

Ukoliko je proces odlučivanja prošao bez postavljanja zahteva u pogledu zapaljivosti, biorazgradivosti ili specifične karakteristike, tada se pristupa posmatranju uticaja okolne temperature, posebno kada se radi o grupi **mineralnih hidrauličkih fluida**.

Ukoliko eksploatacija hidrauličkog sistema u ambijentu kod koga nema velikih temperaturnih promena (zatvoreni prostori, industrijske hale ili je u hidrauličkom sistemu postavljen sistem za grejanje/hlađenje – regulisanje temperature), biraju se monogradna hidraulička ulja mineralnog porekla sa indeksom viskoznosti od najmanje 90 (tip HM ulja), a ukoliko su promene temperature ambijenta velike (u zimskom periodu do -30°C, a u letnjem i do +50°C) izbor pada na multigradna hidraulička ulja mineralnog porekla sa indeksom viskoznosti preko 120 (tip HV ulja).

Međutim, analiza izbora odgovarajućeg hidrauličkog ulja za posmatrani hidraulički sistem ovde se ne završava, jer je potrebno razmotriti i ostale parametre, koji utiču ili postavljaju određene zahteve i ograničenja u pogledu primene hidrauličkog fluida.

Tema rada je stvaranje integralnog modela za izbor mineralnog hidrauličkog ulja za određeni hidraulički sistem. Posle razmatranja uticaja parametara „OKRUŽENJA“ ostali uticajni elementi, koji su analizirani u radu i prikazani na algoritamskom modelu, tiču se zahteva i uticaja parametara, koji se postavljaju i odnose na problematiku izbora **mineralnih hidrauličkih fluida**.

Izbor grupe viskoznosti za mineralna hidraulička ulja u odnosu na temperaturu okoline vrši se po sledećem redosledu prikazanom u tabeli 2:

- Hidrauličko mineralno ulje sa antihabajućim karakteristikama
- Hidrauličko mineralno ulje sa antihabajućim karakteristikama i visokim indeksom viskoznosti.

Tabela 2 –Izbor viskozne grupe u odnosu na temperaturu okoline

Hidrauličko mineralno ulje		
Temperatura okoline	HM ¹⁾	HV ²⁾
-21°C do 60°C	ISO 22	ISO 32
-15°C do 77 °C	ISO 32	ISO 46
-9°C do 88°C	ISO 46	ISO 68
-1°C do 99°C	ISO 68	ISO 100

Temperatura okoline utiče na viskoznost ulja. Posebno je potrebno posmatrati uticaj minimalne temperature na radnu viskoznost ulja u trenutku starta pumpe u hidrauličkom sistemu. Promena viskoznosti u odnosu na temperaturu se posmatra unošenjem vrednosti minimalne temperature u viskozno – temperaturni dijagram i određivanje maksimalne vrednosti startne viskoznosti za posmatranu viskoznu klasu hidrauličkog fluida. Granice viskoznosti najčešće postavljaju proizvođači komponenti.

Uticaj hidrauličke komponente na izbor odgovarajuće viskoznosti ulja. Za ulja sa povećanim indeksom viskoznosti (tip HV) važno je naglasiti da kod visokih brzina smicanja (npr. kod klipnih pumpi na mestu kontakta klipa i košuljice) dolazi do cepanja i razgradnje polimernih aditiva, pa se viskoznost realno smanjuje. Zato se najčešće kod korišćenja ulja tipa HV preporučuje jedna viskozna gradacija više, nego kada se koristi ulje tipa HM – npr. umesto ulja ISO VG 32 upotrebljava se ulje gradacije ISO VG 46.

1.5. Uticaj radne temperature na izbor hidrauličkog ulja

Posebno važan uslov za izbor mineralnog hidrauličkog ulja je dozvoljeno radno temperaturno područje hidrauličkog sistema.

Za hidrauličke sisteme, može se napraviti sledeća podela temperaturno/viskoznih područja:

- područje optimalnih temperatura (viskoznosti),
- radno dozvoljeno područje,
- kratkotrajno najniže dozvoljene temperature (viskoznosti),
- kratkotrajno najvišedozvoljenetemperature (viskoznosti).

Za dug vek korišćenja hidrauličkih komponenti, potrebno je viskoznost hidrauličkog ulja održavati u granicama optimalnih vrednosti – to se najčešće postiže držanjem temperature u granicama potrebnih i dozvoljenih vrednost. Optimalne vrednosti radne temperature u hidrauličkom sistemu

iznose najčešće od **40°C do 60°C**, a tačne vrednosti zavise od zahteva komponenti i startne vrednosti viskoznosti ulja.

Predhodno navedene vrednosti temperature (od **40°C do 60°C**), predstavljaju najoptimalniji opseg, što ne znači da realne radne i okolne temperature ne mogu biti nižih i viših vrednosti.

Upotrebom viskozno – temperaturnog dijagrama i na osnovu preporuka proizvođača komponenti za maksimalne, optimalno radne i minimalno dozvoljene vrednosti temperature određuju se viskozne granice hidrauličkog ulja.

Iz prethodno navedenog, zaključuje se da je sa stanovišta izbora hidrauličkog ulja bitno poznavanje radnih temperatura upravo radi određivanja viskoznih opsega iz viskozno – temperaturnog dijagrama, bitnih za obezbeđivanje dugog eksploatacionog veka hidrauličkih komponenti sistema.

1.6. Uticaj pritiska kao radnog parametra na izbor ulja

Uticaj pritiska na izbor hidrauličkog ulja može se posmatrati u sledećim slučajevima:

Mehanička opterećenja unutar hidrauličkih komponenti su rezultat kombinovanog dejstva konstrukcije komponenti i visokih radnih pritisaka hidrauličkog fluida, koji deluje na površine sa kojima je u kontaktu. Sila pritiska se prenosi delom na telo komponente, a zatim do kontakta površina, gde se stvara mehanička sila pritiska. Bez obzira na poreklo, karakter kontakta i veličinu specifičnog pritiska, hidrauličko ulje mora da spreči direktan kontakt metalnih površina, i tako smanji koeficijent trenja odnosno uspori proces habanja.

U konstrukcijama hidrauličkih komponenti postoji veliki broj sklopova, kod kojih su prisutna ekstremna opterećenja i visoka sklonost ka procesu habanja. Ovde se nabrajaju samo neki karakteristični sklopovi:

- kotrljajući ležajevi u pumpama i hidrauličkim motorima;
- krilce – statorski prsten krilne pumpe;
- krilce – žleb rotora krilne pumpe;
- doboš – sabirna ploča klipno aksijalne pumpe;
- klip – cilindarska košuljica klipnih pumpi, posebno sa visokom brzinom klizanja;
- konusni klip – sedište ventila

2. USLOVI POTREBNOG STEPENA ČISTOĆE ULJA

2.1. Opšte napomene

Kontaminacija hidrauličkog fluida je veoma prisutna u hidraulici, posebno u sistemima koji rade u sredinama sa visokim sadržajem čvrstih čestica u vazduhu i sistemima koji rade u dodiru sa vodom (valjaonice čelika, bakra i aluminijuma, građevinske mašine, rudarske mašine, poljoprivredna mehanizacija...).

Čvrste čestice u hidrauličkom sistemu su uvek prisutne, jer se one unose u hidraulički sistem na razne načine: u toku montaže, preko usisnog otvora vazduha na rezervoaru, radnih elemenata hidrauličkog sistema (klipnjače cilindra, zaptivni elementi hidro motora, habanje radnih elemenata hidrauličkih komponenti) i ulja kojim se puni rezervoar hidrauličkog sistema.

U literaturi se mogu naći sledeće informacije:

- Nov hidraulički fluid u bačvi ili cisterni, najčešće nema potreban stepen čistoće. Čvrste čestice prisutne u ulju mogu biti poreklom od procesa proizvodnje ili od bačve, čija unutrašnja površina nije bila dovoljno čista. Procenjuje se da u relativno čistom i novom ulju u bačvi ima 30.000 do 50.000 čvrstih čestica većih od 5 μm u 100 ml uzorka, a da u celoj bačvi ima do 1,6 milijardi čvrstih čestica raznih veličina.
- Prema C. Fitshu (SAD) kod nekog referentnog hidrauličkog sistema kod svakog uvlačenja klipnjače u cilindar, svaki cm^2 površine unosi po jednu česticu veličine veće od 10 μm . Obim unošenja čvrstih čestica preko površine klipnjače se ilustruje sledećim primerom: klipnjača prečnika 50 mm, dužine hoda 100 mm i brzine kretanja 12 m/min unosi u cilindar svake minute oko 20.000 čvrstih čestica veličine preko 10 μm . Za realne ili određene uslove rada ovaj broj se treba korigovati: faktorom vremena rada i faktorom stanja okoline. Potreban nivo čistoće hidrauličkog fluida definiše se u odnosu na nekoliko kriterijuma: konstrukcija komponenti i sistema, veličina zazora unutar hidrauličkih komponenti, godina proizvodnje, važnost mašine u tehnološkom procesu, preporuka proizvođača hidrauličkih komponenti, uslovi okoline u kojima radi mašina na kojoj je ugrađen hidraulički sistem i drugo.

Kako se vidi, u donošenju odluke o potrebnom stepenu čistoće hidrauličkog fluida učestvuje više kriterijuma, što znači da odluka o potrebnoj čistoći hidrauličkog fluida za određen hidraulički sistem nije jednoznačno određena. Uz sve navedeno, mora se imati u vidu, da razne firme – proizvođači hidrauličkih komponenti, imaju različite pristupe u oceni potrebnog stepena čistoće fluida.

Analizom stručne literature i preporuka proizvođača hidrauličkih komponenti može se uočiti da se odluka o potrebnom stepenu čistoće fluida može doneti na osnovu kriterijuma koji se povezuju sa zahtevima:

- konstrukcije hidrauličkog sistema i/ili konstrukcije mašine na kojoj je ugrađen;
- konstrukcije hidrauličkih komponenti bez obzira na veličinu radnog pritiska;
- konstrukcije hidrauličkih komponenti i radnog pritiska.

Kao posebno karakteristične u pogledu zahteva, ističu se servo komponente, kod kojih se zazori kreću od 3 do 5 μm . One su upravo najveći problem, jer ako su prisutne čestice kontaminanta veće od tri mikronmetra, dolazi do blokiranja zazora, njenog zaglavljivanja (čestice), pojave trenja i habanja koje na kraju dovodi do abrazivnog habanja i pojava riseva i povećanja zazora unutar komponente. Da bi se uopšte ilustrovala veličina čvrste čestice od 1 μm , napravljeno je poređenje njene veličine sa debljinom vlasi ljudske kose.

Prisustvo čvrstih čestica, pojedinih materijala i aditiva, koji su dodati ulju (cink kao aditiv za antihbajuću osobinu ulja), najčešće se ispituju spektrometrijskom analizom. Spektrometrijska analiza daje rezultate u pogledu količine i prisustva čvrstih čestica i ostalih materijala.

2.2. Kriterijumi čistoće ulja

Postoji nekoliko standarda za određivanje stepena čistoće ulja, bez obzira na njihovo poreklo i materijal, koji definišu čistoću ulja na različite načine:

- **ISO 4406 (1999)** – standard kojim se definiše veličina čvrstih čestica u 1 ml ulja veličina od 4,6 i 14 μm (merene u tri dimenzije);
- **ISO 4406 (1987)** – standard kojim se definiše veličina čvrstih čestica u 100 ml ulja veličina od 2,5 i 15 μm (merene u dve dimenzije);
- **NAS 1638 (1964)**, kojima se definiše sadržaj čvrstih čestica u 100 ml ulja od 5-15, 15-25, 25-50, 50-100 i preko 100 μm ;
- američki **SAE 749D(1963)**;
- vojni američki standard **MIL STD 1246A (1967)**;
- **ACFTD**, koji gravimetrijskom metodom definiše sadržaj čvrstih čestica. Najčešće se koriste sledeći standardi: **ISO 4406 i NAS 1638**.

2.2.1. Definisanje klase čistoće ulja prema ISO 4406 (1987) i ISO 4406 (1999)

Od strane proizvođača komponenti najčešće se postavljaju zahtevi u pogledu čistoće hidrauličkog ulja prema standardu **ISO 4406 (1987)**, a u zadnje vreme prema **ISO 4406 (1999)**. Od 1987. godine definisane su klase čistoće prema **ISO 4406 (1987)** za merenje čestica ulja u 100 ml ulja za veličine čestica od 5 i 15 μm , a nekoliko godina kasnije počele su se meriti i čestice veličine od 2 μm . Ovim standardom se merenje čvrstih čestica vršilo laserskim snimanjem u dve dimenzije tako da se nisu dobijale realne veličine čestica.

Za bolje razumevanje razlika u klasama čistoće, dat je prikaz navedenih klasa čistoće ulja u tabeli 3 sa brojem čestica za odgovarajuću klasu.

Tabela 3 – Prikaz klasa čistoće sa foto snimaka na slici 2 brojčanim veličinama prema ISO 4406 (1987) standardu

Veličina čvrstih čestica	2 μm	5 μm	15 μm
Klasa čistoće	16	15	12
Broj čestica u 100 ml ulja	32 000 do	16 000 do	000 do
Klasa čistoće	23	21	18
Broj čestica u 100 ml ulja	$\times 10^6$ do	1×10^6 do	130 000 do

Ako se u tabeli 3. pogledaju razlike u broju čestica veličine 2 μm , uočava se da je broj čestica u klasi 23 veći za 125 puta u odnosu na klasu 16. Za čestice veličine 5 μm , broj čestica u klasi 21 je veći u odnosu na klasu 15 za 62.5 puta. Čestice od 15 μm u klasi 18 ima više za 62.5 puta u odnosu na klasu 12. Ovim primerom je dat prikaz različitih klasa čistoća ulja kako bi se što bolje uvidela razlika i stvorila slika o tome šta je čisto a šta kontaminirano ulje.

2.3. Dozvoljeni sadržaj vode u ulju

Voda u hidrauličkom sistemu je nepoželjan element. Voda utiče na pojavu stvaranja korozije, povećanja kiselosti ulja i njegovo ubrzano starenje, stvaranja emulzija (ukoliko se veže za ulje nastaju čvrste emulzije a ako se ne vežu, tada se posle određenog vremenskog perioda razdvoje na ulje i vodu) te tako ubrzava propadanje hidrauličkog ulja.

Različiti proizvođači hidrauličkih komponenata daju preporuke u pogledu dozvoljenog sadržaja slobodne vode u hidrauličkom fluidu.

Prema preporukama proizvođača datih u tabeli 4. dozvoljeni sadržaj vode u ulju u toku eksploatacije za njihove komponente u sistemu su:

Tabela 4– Dozvoljeni sadržaj vode u hidrauličkom fluidu u eksploataciji

Proizvođač komponenti	Dozvoljeni sadržaj vode u
Bosch – REXROTH	< 0.1% (1000 ppm)
DENISON	< 0.1% (1000 ppm)
SAUER - DANFOSS	<0.1% (1000 ppm)

Iz tabele se može zaključiti da su proizvođači komponenti dali iste preporuke što je i vidljivo. Međutim dozvoljeni sadržaj vode u ulju može biti i manji i veći sve u zavisnosti od zahteva, primene i hemijske formulacije samog hidrauličkog fluida.

2.4. Brzina izdvajanja vazduha iz ulja

Konstrukcijom hidrauličkog sistema i karakteristikama ulja, uvek se nastoji približiti idealnom slučaju – da na mestu uvođenja u usisnu komoru pumpe u ulju ne bude nerastvorenog vazduha. Taj idealni slučaj naravno nije moguće postići, ali je moguće približiti mu se tako što će se iz ulja izdvojiti najveći deo vazduha za vreme kratkotrajnog boravka u rezervoaru. U vezi sa takvim zahtevom povezuje se karakteristika: **brzina izdvajanja vazduha**.

Brzina izdvajanja mehurića vazduha definiše se vremenom (minuta) koje je potrebno mehuriću vazduha da pređe put od 1 m. Osim od karakteristika ulja, brzina izdvajanja zavisi i od prečnika mehurića.

Postupak merenja brzine izdvajanja vazduha iz pripremljenog uzorka definisan je standardom ISO 9120, koji je baziran na standardu DIN 51381/1988, prema kome se kod temperature od 50°C meri vreme izdvajanja (kretanje od dna prema površini) dispergovanog vazduha do ostatka od 0,2%. Standardom DIN 9120 definiše se maksimalno dozvoljeno vreme izdvajanja vazduha u odnosu na viskoznost HM i HV ulja prema sledećem (tabela 5):

Tabela 5 – Brzine izdvajanja vazduha iz ulja za hidraulička ulja tipa HM i HV

	Standard	VISKOZNA GRADACIJA ULJA					
		VG10	VG22	VG32	VG46	VG68	VG100
Brzina izdvajanja vazduha,		5	5	5	10	10	14
Brzina izdvajanja vazduha,	ISO 9120	7	7	7	12	12	20

2.5. Penušanje ulja

Penušanje hidrauličkog fluida za hidrauličke sisteme je vaoma važna karakteristika posebno za sisteme koji imaju male rezervoare, a veliku brzinu optoka hidrauličkog fluida. U rezervoarima hidrauličkih sistema mobilnih mašina najčešće je prisutna ova problematika ulja. Na mobilnim

mašinama ugrađeni su mali hidraulički rezervoari sa visokim brzinama protoka hidrauličkog fluida i velikim brojem hidrauličkih pumpi koje rade na visokim radnim pritiscima. Penjanje hidrauličkih ulja se ispituje na nekoliko načina – metoda, koje su propisane odgovarajućim standardima.

2.6. Kompresibilnost ulja

Kompresibilnost ulja je karakteristika ulja vezana za sledeće veličine u hidrauličkom sistemu:

- veličinu radnog pritiska u sistemu i
- temperaturu ulja.

U zavisnosti od veličine radnih pritisa, temperatura i brzine termodinamičkog procesa zavisice i promene zapremine hidrauličkog fluida u sistemu. Ono što je potrebno naglasiti da je kompresibilnost ulja direktno povezana sa osobinom ulja da rastvara vazduh i da ga vezuje za svoje molekule. Tako je poznato da ulje može da upije do 9% vazduha od celokupne zapremine ulja.

Kompresibilnost se proračunava prema sledećoj formuli:

$$\beta = \frac{1}{\Delta p} \frac{V_0 - V}{V_0}, \text{ srednji stepen stišljivosti,} \quad (1)$$

odakle sledi da je promena zapremine kod promene temperature: $\Delta V = V_0 - V = \beta \times \Delta p \times V_0$

Tabela 6 –Promena zapremine ulja usled promene pritiska

Pritisak (bar)	Relativna zapremina
100	99,3 (1)
200	98,7 (1)
300	98,1 (1)
400	97,5 (1)
500	96,8 (1)

Zahtev u pogledu kompresibilnosti ulja ne spada u domen opštih zahteva prilikom izbora hidrauličkog ulja, ali se može postaviti kao zahtev u konstrukcijama hidrauličkih sistema koji traže visok stepen tačnosti ili veliku brzinu odziva.

3. ZAKLJUČAK

„Krvotok“ svake hidraulične instalacije je radna tečnost koja govori o stanju celokupnog hidrauličnog sistema. Kao i kod čoveka kada posmatramo krvnu sliku, tako i kod hidraulične instalacije kada posmatramo radni fluid imamo sliku njenog „zdravstvenog“ stanja. Na osnovu navedenih činjenica koje su produkt empirijskog praćenja rada hidrauličnih mašina možemo zaključiti da je u najvećoj meri problem rada svake hidraulične instalacije povezan sa problemima neodgovarajuće radne tečnosti. Smatramo da ako se budemo vodili ovom činjenicom i sistematikom rešavanja ovog problema korak po korak vođeni iskustvima drugih kompanija koje su uvele proaktivan sistem održavanja, kao i vođeni ličnim iskustvima u rešavanju istih da ćemo doći do cilja koji podrazumeva pouzdanu, ekonomski isplativu i bezbednu eksploataciju hidrauličnih sistema. Vodeći se ovim pravilima, smatramo da ćemo otkloniti glavnu slabost tehnologije uljne hidraulike koja je svakako tehnologija budućnosti. Dalja istraživanja u ovom pravcu moraju teći u smeru ispitivanja svih subjekata koja mogu uticati na pouzdan rad svakog hidrauličkog sistema. Mora se doći do vrste radnog fluida koji bi imao fizičke i hemijske karakteristike slične kao sintetička ulja, a da mu cena bude što bliža ceni mineralnog ulja. Na ovaj način bi se približili pojmu idealne tečnosti koja je, po mom mišljenju, jedan od razvojnih pravaca uljne hidraulike.

4. LITERATURA

- [1] Ašković T.: *Hidraulika i pneumatika*, Mašinski fakultet, Beograd, 1997. god.
- [2] BAŠTA T.M.: *Mašinska hidraulika*, Mašinski fakultet, Beograd, 1990. god.
- [3] Adamović Ž.: *Dijagnostika industrijskih hidrauličkih sistema*, Tehdis, Beograd, 2004. god.
- [4] Adamović Ž.: *Osnovi i održavanja uljno – hidrauličnih sistema*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1997. god.
- [5] Savić V.: *Uljna Hidraulika*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003. god.
- [6] Žikić, D., Jaričić S.: *Uticaj radnog fluida na pouzdanost rada hidrauličkog sistema*, Časopis „Održavanje mašina“, br. 5-6, Smederevo, 2012, (ISSN 1952-9688)
- [7] Adamović Ž., Ilić B.: *Nauka o održavanju tehničkih sistema*, Srpski akademski centar, Novi Sad 2013. god.