

PRILOG DIJAGNOZI TEHNIČKOG STANJA TRIBOLOŠKIH SISTEMA HIDRAULIČKOG BAGERA RH-120-E

Hasan Avdić², Asmir Demirović¹, Mehmed Hasanović¹

¹RMU – „Banovići“, d.d. Banovići

²Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet

Apstrakt: Utvrđivanje stanja triboloških sistema ima veoma značajnu ulogu u razvoju teorije i prakse trenja, trošenja i podmazivanja. U zadnje vrijeme posebna pažnja sa posvećuje razvoju savremenih uređaja i metoda za praćenje promjena stanja triboloških sistema. Danas se za dijagnosticiranje trošenja koriste različite fizičko – hemijske metode. Iskustva u eksploataciji tehničkih sistema i mehanizama pokazala su da je prognoziranje neispravnosti (proaktivni pristup održavanju) najefikasnije na osnovu parametara koji su pouzdani pokazatelji procesa habanja – čestica koje nastaju habanjem. Analiza uzoraka ulja koja sadrže čestice nastale trošenjem omogućava da se u ranim fazama korištenja sistema ocijeni stanje triboloških sistema. U ovom radu će biti prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja koja su izvedena na opremi (hidrostatički prenosnici snage hidrauličnog bagera RH- 120- E) u Rudniku mrkog uglja Banovići.

Ključne riječi: Dijagnoza, tehničko stanje, tribološki sistem, bager RH- 120-E

1. UVOD

Tribološko dijagnosticiranje kao skup sredstava i metoda stalne kontrole stanja tarnih karakteristika pokretnih sprega igra sve veću ulogu u razvoju teorije i prakse trenja, habanja i podmazivanja. Praksa eksploatacije tehničkih sistema i mehanizama pokazala je da je za prognoziranje njihovih neispravnosti u nizu slučajeva najefikasnije na osnovu čestica koje nastaju habanjem. Proučavanje uzorka ulja koje sadrži čestice nastale habanjem omogućava da se u raznim fazama korištenja tehničkih sistema ocijeni stanje tribomehaničkih sistema. U opštem slučaju koncentracija čestica u uzorku i njihova raspodjela po dimenzijama pokazuje brzinu habanja i stepen pohabanosti. Normalnom režimu rada odgovara ujednačena koncentracija sitnih čestica. Nagla pojava krupnih čestica u ulju ukazuje na početak procesa katastrofalnog habanja [1].

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

2.1 Plan eksperimenta

Istraživanje je obavljeno na površinskim kopovima Rudnika mrkog uglja „Banovići“, na

tehničkim sistemima (bagerima) Terex RH-120-E sa kapacitetom kašike 15 m³ internih oznaka 1 i 2.

Za realizaciju funkcije cilja urađeno je sljedeće:

- definiran tehnički sistem,
- definiran tribološki sistem,
- definirani parametri istraživanja,
- definirana prihvatljiva ograničenja,
- definiran vremenski interval uzimanja uzoraka ulja,
- definirane metode ispitivanja ulja,
- definirana sredstva – uređaji za ispitivanje,
- ispitivanje ulja,
- obrada rezultata ispitivanja
- analiza izmjerenih veličina – komparacija sa graničnim vrijednostima u cilju donošenja odluke o daljnjim aktivnostima službe održavanja,
- zaključna razmatranja.

2.2. Definiranje tehničkog sistema

Ovaj Terex hidraulični rovokopač je dio obimnog opsega Terex-ove rudarske opreme. Godine iskustva u izradi građevinskih mašina, moderan dizajn i tehnike proizvodnje, stroge procedure testiranja i najviši zahtjevi kvaliteta

garantuju pouzdanost i operativnu raspoloživost TEREX hidrauličnog rovokopača.

Bager Terex RH-120-E je širine 6,27 m i dužine 10,27 m (bez ruke sa kašikom), kapacitet kašike je 15 m³, za pogon koristi elektromotor snage 1044 KW, prenos snage od elektromotora do pumpi vrši dvostepeni reduktor prenosa koji je sa elektromotorom spojen preko fleksibilnih spojki. (slika 1).



Slika 1. Bager TEREX RH-120-E

Svi putujući ili radni pokreti se izvršavaju hidraulički. Pokreti se kontrolišu preko servoventila. Komande za rad se daju pokretom ruke (komandna ručica) i prenose se do ventila preko kontrolnih kola. Hidraulički sistem je zaštićen od preopterećenja pomoću ispusnih ventila. Hidrauličke pumpe se snabdijevaju uljem iz hidrauličkog rezervora kapaciteta 2500 l (ukupna zapremina ulja u bageru je 3500 l).

Za operacije korištenja kašike kao i kretanja bagera zadužene su 4 glavne pumpe, to su klipno aksijalne pumpe promjenjivog protoka (max protoka 552 l / min. i max pritiska od 31 MPa za rad kašike te pritiska od 37 MPa za funkciju transporta). Svaka pogonska jedinica pogonjena je sa 2 glavne pumpe što u slučaju potrebe za operacije utovara/istovara kao ispomoć uključuju se i glavne pumpe namjenjene za transport.

Za zakretanje platforme koriste se dva obrtna hidromotora, to su klipno aksijalni motori sa konstantnom zapreminom. Brzina je proporcionalna količini ulja koja protiče, i prozvedeni moment je određen razlikom pritiska između strane visokog pritiska i strane niskog pritiska. Pogon hidromotora za zakretanje platforme vrše dvije pumpe, to su klipno aksijalne pumpe promjenjivog protoka sa zakretnom pločom (max protok 4x197 l/min i max pritisak od 35 MPa). Ako je zakretna ploča podešena preko nula pozicije, jačina protoka se blago vraća u nazad.

2.3 Definiranje triboloških sistema

Raznovrsni mehanički sistemi, čija se funkcija odvija kroz interakciju kontaktnih površina elemenata koji se relativno kreću predstavljaju

tribomehaničke sisteme (TMS). Nezavisno od toga o kojoj se vrsti i složenosti tribomehaničkih sistema radi, njihova struktura se može svesti na elementarne kontakte od po dva čvrsta elementa u prisustvu sredstva za podmazivanje u kojima se kroz interakciju površina u dodiru vrši transformacija mehaničkog inputa u odgovarajući output. U nekim slučajevima se i okruženje definiše kao četvrti element strukture elementarnog tribološkog sistema[2].

Obzirom da je na tehničkom sistemu (bageru) „TEREX RH-120-E“ ugrađen veliki broj triboloških sistema eksperimentalno istraživanje se svodi na dijagnosticiranje tehničkog stanja triboloških sistema dijela hidrostatičkih prenosnika snage vezanih za funkcije utovara / istovara, kružnog kretanja (zakretanja) gornjeg postroja i transporta bagera. Ovaj bager pri podmazivanju i prenosu snage od izvora do potražuća koristi visoko kvalitetno hidrauličko ulje.

2.4 Definiranje načina uzorkovanja ulja

Pravilno uzimanje uzorka je osnovni preduslov za dobijanje pouzdanih rezultata za analizu ulja. Uzorci ulja treba da omogućavaju dobijanje prosječnog sastava ukupnog ulja, osim toga svi uzorci moraju se uzimati po istom postupku. Vremenski razmak uzimanja uzorka zavisi od tehničkog sistema o kome je riječ i može biti preporučen od proizvođača tehničkog sistema. U tabeli 1 su prikazani vremenski razmaci u opštem slučaju [2]:

Tabela 1. Vremenski razmak

Tehnički sistem	Inteval (radnih sati)
Gasne turbine u avionima	od 10 do 200
Hidraulični sistemi u avionima	od 20 do 200
Dizel motori	od 100 do 500
Reduktori	od 100 do 500
Hidraulični sistemi	od 50 do 500

Tokom eksploatacije bagera nisu se poštovala pravila prikazana u tabeli 1 nego je uzorak ulja uzet tek nakon 4800 radnih sati, kroz otvor za ispuštanje hidrauličnog ulja uz pridržavanje propisanih procedura pomoću uređaja prikazanog na slici 2.



Slika 2. Alat za uzimanje uzoraka ulja

2.5 Definiranje metoda ispitivanja ulja

Postoji veliki broj različitih testova unutar analize ulja koji se koriste u procjeni stanja. Testovi moraju pokriti tri oblasti od interesa:

- stanje tehničkog sistema,
- stanje nečistoća u mazivu, i
- stanje maziva.

Termin "analiza ulja" prihvaćen u industriji može se shvatiti na način da je primarna oblast od interesa analiza stanja maziva, dok je u stvarnosti, to u stvari monitoring stanja tehničkog sistema.

Sa aspekta stanja tehničkog sistema posebnu pažnju treba obratiti na pojavu i trend promjene količine i veličine metalnih čestica u ulju. Drugi fokus bi bilo stanje maziva, gdje je pažnju potrebno obratiti na znakove koji upućuju na promjenu viskoznosti, povećanje oksidacije i trošenja aditiva. Treći fokus bi bilo stanje nečistoća u ulju, gdje je potrebno pažnju obratiti na brojnost čestica, sadržaj vode i metalnih nečistoća. Teorijski, analize ulja podijeljene su u tri klase. U stvarnosti sve tri klase monitoringa stanja su međusobno povezane i moraju se posmatrati kao cjelina [2].

Uobičajeno je da se u praksi govori o konvencionalnoj ili klasičnoj laboratorijskoj tehnici i metodologiji kontrole kvaliteta maziva s jedne i, s druge strane o modernoj instrumentalnoj tehnici koja je posljednjih godina toliko usavršena da u potpunosti pruža željene podatke. S obzirom na kompleksnost ove problematike, u praksi se, naravno u zavisnosti od opremljenosti pojedinih laboratorija, koriste kombinovano sve poznate metode ispitivanja promjena svojstava maziva u toku eksploatacije. Godinama je većina laboratorija provjeravala određene fizičko – hemijske promjene kao što su:

- viskoznost na različitim temperaturama,
- temperatura paljenja,
- neutralizacioni broj (kiselinski broj),
- sadržaj nerastvorenih materijala u organskim rastvaračima,
- sadržaj goriva,
- sadržaj vode,
- boja.

Daljim usavršavanjem metoda ta ispitivanja su se proširila i na određivanje kontaminacije maziva sa česticama metala kao i određivanje same hemijske promjene ulja i to ne samo kvalitativno već i kvantitativno [2].

Najznačajnije su danas slijedeće metode :

- gasna hromatografija,
- atomska apsorpciona i emisiona spektroskopija,
- infracrvena spektroskopija,
- ultraljubičasta spektroskopija,

- masena spektroskopija,
- nuklearna magnetna rezonancija.

U ovom istraživanju primjenjene su metode:

a) Za određivanje promjena fizičko – hemijskih karakteristika ulja:

- Kinematička viskoznost (mm^2/s) na temperaturama $40\text{ }^\circ\text{C}$ i $100\text{ }^\circ\text{C}$ - ispitivanje izvršeno prema standardu BAS ISO 3104 i DIN 51562,
- Indeks viskoznosti – ispitivanje izvršeno prema standardu BAS ISO 2909 i ASTM D 2207,

b) Za određivanje sadržaja metala (Fe, Cu, Al, Pb) (mg/kg – ppm) – ispitivanje izvršeno prema standardu ASTM D 5863 odnosno primjenjena je atomska apsorpciona spektrometrija.

2.6 Rezultati eksperimenta

Do analize hidrauličkog ulja čiji rezultati su prikazani došlo je nakon otkaza glavne pumpe broj 2 a koja je prikazana na slici 3.



Slika 3. Klipnoaksijalna pumpa br. 2

Nakon demontiranja oštećene klipno aksijalne pumpe utvrđeno je da je došlo do oštećenja jednog klipa a što je prikazano na slici 4.



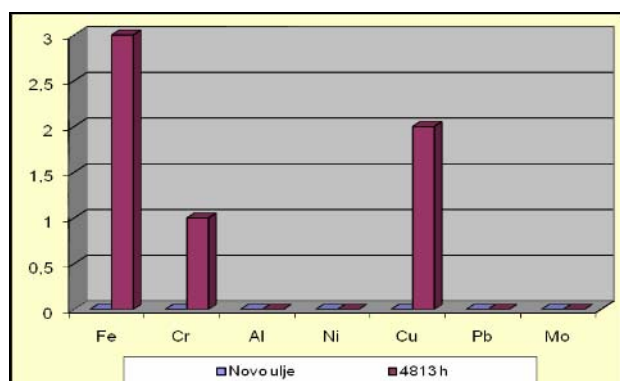
Slika 4. Oštećenja elemenata pumpe br. 2

Analizom se htjelo utvrditi stepen onečišćenja hidrauličkog ulja kako bi spriječili nove otkaze hidrauličkih komponenti hidrauličkog sistema.

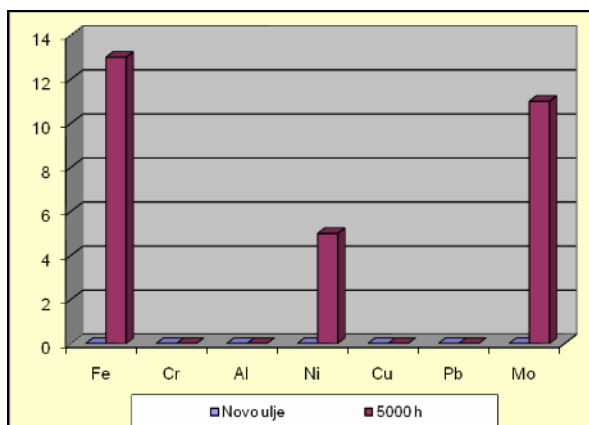
Prilikom otkaza pumpe br 2 a što je bio jedan od razloga za analizu fizičko – hemijskih karakteristika ulja u hidrauličkom sistemu se nalazilo ulje HVL 100 super max (zamjensko ulje) sa izrađenih 4813 h. U tabeli 3 i na slikama 5 do 10 su prikazani rezultati ispitivanja originalnog (nasuto pri monaži bagera) i zamjenskog ulja proizvedenog na ovim prostorima.

Tabela 2. Rezultati analize

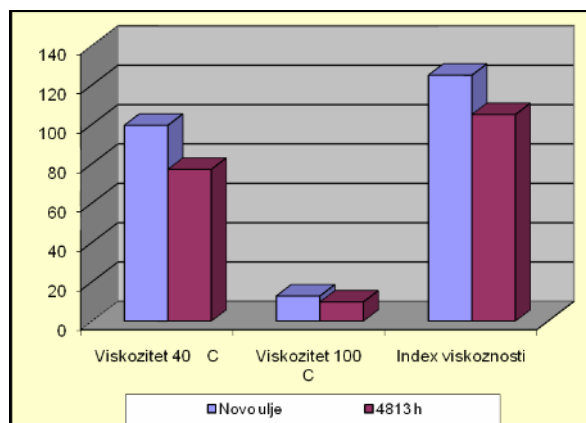
Prisustvo metala u ulju uslijed habanja							
Materijal	Hemijska oznaka	Jedinica	HVL 100		TM Long Term Hydraulic Fluid - TEREX		Preporuke proizvođača bagera u skladu sa DIN 51524-3
			Novo ulje	4813 h	Novo ulje	5000 h	
Željezo	Fe	mg/kg	0	3	0	13	
Krom	Cr	mg/kg	0	1	0	0	
Aluminijum	Al	mg/kg	0	0	0	0	
Nikl	Ni	mg/kg	0	0	0	5	
Bakar	Cu	mg/kg	0	2	0	0	
Olovo	Pb	mg/kg	0	0	0	0	
Molibden	Mo	mg/kg	0	0	0	11	
Promjena fizičkih karakteristika ulja							
Viskozitet 40 °C		mm ² /s	99,53	77,15	48,7	49,49	48,7
Viskozitet 100 °C		mm ² /s	12,8	9,76	9,3	8,12	9,3
Index viskoznosti			125	105	149	136	180
Prisustvo metala u aditivima							
Kalcijum	Ca	mg/kg	22	1	58	48	
Magnezijum	Mg	mg/kg	0	0	0	0	
Bor	B	mg/kg	0	0	0	0	
Zink	Zn	mg/kg	15	55	410	340	
Fosfor	P	mg/kg	121	130	330	315	
Barijum	Ba	mg/kg	0	0	0	0	



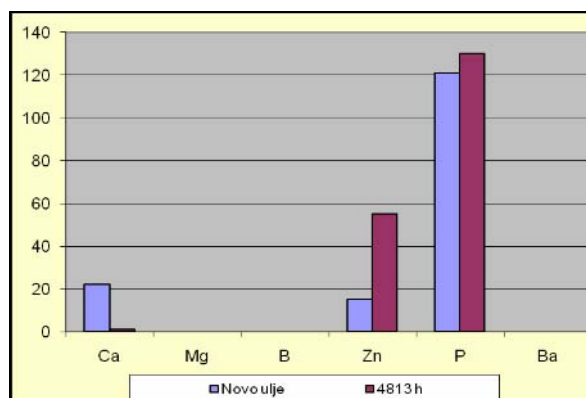
Slika 5. Prisustvo metala u ulju HVL 100



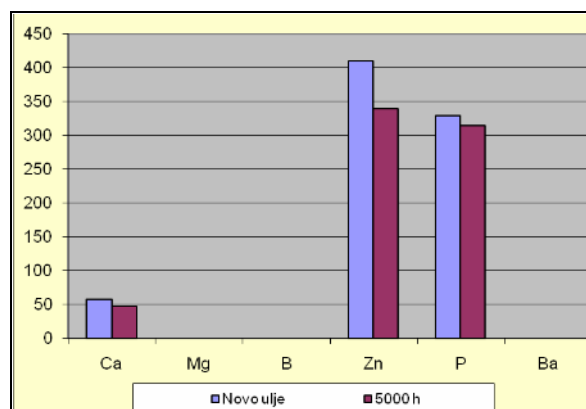
Slika 6. Prisustvo metala u ulju TM Longterm TEREX



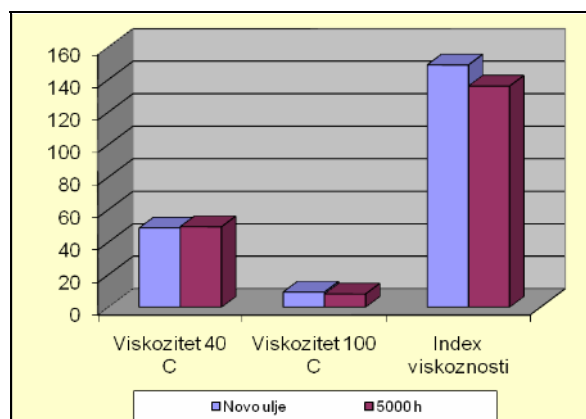
Slika 7. Fizičke karakteristike ulja HVL 100



Slika 8. Fizičke karakteristike ulja TM Longterm TEREX



Slika 9. Prisustvo metala u aditivima hidrauličkog ulja HVL 100



Slika 10. Prisustvo metala u aditivima hidrauličkog ulja TM Longterm TEREX

Nakon dobijenog rezultata analize ulja i poređenja sa graničnim vrijednostima pojedinih karakteristika donesena je odluka da se kompletno ulje zamijeni (ukupno nasuto novog ulja 3500 l-ovdje treba navesti cijenu novog ulja).

Izvršena je kompletna defektaža pume i konstatovano da nije isplativa regeneracija pume poređenjem sa cijenom nove pume (cijena nove klipno aksijalne pume iznosi 38 000 € dok je za regeneraciju od strane dobavljača ponuđena zamjena oštećene pume novom uz doplatu 50% punog iznosa cijene koštanja nove pume). Izvršena je nabavka i ugradnja nove pume. Ovdje treba napomenuti da je bager bio u zastoju zbog nedostatka pume 336 sati čime su se znatno povećali ukiupni troškovi.

Nakon zamjene ulja bager je izradio 350 h (sa novim uljem) nakon čega je došlo do stanja "U OTKAZU" zbog oštećenja na cilindru mehanizma kopanja koje je prikazano na slici 11.

Izvršeno je rastavljanje i defektaža cilindra i konstatovano da nije moguća regeneracija cilindra u radionicama rudnika te je izvršena nabavka novog cilindra iz uvoza.(cijena koštanja novog cilindra iznosi 87 000 €). Treba napomenuti da je bager bio u zastoju zbog nedostatka cilindra 144 sata čime su se znatno povećali ukupni troškovi.

Poslije izrađenih 1134 h sa novim uljem HVL 100 primjećeno je ekstremno pjenjenje hidrauličkog ulja te je isto poslato na analizu hemijskih karakteristika. Kako bi rezultati analiza bili pouzdaniji analiza je naručena od strane tri instituta za analizu ulja i to: PATTING Varaždin, rafinerija ulja MODRIČA i instituta proizvođača bagera TEREX-RH-120-E.

Rezultati analiza od sve tri firme pokazali su istovjetne rezultate u kojima je vidljivo da korišteno ulje ne zadovoljava karakteristike propisane standardom DIN 51524-3 (osnovna razlika u vrijednosti indeksa viskoziteta što je od suštinskog značaja za kvalitetan rad bagera RH-120-E).



Slika 11. Oštećenja cilindra kopanja

Nakon utvrđivanja činjeničnog stanja izvršena je zamjena hidrauličkog ulja sa uljem koje je rafinerija Modriča napravila specijalno za Rudnik mrkog uglja „Banovići“ a na osnovu traženih karakteristika, to je ulje ISO VG 46 sa indeksom viskoznosti iznad 180 koje se veoma dobro ponaša u uslovima u kojima rade bageri TEREX RH-120-E.

3. ZAKLJUČAK

Unazad nekoliko godina Rudnici mrkog uglja Banovići su uložili značajna sredstva u kupovinu nove opreme. Između ostalog nabavljena su dva nova hidraulična bagera RH-120-E koja su bila predmetom ovih istraživanja. Ova istraživanja su pokazala da se pri održavanju ovih bagera mora koristiti terotehnoški pristup [3], što znači da se u svakoj fazi eksploatacije ovako skupe i visokoproduktivne opreme mora posebna pažnja posvetiti održavanju.

Vidljivo je da se prilikom nabavke ulja za hidraulične sisteme nije vodilo računa o preporukama proizvođača bagera.

Posljedice su veliki ukupni troškovi koji se izračunavaju kao zbir direktnih i indirektnih troškova. Direktni troškovi iznose 125 000 €, a indirektni troškovi su znatno veći obzirom da je bager bio u zastoju 480 sati što je u odnosu na njegov kapacitet dovelo do znatnog pada u proizvodnji uglja. Takođe, prilikom eksploatacije bagera, nije vođeno računa o preporukama proizvođača da se vrši analiza ulja svakih 500 sati rada.

Pravce daljih istraživanja treba usmjeriti na izradi programa analize ulja posebno sa aspekta prisustva mehaničkih načistoća u ulju te na osnovu toga utvrđivanje stanja triboloških sklopova hidrauličnih podсистema ovih bagera. Što znači postepeno prelaziti sa reaktivnog pristupa (rješavanje posljedica) na proaktivni pristup

održavanju, odnosno otklanjanju uzroka nastanka stanja "U OTKAZU" navedenih tehničkih sistema.

LITERATURA

[1] Ž. Adamović: Tehnička dijagnostika, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.

[2] M. Babić: Monitoring ulja za podmazivanje, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2004.

[3] H. Avdić., Dž. Tufekčić: Terotehnologija I, Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, Tuzla, 2007.

CONTRIBUTION TO DIAGNOSIS OF EXCAVATOR RH-120-E TRIBOLOGY ASSEMBLIES TECHNICAL CONDITION

Abstract: *Determination of tribomechanical systems condition has very important role in development of friction theory and practice, wear and lubrication. Recently, special attention is focused on development of modern devices and methods for monitoring condition changes of tribomechanical characteristics in systems. There are used today different physical and chemical methods for wear diagnosis.*

Experience in technical systems and mechanisms exploitation showed that the most effective failure prognosis is according to parameters, particles created as result of wear, which are reliable indicators of wear.

Analysis of oil samples which contain particles, created as results of wear, enable evaluation of system tribology condition in different phases of system exploitation.

In this project, it will be presented results of experimental research, conducted on the equipment (main hydrostatic system at hydraulic excavator RH 120E) in brown coal mine «Banovici».

Keywords: *Diagnosis, technical condition, tribology system, excavator RH-120-E*