

# UTICAJ ČVRSTIH DODATAKA NA KARAKTERISTIKE MAZIVIH MASTI

Branka Dugić-Kojić<sup>1</sup>, Pero Dugić<sup>2</sup>, Marica Dugić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Oil Refinery Modriča, Vojvode Stepe 49, Modriča, [branka@modricaoil.com](mailto:branka@modricaoil.com)

<sup>2,3</sup> Oil Refinery Modriča, Vojvode Stepe 49, Modriča, [pero@modricaoil.com](mailto:pero@modricaoil.com),  
[majad@modricaoil.com](mailto:majad@modricaoil.com)

## Rezime

Mazive masti predstavljaju grupu maziva koja se koriste za podmazivanje dijelova koji često mogu biti teže dostupni i koji zahtijevaju što duži period upotrebe. Da bi se postigle zahtijevane performanse, mazive masti su čest predmet istraživanja brojnih istraživača čiji su rezultati objavljeni u mnogobrojnim stručnim i naučnim radovima. Formulacije mazivih masti često sadrže čvrste dodatke koji u nekim slučajevima doprinose poboljšanju najvažnijih funkcionalnih karakteristika. Ispituju se različiti dodaci koji bi omogućili da se optimalnom koncentracijom postignu što bolji rezultati pojedinih karakteristika. Čvrsti dodaci prije svega utiču na antihabajuća i EP svojstva, koja ujedno predstavljaju i najvažnije funkcionalne karakteristike ove grupe maziva.

U ovom radu ispitivan je uticaj čvrstih dodataka na karakteristike aluminijum kompleksnih mazivih masti. Pored tradicionalnih čvrstih dodataka, grafita i molibden disulfida, koji su do sada korišteni, vršeno je uporedno ispitivanje sa volfram disulfidom, koji pripada novoj generaciji nanoaditiva čije čestice imaju nanometarske dimenzije i koji sve više postaje tema brojnih istraživanja. Pored osnovnih fizičko-hemijskih karakteristika koje su određivanje standardnim metodama, antihabajuća i EP svojstva su određivana metodom 4 kuglice, ASTM D 2266 i ASTM D 2783-88.

*Ključne riječi:* mazive masti, čvrsti dodaci, antihabajuća i EP svojstva, volfram disulfid.

## Abstract:

Lubricant greases represent group of lubricants that are used for lubrication of parts that can often be hardly accessible and demand longer usage period. In order to achieve desired performance, lubricant greases are often subject of research by many researchers whose results are published in many professional and scientific papers. Lubricant greases formulations often contain solid additions which in some cases contribute to improved most important functional characteristics. Different additions are being tested in order to find optimal concentration for best results of some characteristics. First of all, solid additions affect antiwear and EP characteristics, that also represent the most important functional characteristics of this group of lubricants.

In this paper, we examined the effect of solid additions on aluminum-complex lubricant greases characteristics. In addition to traditional solid additions, graphite and molybdenum disulphide, that were used till now, we did a comparative testing with tungsten disulphide, which belong to the new generation of nano-additives whose particles have nano dimensions and are being subject for numbers of research. Beside basic physical-chemical characteristics that were determined using standard methods, antiwear and EP properties are determining by four ball method, which is ASTM D 2266 and ASTM D 2783-88.

**Keywords:** lubricant greases, solid additions, antiwear and EP properties, tungsten disulphide

## Uvod

Razvojem modernije opreme koja ima poboljšane performanse, pred mazive masti postavljaju se sve oštriji zahtjevi. Mazive masti moraju da posjeduju izvanredne karakteristike, ali u isto vrijeme moraju da budu prihvatljive i sa ekonomske tačke gledišta.

Iako danas postoji velik broj aditiva, čvrsti dodaci takođe predstavljaju jednu od bitnih komponenata koje se koriste u formulacijama mazivih masti. Njihova efikasnost nije zavisna od temperature nego od pritiska koji je potrebno ostvariti da bi došlo do formiranja mazivog filma. Upotrebom čvrstih dodataka smanjuje se trenje i habanje u uslovima graničnog podmazivanja bez potrebe za povećanjem radne temperature. Oni takođe, predstavljaju alternative u slučajevima gdje tradicionalni aditivi ne bi mogli ispuniti tražene zahtjeve. Tipično područje primjene čvrstih aditiva je područje malih brzina, visokih pritisaka i visokih temperatura.

Najpoznatiji i najčešće korišteni čvrsti dodaci su grafit i molibden disulfid, koji su poznati po svojoj laminarnoj strukturi, a pored njih sve veći značaj dobija i volfram disulfid koji pripada grupi nanoaditiva, čije čestice imaju nanometarske dimenzije.

## Čvrsti dodaci

Čvrsta maziva predstavljaju čvrste materije koje zbog svoje strukture omogućavaju međusobno razdvajanje dvije površine koje su u relativnom kretanju i na taj način smanje trenje i spriječe zavarivanje materijala. Prema svojoj strukturi, čvrsta maziva se dijele na:

- Maziva sa hemijski izgrađenim slojevima (*Na, Ca, Al, Li i drugi sapuni u obliku praha ili kao ugušćivači*)
- Maziva sa slojevitom strukturom (*najzastupljenija grupa čvrstih dodataka*)
- Maziva bez slojevite strukture (*oksidi molibdena i volframa, fosfati, oksidi, hidroksidi i sulfide kalcijuma i cinka*)
- Metalni filmovi kao maziva (*bakar, kositar, srebro, zlata*)
- Termoplasti kao maziva (*PTFE*)

Da bi se čvrsti dodaci mogli uspješno primjenjivati, neophodno je da posjeduju sljedeće karakteristike:

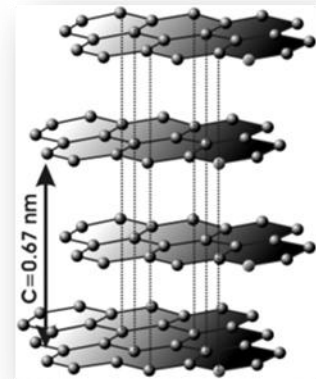
- Malo, ali konstantno i kontrolisano trenje
- Hemijsku stabilnost u širokom rasponu radnih temperatura
- Da ne oštećuju materijal
- Da dobro prijanja na obje površine da bi se što duže zadržao na površinama materijala
- Dobru otpornost prema habanju u cilju što duže upotrebe
- Jednostavnu primjena u kontrolisanim uslovima
- Da nije toksično
- Ekonomičnost [1]

## Tipovi čvrstih maziva

### Grafit

Grafit predstavlja kristalni oblik ugljenika u kome su atomi grupisani heksagonalno i u normalnim slojevima. U njegovoj heksagonalnoj strukturi, veze između ugljenikovih atoma u sloju su jake hemijske kovanentne veze, tako da su slojevi jako povezani i kristali su otporni na savijanje ili kidanje slojeva.

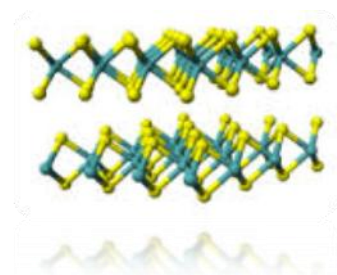
Postoje dvije osnovne grupe grafita: prirodni i sintetski. Prirodni grafit se javlja u velikim rudnim žilama ili u ljuspama: međutim, dosta varira u pogledu stepena kristalnosti i čistoće. Čistoća varira od 80 do 90 %, ali se rafinacijom može povećati i do 98 %. Sintetski grafit je jako kristaličan i veoma čist, te sadrži u prosjeku oko 98,5 % C. Grafit je najpogodniji za podmazivanje u normalnim uslovima, međutim može da podnese stalne temperature od 450 °C u atmosferi vazduha (zraka) i da pri tome obezbijedi efikasno podmazivanje. Osnovne karakteristike grafita kao maziva su:



- Malo trenje 0,05-0,15 zavisno od pritiska
- Dobra adhezija
- Dobra termička ili električna provodljivost
- Upotrebljivost na niskim temperaturama i na temperaturama do 540 °C u vazduhu
- Loše performanse u vakuumu ili kada je veoma suv
- Dobre performanse u prisustvu tečnosti
- Zbog boje nije prihvatljiv za određene primjene [2]

### Molibden disulfid - MoS<sub>2</sub>

Molibden disulfid je drugo po značaju čvrsto mazivo koje se koristi dugi niz godina. Hemijska formula je MoS<sub>2</sub>, gdje je jedan atom molibdena povezan sa dva atoma sumpora. Poput grafita i MoS<sub>2</sub> ima slojevitú rešetkastú heksagonalnú strukturu. Ova struktura posjeduje alternativne slojeve molibdena i atome sumpora. Malo trenje MoS<sub>2</sub> je bitno svojstvo koje je povezano sa njegovom kristalnom strukturom. MoS<sub>2</sub> ima bolje performanse podmazivanja nego grafit. Najefikasniji je za podmazivanje pri visokom opterećenju kada temperatura ne prelazi 400 °C. Druga prednost je što može da se koristi za podmazivanje u vakuumu dok grafit nema tu mogućnost. To je zbog bitnih svojstava podmazivanja koja posjeduje MoS<sub>2</sub>. Sa druge strane sposobnost podmazivanja MoS<sub>2</sub> se smanjuje u prisustvu vlage zato što dolazi do oksidacije MoS<sub>2</sub> u MoO<sub>3</sub>.



Njegove osnovne karakteristike su:

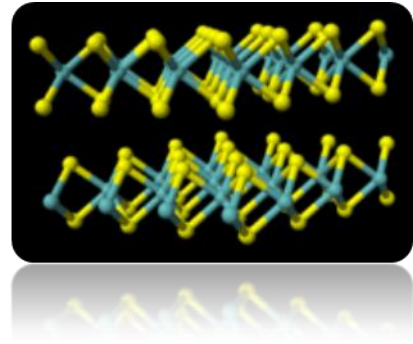
- Nisko trenje, 0,03-0,1, zavisno od opterećenja
- Odlična prionljivost, naročito u suvim uslovima
- Efikasan je na niskim temperaturama i do 350 °C u vazduhu

- Veoma visoka sposobnost podnošenja opterećenja [3]

### **Volfram disulfid - WS<sub>2</sub>**

Volfram disulfid je hemijsko jedinjenje formule WS<sub>2</sub>. Pojavljuje se u prirodi kao rijetki mineral poznat kao tungstenit. Koristi se kao komponenta za katalizatore koji se primjenjuju u procesima hidrodesulfurizacije i hidrogenitrifikaciju.

WS<sub>2</sub> ima slojevitou strukturu isto kao MoS<sub>2</sub>, sa atomom W koji se nalazi u trougaonou prizmatičnou koordinatnou sferi. S obzirom da posjeduje ovu slojevitou strukturu, WS<sub>2</sub> obrazuje neorganske nanocjevčice. Kada sagorijeva u atmosferi koja sadrži kiseonik, WS<sub>2</sub> prelazi u volfram trioksid. Kada se zagrijava u prisustvu kiseonika, WS<sub>2</sub> se ne topi, ali se razlaže do volframa i sumpora na 1250 °C. Komponente sa WS<sub>2</sub> mogu postići koeficijent trenja od 0,07 (dinamički) i 0,03 statički. WS<sub>2</sub> je takode primjenljiv u širokom području temperatura. Na atmosferskim pritiscima može podnijeti temperature od -270 do +650 °C, a u vakuumu temperaturno područje je od -188 do +1316 °C. Pored toga, u nekim slučajevima, WS<sub>2</sub> može podnijete ekstremne pritiske i do 2100 MPa. Može se primjenjivati na sobnou temperaturi, ne zahtijeva smole kao vezivna sredstva. WS<sub>2</sub> može eliminisati potrebu za tečnim mazivima ili se može koristiti sa mineralnim uljima, mazivim mastima, sintetkim uljima i hidrauličnim fluidima. Ima afinitet prema mazivima i održavanju hidrodinamičkog sloja. Pomaže da se mast zadrži na površini, a pri tome povećavajući sposobnost podmazivanja. [4,5]



### **Materijali i metode rada**

Eksperimentalni dio rada izveden je u laboratoriji za ispitivanje mazivih masti u Rafineriji ulja Modriča koja je akreditovana po međunarodnom standardu ISO 17025, a za pripremu bazne masti korištene su sledeće komponente:

- Aditiv A
- Aditiv B
- Aditiv C
- Bazno ulje 1 (BU 1)
- Bazno ulje 2 (BU 2)

Karakteristike svih komponenata date su Tabelama 1 i 2.

Tabela 1. Fizičko-hemijske karakteristike baznih ulja BU 1 i BU 2.

Karakteristika	Metoda	BU 1	BU 2
Viskoznost na 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	BAS ISO 3104	372,79	90,77
Viskoznost na 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	BAS ISO 3104	20,12	10,39
Indeks viskoznosti	BAS ISO 2909	47	95
Tačka paljenja, °C	BAS ISO 2592	270	252
Tačka tečenja, °C	BAS ISO 3016	-19	-9
Gustina na 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	ASTM D 5002	923,1	878,1
Boja	ASTM D 1500	L2,5	L2,5
Neutralizacioni broj, mgKOH/g	ISO 6618	0,006	0,006
Strukturni sastav,			
C <sub>A</sub> , % m/m	IR po Brandes-u	16,29	9,19
C <sub>P</sub> , % m/m	CEI IEC 590	54,88	61,52
C <sub>N</sub> , % m/m		28,83	29,29

Tabela 2. Fizičko-hemijske karakteristike aditiva A, B i C

Karakteristika	A	B	C
Izgled	Žuta tečnost	Bezbojni kristali	Bijeli prah
Gustina na 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	1,0	1,27	0,862 (80 °C)
Sadržaj Al, % m/m	12,5-12,9	-	-
Tačka paljenja, °C	60	-	
Tačka topljenja, °C	-	122,3	55
Tačka ključanja, °C	-	250	-

U Tabeli 3 data je formulacija čiste bazne masti.

Tabela 3. Formulacija čiste bazne masti

Aditiv/bazno ulje	Procenat, % m/m
A	2,5
B	3,54
C	1
BU 1	20,0
BU 2	59,11

Eksperimentalni dio ovog rada obuhvatao je ispitivanje aluminijum kompleksnih mazivih masti koje su formulisane sa tri različita čvrsta dodatka: grafitom, molibden disulfidom i volfram disulfidom koji pripada grupi nanoaditiva. Molibden disulfid i grafit su dodati u koncentracijama od 2 % m/m, 4 % m/m, 6 % m/m, 7 % m/m i 8 % m/m, dok je volfram disulfid dodat u koncentracijama od 0,5 % m/m, 1,0 % m/m, 1,5 % m/m, 2,0 % m/m, 2,5 % m/m i 3,0 % m/m. U Tabelama 4, 5 i 6 date su formulacije mazivih masti sa različitim količinama čvrstih dodataka.

Tabela 4. Formulacija Al kompleksne mazive masti sa molibden disulfidom

<b>Molibden disulfid-MoS<sub>2</sub></b>							
<b>Uzorak</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Bazna mast	100	94,5	92,5	90,5	88,5	87,5	86,5
Aditiv D	-	4	4	4	4	4	4
Aditiv E	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Aditiv F	-	1	1	1	1	1	1
<b>MoS<sub>2</sub></b>	-	-	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>

Tabela 5. Formulacija Al kompleksne mazive masti sa grafitom

<b>Grafit</b>							
<b>Uzorak</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Bazna mast	100	94,5	92,5	90,5	88,5	87,5	86,5
Aditiv D	-	4	4	4	4	4	4
Aditiv E	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Aditiv F	-	1	1	1	1	1	1
<b>Grafit</b>	-	-	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>

Tabela 6. Formulacija Al kompleksne mazive masti sa volfram disulfidom

<b>Volfram disulfid- WS<sub>2</sub></b>							
<b>Uzorak</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Bazna mast	100	94	93,5	93	92,5	92	91,5
Aditiv D	-	4	4	4	4	4	4
Aditiv E	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Aditiv F	-	1	1	1	1	1	1
<b>WS<sub>2</sub></b>	-	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>3</b>

Aditiv D je multifunkcionalni EP aditiv koji je posebno namijenjen za mazive masti. Obezbeđuje EP i antihabajuća svojstva, ali pruža i djelimičnu zaštitu od koroziju i pasivaciju bakra, a takođe djeluje i kao antioksidans.

Aditiv E je antioksidans. Po sastavu je cink dialkilditiofosfat sa primarnim i sekundarnim alkil grupama. Može da se koristi i kod sredstava za obradu metala zbog dobro izbalansiranih alkil grupa i nedostatka mirisa. Takođe ispoljava i blaga antihabajuća i EP svojstva.

Aditiv F je aditiv za prionljivost. Koristi se da poboljša vrijeme zadržavanja mazive masti na radnoj površini. Takođe se koristi da spriječi vodoispirljivost masti. [6]

U Tabeli 7 su date karakteristike aditiva D, E i F.

Tabela 7. Fizičko-hemijske karakteristike aditiva D, E, i F

Karakteristika	D	E	F
Izgled	-	Žuta tečnost	Bistra viskozna tečnost
Gustina na 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	1,082	1120 (20 °C)	0,875
Viskoznost na 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	109	100	-
Viskoznost na 100 °C, mm <sup>2</sup> /s	11	-	2850
Tačka paljenja, °C	109	>150	>155
Tačka tečenja, °C	-24	-	-

Ispitivanje trošenja vrši se po metodi **ASTM D 2266**, metodom 4 kuglice (Four Ball Method).

Količina trošenja zavisi od opterećenja, brzine, vremena trajanja ispitivanja, temperature, atmosfere i karakteristika maziva za ispitivanje. Ispitivanje treba izvršiti prema zadanim uslovima, u zavisnosti od tipa maziva, važećoj specifikaciji, posebnom zahtjevu korisnika ili internom standardu proizvođača maziva. Uslovi koji se koriste za ispitivanje mazivih masti su sljedeći:

Temperatura: 75 °C ± 2 °C

Brzina: 1200 o/min ± 60 o/min

Vrijeme: 50 min ± 1 min

Opterećenje: 60 kgf ± 0,2 kgf (600 N ± 2 N)

Čelična kuglica rotira pod opterećenjem od 60 kgf, temperaturom od 75 °C u dodiru sa 3 fiksne kuglice, čije su površine namazane mazivom, brzinom od 1200 o/min u trajanju od 50 min. Nakon završetka ispitivanja mjeri se prečnik istrošenja fiksnih kuglica pod mikroskopom sa tačnošću 0,01 mm u dva položaja, zatim se izračuna aritmetička sredina 6 izmjerenih vrijednosti. Rezultat se prikazuje kao srednji prečnik istrošenja kuglica. [7]

Određivanje tačke svarivanja vrši se po metodi **ASTM D 2783-88**, metodom 4 kuglice (Four Ball Method).

Određivanje tačke svarivanja se izvodi tako što se sukcesivno povećava opterećenje za svako navedeno ispitivanje, sve dok ne nastupi svarivanje.

Tačka svarivanja je najniže primijenjeno opterećenje kod kojeg rotirajuća kuglica zaribava, a zatim nastupa svarivanje 3 fiksne kuglice, pokazujući pri tome ekstremne pritiske koje može mazivo da podnese.

*Početno zaribavanje* je oblast kada nastupa momentalno oštećenje ili prekid mazivog filma pri primijenjenom opterećenju.

*Trenutno zaribavanje* kad pri primijenjenom opterećenju odmah na startu dolazi do zaribavanja ili svarivanja.

Uslovi ispitivanja su sledeći:

Temperatura: 27 ± 8 °C

Broj obrtaja: 1425 ± 60 min<sup>-1</sup>

Vrijeme ispitivanja: 10 ± 0,2 s [7]

## Rezultati i diskusija

Rezultati ispitivanih formulacija prikazani su u Tabelama 8, 9 i 10.

Tabela 8. Rezultati analize Al kompleksne mazive masti sa molibden disulfidom

Molibden disulfid-MoS <sub>2</sub>						
Koncentracija, % m/m	0	2	4	6	7	8
Mikropenetracija, mm/10						
+25 °C	613	620	605	572	609	564
-20 °C	226	279	249	230	249	230
Habanje, 60 kg, mm	0,57	0,71	0,62	0,65	0,70	0,63
Sila svarivanje, N	3000	3500	4300	6000	7900	7900

Tabela 9. Rezultati analize Al kompleksne mazive masti sa grafitom

Grafit						
Koncentracija, % m/m	0	2	4	6	7	8
Mikropenetracija, mm/10						
+25 °C	613	575	568	526	519	504
-20 °C	226	268	256	226	229	212
Habanje, 60 kg, mm	0,57	0,72	0,67	0,66	0,67	0,67
Sila svarivanje, N	3000	5400	5000	>7900	>7900	>7900

Tabela 10. Rezultati analize Al kompleksne mazive masti sa volfram disulfidom

Volfram disulfid-WS <sub>2</sub>							
Koncentracija, % m/m	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Mikropenetracija, mm/10							
+25 °C	613	587	605	605	605	609	602
-20 °C	226	249	260	256	230	238	268
Habanje, 60 kg, mm	0,57	0,7	0,65	0,66	0,66	0,70	0,63
Sila svarivanje, N	3000	3800	4500	5000	6300	7000	>7900

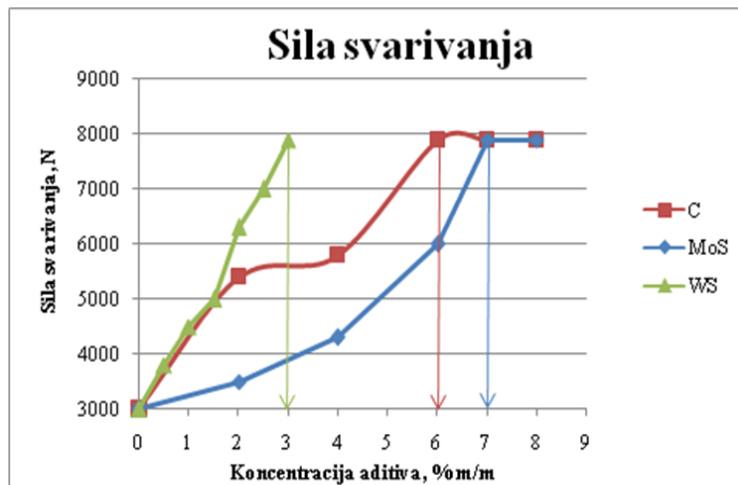
Posmatrajući rezultate prikazane u Tabeli 8. može se uočiti da se pri koncentraciji MoS<sub>2</sub> od 7 % m/m dobija tačka svarivanja od 7900 N. Vrijednosti za habanje se nalaze u okviru dozvoljenih granica.

Analizirajući rezultate prikazane u Tabeli 9. može se zaključiti da se pri koncentraciji od 6 % m/m grafita dobijaju jako visoke tačke svarivanja (iznad 7900 N) što znači da ova formulacija masti zadovoljava u pogledu ove karakteristike. Takođe, vrijednosti za habanje se nalaze u okviru dozvoljenih granica.

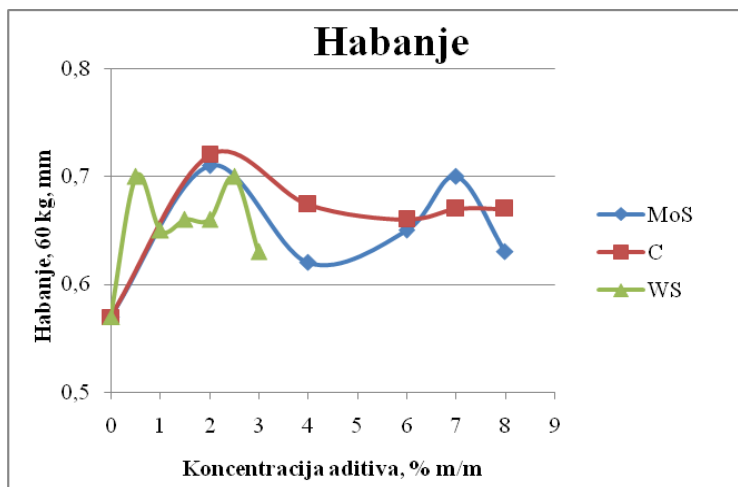
Posmatrajući rezultate prikazane u Tabeli 10. može se uočiti da već pri koncentraciji WS<sub>2</sub> od 2,5 % m/m dobijaju jako visoke tačke svarivanja (7000 N), dok se povećanjem koncentracije na 3 % m/m dobija tačka svarivanja iznad 7900 N, što ujedno predstavlja najoštriji zahtjev za ovaj tip mazive masti. Takođe, ako se posmatraju rezultati za habanje, može se uočiti da se vrijednosti kreću u okviru dozvoljenih granica.

Na Slikama 1, 2, 3 i 4 dat je grafički prikaz rezultata ispitivanja





Slika 1. Uporedni prikaz za sile svarivanja molibden disulfide, grafita i volfram disulfida



Slika 2. Uporedni prikaz za vrijednosti habanja kod molibden disulfide, grafita i volfram disulfida

## Zaključak

Na osnovu rezultata ispitivanja prikazanih u Tabelama 8, 9 i 10 mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Klasični čvrsti dodaci povećavaju efikasnost mazivih masti, tako molibden disulfid pri koncentraciji od 7 % m/m daje tačku svarivanja od 7900 N, dok se kod grafita pri koncentraciji od 6 % m/m dobija ista tačka svarivanja (7900 N).
- Savremeni čvrsti dodaci u mazivim mastima pokazuju veću efikasnost s obzirom da se već sa 3 % m/m dodatka  $WS_2$  postižu sile svarivanja iste vrijednosti kao sa dvostruko višim koncentracijama klasičnih čvrstih aditiva.
- Vrijednosti habanja na testu sa 4 kuglice su približno iste kod svih čvrstih dodataka.
- Ostale ispitivane karakteristike (tačka kapanja, procenat izdvajanja ulja, mehanička stabilnost) nalaze se u okviru propisanih granica za ovu vrstu mazive masti.

- Iako se sa nanoaditivima dobijaju bolji rezultati ispitivanja, cijena je još jedan bitan faktor koji treba uzeti u obzir prilikom odabira čvrstog maziva.

#### LITERATURA

1. Milka Šeteva, Svetlana Kostić, Milan R. Jovanović, Specijalna tribološka sredstva na bazi krutih maziva, Ivanić Grad, 1987
2. A. R. Lansdown, Lubrication and lubricant selection, a practical guide, 3<sup>rd</sup> Edition, 2004, str. 152-164
3. Leslie R. Rudnick, Lubricant additives, Chemistry and Applications, Marcel Dekker Inc, New York 2003, str. 171-200
4. Tungsten(IV) sulfide - Wikipedia, the free encyclopedia.mht
5. WS<sub>2</sub>, Tungsten Disulfide \_ WS<sub>2</sub>, Tungsten Disulfide Coating by Micro Surface Corporation
6. Interna literatura proizvođača aditiva
7. Standardne metode za određivanje antihabajućih i EP svojstava ASTM D 2266 i ASTM D 2783.