



## UTICAJ TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE NA STANJE ISPRAVNOSTI TEHNIČKIH SISTEMA

Hasan Avdić, Asmir Demirović, Mehmed Hasanović

RMU – Banovići, d.d. Banovići, BiH, h.avdic@bih.net.ba

Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, BiH

**Apstrakt:** Dijagnostika je tehnologija koja je, sa jedne strane, vezana za tehničko stanje sistema, odnosno za sam objekat dijagnosticiranja, sa druge strane i za sistem održavanja apliciran na taj objekat radi obezbjeđenja njegovog ispravnog funkcionisanja (obezbjeđenja potrebnog eksploatacionog nivoa pouzdanosti). Alokacija dijagnostike u sistemu održavanja jednog tehničkog sistema proizilazi iz njene dvojne uloge. Ona naime, sa jedne strane služi za to da se utvrdi da li je tehnički sistem u stanju "u radu", stanju "u otkazu", ili nekom drugom međustanju. Ovo, po suštini ima kontrolni, pa time i preventivni karakter. Sa druge strane, ako se prilikom kontrole tehničkog stanja utvrdi da sistem ne izvršava svoju funkciju, onda se od dijagnostike očekuje da ukaže na uzroke neispravnosti, i na prognozu tehničkog stanja sistema u budućnosti.

S druge strane ispravnost sistema je tehničko stanje sistema pri kom on odgovara svim zahtjevima ispravnosti propisanim normativno-tehničkom dokumentacijom.

U ovom radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja koja su izvedena na opremi (tribološki sklopovi hidrostatičkih prenosnika snage hidrauličnog bagera Liebherr R 9350) u Rudniku mrkog uglja Banovići, dok su laboratorijska ispitivanja uzoraka ulja izvršena u ovlaštenim laboratorijama.

**Cljučne reči:** tehnička dijagnostika, stanje ispravnosti, tribološki sklop, tehnički sistemi.

### 1. UVOD

RMU "Banovići" d.d. Banovići je u proteklih par godina u nabavku i održavanje mehanizacije investirao više nego svi rudnici zajedno u BiH, a vrlo brzo će postati prvi u rudarstvu ali i cjelokupnoj industriji na ovim prostorima koji je modernizovao proces održavanja u cjelosti.

Da bi smanjili zastoje neophodno je bilo preći sa reaktivnog (čekaj i vidi) na proaktivni (otklanjanje uzroke umjesto posljedica) pristup održavanju tehničkih sistema. Takav prelaz bio je uslovljen nabavkom savremenih dijagnostičkih uređaja.

Nakon što je stigla dijagnostička oprema izvršena je obuka dijagnostičara i počelo se sa njenom primjenom.

### 2. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA

#### 2.1 Pojam i zadaci tehničke dijagnostike

Pod ovim pojmom danas se podrazumijevaju sve aktivnosti koje se sprovode sa ciljem ocjene

trenutnog tehničkog stanja sistema (sa rastavljanjem i bez rastavljanja sistema) radi preduzimanja planiranih aktivnosti održavanja ili davanja prognoze tehničkog stanja sistema u budućnosti [1].

Tehnička dijagnostika, kao sastavni dio procesa održavanja prema stanju, treba da utvrdi tehničko stanje sastavnog dijela sistema sa određenom tačnošću u određenom trenutku vremena. To je zapravo nauka koja se bavi prepoznavanjem tehničkog stanja sistema [1].

Zadaci tehničke dijagnostike su :

- provjera ispravnosti tehničkog stanja sistema,
- provjera radne sposobnosti tehničkog sistema,
- provjera funkcionalnosti,
- istraživanje otkaza (mjesto, oblik i uzrok otkaza).

Osnovni postupci tehničke dijagnostike

- Subjektivni,
- Objektivni.

## 2.2 Ispravnost tehničkih sistema

Tehnički sistemi predstavljaju organizovan skup elemenata i relacija između njih i njihovih karakteristika povezanih i objedinjenih međusobno u cjelinu, sa istom funkcijom cilja. Različiti tehnički sistemi imaju različite funkcije cilja.

Ispravnost sistema je tehničko stanje sistema pri kome on odgovara svim zahtjevima ispravnosti propisanim normativno tehničkom dokumentacijom [1].

Kada se tehnički sistem proizvede i uključi u eksploataciju, može biti u jednom od dva moguća stanja: stanju "U RADU" i stanju "U OTKAZU". Ako je tehnički sistem ispravan i izvršava propisani zadatak, na propisan način i u propisanom vremenu, on je u stanju "U OTKAZU". Ako nije ispravan, zadatak se ne izvršava na propisan način, i nalazi se u stanju "U OTKAZU".

## 2.3 Tribologija, tribološki sistemi i procesi

"Tribologija je naučna i tehnološka oblast (teorija i praksa) koja izučava međusobna dejstva površina u kontaktu pri njihovom relativnom kretanju" [ITC]. Kontakt dva elementa sa trećim elementom koji ih u manjoj ili većoj mjeri razdvaja naziva se TRIBOLOŠKI SISTEM (TS).

Unutrašnji proces tribološkog sistema zove se TRIBOLOŠKI PROCES (TP) koji najčešće obuhvata trenje i trošenje površina u kontaktu. Proučavanje uzorka ulja, koje sadrži čestice nastale habanjem, omogućava da se u ranim fazama korištenja ocijeni stanje TS [2].

## 2.4 Dijagnostika stanja hidrauličnog ulja

Dijagnostika stanja hidrauličnog ulja podrazumijeva skup aktivnosti kojima se, u toku eksploatacije ulja u hidrauličnom sistemu, vrši procjena stanja radnog fluida u smislu njegovih osnovnih funkcionalnih karakteristika. Dijagnostika stanja ulja ima za cilj da se ulje u sistemu koristi što duže i da hidraulični sistem radi u optimalnim uslovima u odnosu na radni fluid. Najkompletniji i svakako najpouzdaniji, prilaz dijagnostici stanja hidrauličnog ulja je metoda periodičnog uzorkovanja uljnog punjenja i laboratorijskih analiza osnovnih fizičko-hemijskih karakteristika i prisustva mehaničkih nečistoća.

Analiza uzoraka ulja tokom njegove eksploatacije predstavlja dijagnostički alat za određivanje stanja ulja i stanja mehaničkog sistema u cjelini. Analiza pomaže da se identifikuje stanje normalne eksploatacije hidrauličnog ulja, odnosno habanja mehaničkog sistema i trenutak kada se pojavljuje potencijalno ozbiljan problem.

Ako se neka karakteristika obuhvaćena ispitivanjem nađe izvan dopuštenih granica, smatra se da su nastale izvjesne promjene uljnog punjenja i da je ulje potrebno češće kontrolisati, odnosno smanjuje se period uzorkovanja ulja [1].

## 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

### 3.1 Plan istraživanja

Istraživanje je obavljeno na površinskom kopu „Grivice“, Rudnika mrkog uglja „Banovići“ d.d. Banovići, na hidrauličnom bageru Liebherr R9350 Litronic, koji je u martu mjesecu 2010. god. nabavljen, montiran i pušten u rad.

Za realizaciju funkcije cilja urađeno je slijedeće:

- definiran tehnički sistem,
- definiran tribološki sistem,
- definirani parametri istraživanja i metode ispitivanja ulja,
- definirana prihvatljiva ograničenja,
- definiran vremenski interval uzimanja uzoraka ulja,
- ispitivanje ulja, obrada i analiza rezultata izmjerenih veličina, komparacija sa graničnim vrijednostima,
- zaključna razmatranja.

### 3.2 Definiranje tehničkog sistema

Hidraulički bager Liebherr R9350 spada u klasu teških hidrauličkih rudarskih bagera, projektovan je za rad u najtežim uslovima i svim vrstama miniranog okruženja. Ukupna radna težina bagera je 3225 kN. Bager je opremljen sa čeonom kašikom zapremine 18 m<sup>3</sup>, i pogonskim elektromotorom snage 1200 kW. Izgled i tehničke karakteristike bagera prikazani su na slici 1. i tabeli 1.



Slika 1. Hidraulički bager Liebherr R9350

**Tabela 1.** Tehničke karakteristike bagera

Pogonski elektromotor izlazne snage	1200 kW
Čeona kašika (SAE 2:1) kapaciteta	18 m <sup>3</sup>
Maksimalna sila kopanja	1300 kN
Maksimalna sila kidanja	1060 kN
Širina papuča gusjeničnog lanca	850 mm
Radna težina bagera	3225 kN
Pritisak na podlogu	2,7 · 10 <sup>5</sup> Pa
Ukupna količina ulja u hidrauličnom sistemu	4200 litara
Kapacitet hidrauličnog rezervoara	3000 litara
Maksimalni radni pritisak	320 · 10 <sup>5</sup> Pa
Maksimalni pritisak u transportu	370 · 10 <sup>5</sup> Pa
Maksimalni pritisak u kružnom kretanju	350 · 10 <sup>5</sup> Pa
Maksimalna brzina okretanja	3,9 o/min
Maksimalna brzina transporta	2,2 km/h

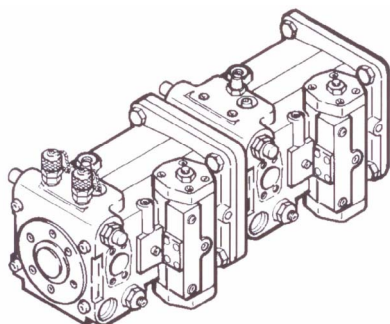
Hidraulični bager Liebherr R9350 sastoji se iz sljedećih podsistema :

- Pogonski modul (elektromotor, reduktor, pumpe),
- Upravljački modul,
- Mehanizam kopanja (kašika, cilindri),
- Mehanizam kružnog kretanja,
- Mehanizam transporta,
- Sistem podmazivanje svih komponenata bagera.

Kao radni fluid, u hidraulični sistem je usuto motorno ulje za hidraulične sisteme tip SAE 20W-20.

### 3.3 Definiranje tribološkog sistema

Hidraulični bager je sačinjen iz više triboloških sistema. Problem koji je analiziran u ovom radu je dio mehanizma kružnog kretanja, konkretno obrađen je problem na pumpi kružnog kretanja i tribološkom procesu koji se odvija unutar same pumpe. Pumpa je prikazana na slici 2.



Slika 2. Pumpa kružnog kretanja

### 3.4 Definiranje parametara istraživanja i metoda ispitivanja ulja

U ovom radu je vršeno istraživanje sljedećih parametara :

- promjena fizičko – hemijskih karakteristika ulja (kinematska viskoznost, indeks viskoznosti,

tačka paljenja, totalni bazni broj, neutralizacioni broj)

- sadržaj metala po vrsti i količini (Fe, Cu, Al, Pb) Metode korištene pri određivanju promjena fizičko-hemijskih karakteristika ulja su:
- Kinematska viskoznost [mm<sup>2</sup>/s] na temperaturama 40 °C i 100 °C (ispitivanje izvršeno prema standardu BAS ISO 3104 i DIN 51562),
- Indeks viskoznosti (ispitivanje izvršeno prema standardu BAS ISO 2909 i ASTM D2207),
- Tačka paljenja (ispitivanje izvršeno prema standardu ISO 2592 i ASTM D 92),
- Totalni bazni broj (TBN) [mgKOH/g] (ispitivanje izvršeno prema standardu BAS ISO 3771),
- Neutralizacioni broj (TAN) [mgKOH/g] (ispitivanje izvršeno prema standardu ASTM 664),
- Sadržaj metala (Fe, Cu, Al, Pb) [mg/kg – ppm]
- ispitivanje izvršeno prema standardu ASTM D5863 odnosno primjenjena je atomska apsorpciona spektrometrija.

### 3.5 Definiranje graničnih vrijednosti

U tehničko-tehnološkoj dokumentaciji bagera, proizvođač bagera je definisao granične vrijednosti fizičko-hemijskih karakteristika ulja i prisustva mehaničkih nečistoća koje su prikazane u tabelama 2 i 3.

Tabela 2. Granične vrijednosti fizičko hemijskih karakteristika

Wear Metals	Monitor	Caution	Action
Viskoznost na 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	min 52 - max 60	min 50 - max 62	min 48 - max 66
Viskoznost na 100 °C (mm <sup>2</sup> /s)	min 8.2 – max 8.6	min 8.0 – max 9.0	min 7.7 – max 9.3
Indeks viskoznosti	min 100 – max 110	min 95 – max 115	min 90 – max 125
TBN (mgKOH/g)	novi ulje -0.2 / +0.3	novi ulje -0.2 / +0.4	novi ulje -0.2 / +0.5
Klasa onečišćenja	19/16/13	20/17/14	22/18/15

Tabela 3. Granične vrijednosti prisustva mehaničkih nečistoća

Wear Metals	Monitor	Caution	Action
Fe	10	12	15
Cu	8	10	18
Al	2	3	5
Pb	3	5	7

### 3.6 Definiranje vremenskog intervala uzimanja uzoraka ulja

Uzimanje uzoraka je osnovni preduslov za dobijanje pouzdanih rezultata ispitivanja. Uzorci

ulja treba da omogućavaju dobijanje prosječnog sastava ukupnog ulja; osim toga, svi se uzorci moraju uzimati po istom postupku.

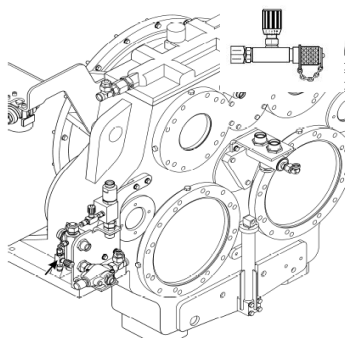
Proizvođač bagera je tehničkom dokumentacijom preporučio vremenski interval za uzimanje uzoraka ulja od 500 radnih sati. Preporučeni interval zamjene kompletnog ulja hidrauličnog sistema bagera je 2000 radnih sati. U slučaju pozitivnih rezultata analize ulja, interval korištenja ulja može biti produžen do 5000 radnih sati ili maksimalno 3 godine rada.

Vremenski interval zamjene hidrauličkih filtera koje preporučuje proizvođač bagera je 1000 radnih sati za filtere povratnog voda hidraulike i servo filtere, dok je za filtere visokog pritiska 5000 radnih sati.

Zbog mogućih oštećenja na hidrauličkim komponentama, konstrukciono su na bageru postavljena tri nivo zaštite :

- Prvi nivo (Svaka od hidrauličkih pumpi ima senzor onečišćenja, kao prvi signal trošenja i prisustva metalnih opiljaka u pumpi),
- Drugi nivo (Filteri visokog pritiska, predstavljaju zaštitu izvršnih organa i upravljačkih jedinica od onečišćenja nastalog u samim pumpama),
- Treći nivo (Magnetna klipnjača na filterima povratnog voda hidraulike, zaštita rezervoara ulja od onečišćenja nastalih u izvršnim organima i razvodnim ventilima).

Kako bi se omogućilo nesmetano uzimanje uzoraka i onečišćenje uzorka ulja svelo na minimum, proizvođač bagera je konstrukciono postavio odgovarajuće ispusne ventile. Mjesto za uzimanje uzoraka ulja prikazano je na slici 3.



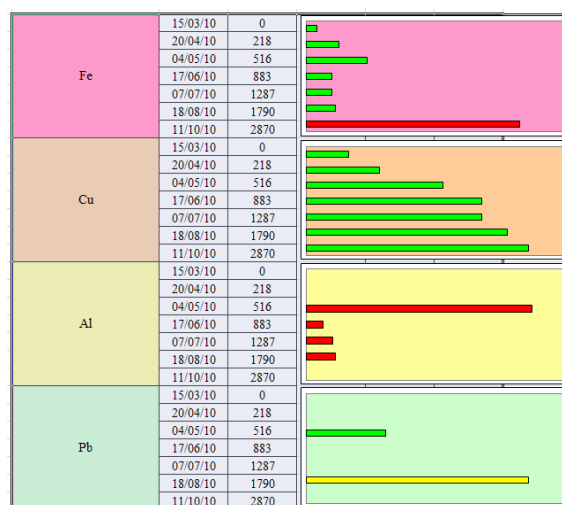
Slika 3. Mjesto predviđeno za uzimanje uzoraka ulja

### 3.7 Ispitivanje ulja, obrada i analiza rezultata

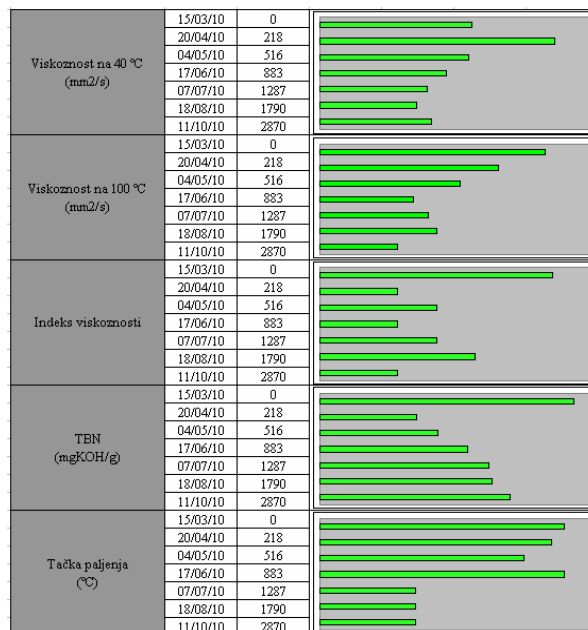
U skladu sa preporukama izvršeno je uzorkovanje i ispitivanje ulja u ovlaštenim laboratorijama. Rezultati ispitivanja ulja su prikazani tabelarno i pomoću histograma (tabela 4, slike 3 i 4).

Tabela 4. Rezultati analize ulja

Datum uzimanja uzorka	11/10/10	18/08/10	07/07/10	17/06/10	04/05/10	20/04/10	15/03/10
Broj sati mašine	2870	1790	1287	883	516	218	0
Broj sati ulja	866	1790	1287	883	516	218	0
Viskoznost na 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	50,03	49,89	49,99	50,16	50,37	51,16	50,4
Viskoznost na 100 °C (mm <sup>2</sup> /s)	8,05	8,1	8,09	8,07	8,13	8,18	8,24
Indeks viskoznosti	132	134	133	132	133	132	136
TBN (mgKOH/g)	10,13	10,07	10,06	9,99	9,89	9,82	10,34
Tačka paljenja (°C)	237	237	237	248	245	247	248
Fe	28,78	3,91	3,44	3,49	8,18	4,38	1,47
Cu	5,99	5,42	4,75	4,74	3,69	1,97	1,15
Al	0	9,98	9,31	5,8	78,3	0	0
Pb	0	3,86	0	0	1,37	0	0
Klasa zaprljanosti							
4 μm (c)		19	20	20	21	21	
6 μm (c)		16	17	17	16	17	
14 μm (c)		12	12	13	11	12	



Slika 4. Histogram trenda prisustva mehaničkih nečistoća

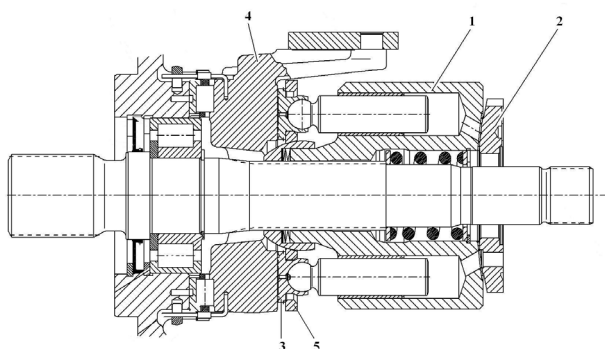


Slika 5. Histogram trenda fizičko hemijskih karakteristika ulja

Sa slike broj 4, jasno se uočava trend rasta prisustva mehaničkih nečistoća u ulju sa povećanjem broja sati rada bagera. Izmjerene vrijednosti bakra (Cu) su u stalnom porastu ali su još uvijek unutar dopuštenih vrijednosti (na histogramu zeleno područje). Vrijednosti željeza su u prva tri mjerenja bile u porastu, da bi nakon trećeg mjerenja vrijednost pala. Razlog pada vrijednosti leži u zamjeni filtera povratnog voda hidraulike (filteri u tanku bagera) koji se prema preporukama proizvođača mijenjaju svakih 1000 radnih sati.

Nedopušteno velika vrijednost prisustva aluminija (Al) kao i upozoravajuća vrijednost prisustva olova (Pb) u uzorcima ulja ukazivale su na loše tribološke procese trošenja određenih triboloških elemenata unutar hidrauličkih pumpi hidrauličkog sistema bagera.

Na slici 5., prikazan je djelimičan presjek pumpe kružnog kretanja, na kojoj su izdvojene pozicije 3 i 4 koje skupa sa uljem čine jedan tribološki sistem unutar kojeg se odvija tribološki proces.



Slika 5. Presjek hidraulične pumpe kružnog kretanja

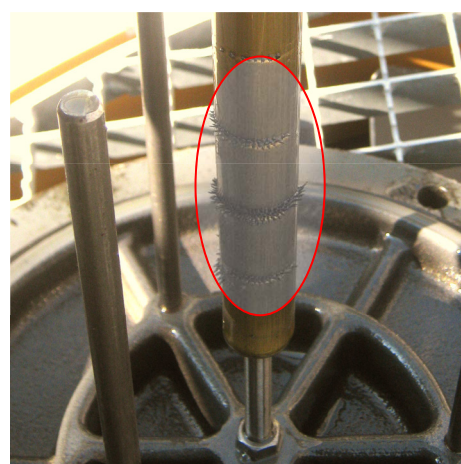
Demontažom i defektažom pumpe kružnog kretanja, konstatovana su oštećenja elemenata pumpe (pozicije 3, 4 i 5). Izled oštećenja prikazan je na slici 6.



Slika 6. Oštećenja na komponentama pumpe



Slika 7. Metalni opiljci pronađeni u filterima fisokog pritiska



Slika 8. Metalno onečišćenje na magnetnoj klipnjači filtera ulja

#### 4. ZAKLJUČAK

Rudnici mrkog uglja Banovići d.d. Banovići, pri eksploataciji mineralne sirovine, koriste visoko produktivne tehničke sisteme. Zastoji ovih tehničkih sistema izazivaju zastoje u procesu proizvodnje što dovodi do visokih ukupnih troškova a posebno indirektnih.

Stanju ispravnosti ovih tehničkih sistema u fazi eksploatacije mora se posvetiti posebna pažnja. To se, između ostalog, može postići primjenom tehničke dijagnostike (teorija, metode i uređaji) na organizovan način.

U ovom radu je prikazana primjena metoda tehničke dijagnostike u cilju utvrđivanja stanja triboloških sklopova jednog od visoko produktivnih tehničkih istraživanja.

Istraživanja su pokazala da se tehnička dijagnostika ne primjenjuje na organizovan način što je dovelo do ovakvih oštećenja triboloških sklopova još u ranoj fazi primjene tehničkog sistema.

Daljna istraživanja treba usmjeriti na izradu programa primjene metoda i uređaja radi utvrđivanja stanja tehničkih sistema i prognoze ponašanja u budućnosti što i jeste najvažiji zadatak tehničke dijagnostike.

## LITERATURA

- [1] Adamović Ž.: Tehnička dijagnostika, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1996.,
- [2] Ekinović S.: Osnovi tribologije i sistema podmazivanja, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 2000.,
- [3] Babić M.: Monitoring ulja za podmazivanje, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2004.,
- [4] Avdić H, Tufekčić Dž.: Tereotehnologija I, Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, Tuzla, 2007.

## TEHNICAL DIAGNOSTIC INFLUENCE ON AN ACCURACY CONDITION OFF TECHNICAL SYSTEMS

**Abstract:** *Diagnostics is a technology that is, on the one hand, related to the technical condition of the system, apropos to the object of diagnostic, on the other side to the maintenance system which is applied to that object because of ensuring its proper functioning (providing the required reliability level of exploitation). Allocation of diagnostics in the system of maintaining a technical system stems from its dual role. In a fact, on the one hand, it is used to determine whether the system is technically able "to work" condition, "in failure" condition, or another intermediate condition. This, in essence, has a control and preventive character. On the other hand, if during a control of technical condition determines that the system does not perform its function, then the diagnosis is expected to show the causes of failure, so as the prediction of technical condition of the system in the future. On the other hand, the correctness of the system is a technical condition of the system that meets all safety requirements prescribed by the normative-technical documentation. This paper will present results of experimental studies which were performed on equipment (tribological circuits hydrostatic power transmission of hydraulic excavator Liebherr R 9350) at coal-mine Banovici, while laboratory tests of oil samples were performed in accredited laboratories.*

**Keywords:** *Tehcnical diagnostics, correct state, tribology system, tehcnical systems.*