

# UTICAJ TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE NA POUZDANOST SISTEMA ZA KONTINUALNU EKSPLOATACIJU UGLJA

**Dr. Aleksandar Grozdanovski, dipl.maš.inž.**  
AD „Elektrani na Makedonija“ Skopje  
Podružnica „REK Bitola“ Bitola R. Makedonija

*U eksploataciji uglja, potrebno je posvetiti posebnu pažnju tehničkim sistemima, a naročito njihovom pravilnom održavanju. Pored ostvarenja "dobre" proizvodnje, neophodno je i ostvarivanje ekonomičnog poslovanja, sa uzajamnim usaglašavanjem proizvodnje i troškova, preko optimiziranja pouzdanosti. Veliki značaj ima visok nivo pouzdanosti sistema kontinualne eksploatacije uglja, kao što je slučaj kod elektroenergetskih sistema.*

*Ključne reči: eksploatacija uglja, pouzdanost sistema, tehnička dijagnostika, metoda vibracije, otkaz, dinamičko uravnoteženje obrtnih momenata.*

## IMFLUNCE OF TECHNICAL DIJAGNOSTIC ON SYSTEM REALIABILITY FOR CONTINUOUSLY COAL EXPLOATION

*In the process of coal exploation, it is extremely important to pay close attention to technical systems, especially their scheduled maintenance. In addition to accomplishment of "good" production, it is necessary to accomplish a cost-effechre business with mutually coordinated production and costs over reliability optimization. High reliability level of coal exploation system is very significant as in case with electric power system*

*Keywords: coal exploitation, system reliability, technical dijagnostic, vibration method, failure*

### Uvod

Održavanje sistema kontinualne eksploatacije uglja na bazi tehničkog stanja, predstavlja ekonomski model održavanja, jer omogućava maksimalno iskorišćenje radnog veka delova, a pri tome se postiže viši nivo pouzdanosti u eksploataciji.

Uvođenje tehničke dijagnostike u održavanju velikih sistema za kontinualnu eksploataciju uglja je dosta ozbiljan zahvat, zbog mobilnosti ugrađenih postrojenja u sistemu.

Tehnička dijagnostika je sastavni deo procesa održavanja po stanju, a njen zadatak je da utvrdi stanje sastavnog dela postrojenja određenom tačnošću u određeno vreme. To

Kontakt: dr Aleksandar Grozdanovski  
AD „Elektrani na Makedonija“ Skopje  
Novački pat bb, 7000 Bitola, Republika Makedonija

je aktivnost koja se bavi prepoznavanjem tehničkog stanja postrojenja. Za proces dijagnostike vezano je i postavljanje dijagnoze stanja sistema, što ujedno i predstavlja jedan od prvih i najvažnijih rezultata ove aktivnosti. Na ovaj način treba otkriti i sprečiti potencijalne otkaze sistema i tako povisiti njegovu pouzdanost i raspoloživost.

Bez obzira na vrste i načine nastanka, svaki otkaz se mora što preciznije i potpunije identifikovati i locirati, što se postiže metodama tehničke dijagnostike. Pri tome, pravilan izbor i primena metoda tehničke dijagnostike stvara najbolju osnovu za optimalno planiranje procesa održavanja. Tehnička dijagnostika objedinjuje sve neophodne aktivnosti sa ciljemocenijavanja

stanja sistema kontinualne eksploatacije uglja, preko planiranih aktivnosti, i prognozira

ponašanje sistema u budućnosti. Određivanje tehničkog stanja sistema je u direktnoj sprezi sa dijagnostikom i pouzdanošću. Dijagnostika je važan sastavni deo održavanja, jer omogućava, bez zastoja (demontaže), određivanje stanja tehničkog sistema.

Pri definisanju i izboru dijagnostičkih parametara, neophodno je znati, da oni moraju imati određene karakteristike; informativnost, osetljivost i stabilnost. Nabrojane karakteristike predstavljaju kriterijum za izbor dijagnostičkih parametara. Dijagnostičke metode, odnosno parametri, kojima se može pratiti stanje sistema kontinualne eksploatacije uglja, su: vibracije, buka, temperatura ležajeva, pritisak i protok ulja, produkti habanja koji se talože u sredstvu za podmazivanje, intenzitet habanja obložnih ploča, pancira itd.

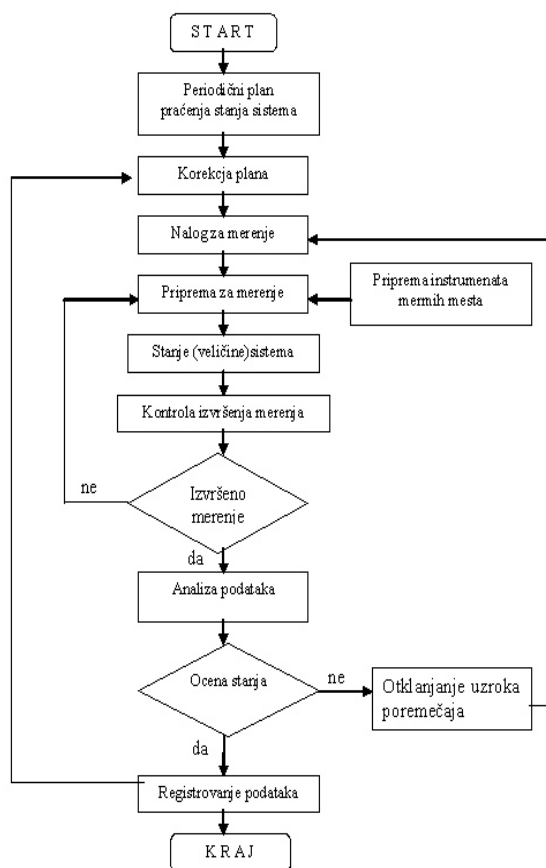
Utvrđivanje stanja mašine u realnim uslovima eksploatacije uvođenjem tehničke dijagnostike omogućava:

- povišenje nivoa pouzdanosti, sprečavanjem iznenadnih otkaza i havarija
- dobro planiranje aktivnosti održavanja kontrolom nivoa pouzdanosti,
- unapređenje organizacije održavanja itd.

Istraživanje uzroka neispravnosti predstavlja jedan od važnih zadataka dijagnostike. Dijagnostika predstavlja, proces ispitivanja tehničkog sistema, izučavanja rezultata ispitivanja i donošenja zaključaka o stanju sistema.

Tehnička dijagnostika je pomoćno sredstvo za određivanje pouzdanosti sistema kontinualne eksploatacije uglja, poboljšanje održavanja i smanjenja troškova proizvodnje. Praćenje radne sposobnosti sistema, može se postići primenom specijalizovane dijagnostičke opreme i obučenog ljudstva. Dozvoljene vrednosti parametara stanja, odnosno dozvoljeno stanje, treba definisati adekvatnim kriterijumima – granicama dozvoljenih odstupanja.

Na sl. 1. dat je algoritam postupka primene dijagnostike u tehničkom sistemu kontinualne eksploatacije uglja.



Sl. 1. Algoritam postupka primene tehničke dijagnostike

Praksa je pokazala da najveći broj slučajeva otkaza ne dolazi odmah, nego se radne performanse gube postupno, u toku rada. U toku rada sistema kontinualne eksploatacije uglja, dolazi do promene parametara delova i/ili sistema što može prouzrokovati otkaze.

Uvođenje tehničke dijagnostike u rudnik "Suvodol" može se primeniti model prikazan na sl.1. Karakteristika ovog modela je primena povremenih pregleda stanja prenosnih instrumenata po planu i nalogu tehnologa za tehničku dijagnostiku.

Uvođenjem sistema za održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti primenom tehničke dijagnostike, treba obuhvatiti sledeće aktivnosti:

- identifikaciju postrojenja, (rotorni bageri, transportne trake, drobilane)
- utvrđivanje prioriteta postrojenja, (bager KU-300; SRs-630/1; SRs-630/2)
- izbor karakterističnih veličina, (vibracije)
- definisanje dozvoljenih nivoa veličina,
- program detekcije,
- izbor instrumenata za dijagnosticiranje,

- kadrove za dijagnostiku itd.

U postupku utvrđivanja stanja sistema kontinualne eksploatacije uglja, poseban problem je definisanje dozvoljenog nivoa karakterističnih veličina stanja.

Na osnovu izvršenih analiza i teorijskih znanja o stanju, propisuju se potrebne mere za održavanje, sa ciljem eliminacije uzroka pogoršavanja stanja sistema. Istraživanja su usmerena na uvođenje novih modela i postupaka tehničke dijagnostike, sa ciljem obezbeđenja zadovoljavajuće pouzdanosti tehnološkog procesa u radu.

Analizom postupaka tehničke dijagnostike sistema kontinualne eksploatacije uglja i pojava otkaza u toku eksploatacije, formiraju se konkretni planovi merenja.

Tehničku dijagnostiku, kao osnovni uslov razvoja strategije održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti, potrebno je uvoditi u funkciju održavanja sistema kontinualne eksploatacije uglja, ukoliko se želi povisiti pouzdanost i ekonomska isplativost eksploatacije uglja.

Na osnovu malog broja uzoraka i rezultata istraživanja iz literature, može se zaključiti da je pozitivan uticaj uvođenja tehničke dijagnostike na poboljšanje određenih parametara održavanja i pouzdanost sistema, neosporan.

### **Metodi i sredstva tehničke dijagnostike**

Metodi tehničke dijagnostike treba da omoguće objektivnost, jednoznačnost i ponovljivost. Utvrđeno tehničko stanje sastavnog dela postrojenja, ne sme zavisiti od subjektivnih osobina specijalista za dijagnostiku i drugih spoljnih uticaja.

Stvarno stanje postrojenja je veoma teško odrediti, zbog toga se definišu kriterijumi za utvrđivanje istog. Time se smanjuje subjektivnost specijalista za procenu stanja.

Metode koje se mogu koristiti za tehničku dijagnostiku sistema kontinualne eksploatacije uglja su:

- subjektivni metodi tehničke dijagnostike,
- metodi praćenja tehničkog stanja
- metodi kontrole habanja sastavnih delova sistema,
- metoda vibracije i buke,
- metodi ispitivanja bez razaranja
- metoda praćenja korozije,

- metodi objektivne dijagnostike (merenje protoka, merenje obrtnog momenta, merenje snage i dr.).

Danas, u svetskoj industriji, u 80% slučajeva za analizu stanja sistema koristi se metoda vibracije. Uštede koje se postižu su ogromne i kreću se do 20% od ukupnih troškova održavanja.

Osnovna dijagnostička sredstva, koja se mogu da koristiti u rudniku, mogu da budu:

- ugrađena (za neprekidnu kontrolu stanja),
- prenosna (za kontrolu više različitih sistema) i
- stabilna (nalaze se u centru za dijagnostiku).

Od primene i tačnosti dijagnostičkih sredstava, umnogome zavisi uspešnost modela održavanja prema stanju sa kontrolom parametara. Zato je razvoj i primenljivost modela održavanja prema stanju u tesnoj vezi sa razvojem i usavršavanjem dijagnostičkih sredstava. U zavisnosti od metoda koriste se i razna sredstava, a to su:

- merni instrumenti za kontrolu vibracija,
- analizatori vibracija,
- merni termoparovi,
- instrumenti za merenje ultrazvukom,
- SPM-uređaj za merenje i dr.

Stabilna sredstva za dijagnosticiranje bitnih delova sistema koriste se u centru za dijagnostiku i oni omogućavaju blagovremenu zaštitu od pojava otkaza i pomoću njih se prati stanje delova postrojenja.

Kod svake dijagnostičke kontrole delova, treba proceniti kada delove treba zameniti ili popravljati. Sa tim ciljem je moguće definisati matematički mehanizam za definisanje vremenskog trenutka neophodne intervencije. Primenom dijagnostičkih sredstava moguće je ostvariti uštedu od 15% na sprovedenju radova održavanja, smanjenje troškova rezervnih delova za 8-12%, smanjenje troškova maziva za 15%, i smanjenje zastoja sistema zbog održavanja za 20%.

### **Metoda vibracija**

Celokupni dijagnostički pristup polazi od činjenice da svaki poremećajni uzročnik generiše vibracije određenog karaktera, prepoznatljive, pre svega, po frekvenciji kao ključnom parametru. Vibracije su ključni po-

kazatelji mehaničke ispravnosti agregata. Metoda se zasniva na snimanju signala u vremenskom domenu, a zatim se vrši njegova frekventna analiza. Vibracije ugrađenih delova u postrojenje su kompleksne i javljaju se na karakterističnim frekvencijama. Znajući frekvencije, može se saznati koji delovi su ispravni a koji ne.

Kao merna mesta za merenje vibracija, uzete su određene tačke na svim vitalnim ležajevima reduktora radnog točka bagera, pogonske grupe tračnih transportera i dr.

Kao najpovoljniji vibracioni parametar koristi se efektivna brzina vibracije. Pored efektivne brzine, merene su i amplitude na frekvenciji broja obrta. Kod prekoračenja vrednosti efektivne brzine "još dozvoljeno", prema VDI-2056 i ISO-2372 radi se frekventna analiza, na osnovu koje se donosi zaključak.

U velikom broju slučajeva, i uz određeno iskustvo, može se izvršiti dijagnostika samo na osnovu frekventne analize vibracionog signala.

Program istraživanja predviđa formiranje odgovarajućeg mernog lanca za praćenje dinamičkog ponašanja elemenata. Tako formiranim mernim lancem prati se brzina vibracije i amplituda u cilju utvrđivanja pouzdanosti rada sistema.

Kao kriterijum za ocenu vibracionog stanja mašine, na bazi merenja vibracije kućišta ležajeva, mogu se koristiti npr. preporuke iz VDI-2056 koje su date u tabeli.

Kriterijumi za ocenu vibracionog stanja ležajeva (VDI-2056) Efektivna brzina (mm/s)				
Grupa mašina	K	M	G	T
Nedozvoljeno	> 4.5	> 7.1	> 11.2	> 18
Još dozvoljeno	do 4.5	do 7.1	do 11.2	do 18
Prihvatljivo	do 1.8	do 2.8	do 4.5	do 7.1
Dobro	do 0.71	do 1.12	do 1.8	do 2.8
	male mašine do 15kw	srednje mašine 15-75 kw	velike mašine sa krutim temeljima	velike mašine sa relat.mekim temeljima

Tabela 1 Kriterijumi ocene vibracija ležaja

Radna područja mašine prema preporukama VDI-2056 su:

- Dobro, gde je mali nivo vibracija,

- Prihvatljivo, gde je povećan nivo vibracija, odnosno postoje vibracije koje se mogu tolerisati,
- Još dozvoljeno, tj. nivo vibracija na granicama dozvoljenog, no ovo stanje ukazuje da je potrebna korekcija radnih preduslova, jer je moguće nastajanje kritičnog stanja,
- Nedozvoljeno, gde su narušeni normalni uslovi rada mašine i stanje je kritično.

Postoje, takođe, kriterijumi za ocenu vibracionog stanja mašine na bazi merenja vibracija vratila VDI-2059. Poznavanje karakteristika vibracije za svaki tip neispravnosti delova, predstavlja mogućnost sprečavanja uzroka neispravnosti.

Potencijalni uzročnici nastanka vibracija, kod instalisane opreme, mogu biti:

- neuravnoteženost,
- ekcentričnost,
- neispravni ležajevi,
- neispravni zupčanicima,
- rezonance,
- aerodinamičke i hidraulične sile,
- zazor i dr.

Tokom utvrđivanja uzroka pojava vibracija, mogu se preduzeti korektivne mere do određenog vremena rada sistema, a zatim je neophodna zamena dela sa novim. Za blagovremeno preduzimanje korektivnih aktivnosti održavanja neophodno je pripremiti program za praćenje postrojenja. Neophodno je vršiti permanentno praćenje vibracija i njihovu analizu.

Svaki tehnički sistem i svaki deo tog sistema, ima specifično ponašanje u toku svog radnog veka, u zavisnosti od toga u kojim uslovima se eksploatiše sistem. Tako na osnovu statističkih podataka, može se odrediti vremenski rok zamene delova. To je veoma važan podatak za održavanje, tj. za pripremu tehnologije održavanja i terminiranje.

Primer radi: kod ležaja, tehničko stanje je dobro do 20dB, a za stanje ležaja od 20dB do 35dB treba pripremiti aktivnost zamene istog. Kad udarni impuls dođe do 55dB tada je neminovno otkaz, odnosno, moguće je smatrati da je ležaj otkazao, te je neophodno preduzimanje aktivnosti popravke.

Iz primera se vidi da do otkaza, najčešće, dolazi na osnovu prethodnih predznaka, osim u slučaju brzih lomova delova zbog grešaka u

materijalu. Praćenje promene odabranog parametra se vrši preko dijagrama. Za praćenje pojedinih delova potrebno je izvršiti njihovo obeležavanje i uraditi tabele kako bi se omogućilo praćenje definisanih mernih mesta. Za sva merna mesta prave se dijagrami za praćenje tehničkog stanja.

postrojenja	pogonske grupe	ležaji	zupčaniци	vrtila	osovine
B	kopač	22	16	12	1
A	priemna traka	34	12	6	10
G	međutraka	20	12	6	4
E	odložna traka	19	6	3	4
R	transport	12	8	8	10
transportna traka	pogon. stanici	126	84	60	30
	povratna stan.	12	0	0	6
dobilno postrojenje	priemna traka	24	8	4	4
	predajna traka	32	12	6	4
	unutrašnje trake	28	16	8	10

Tabela 2 Pregled delova kod kojih se prate vibracije

Tabelarnim pregledom može se uočiti da se najviše mernih mesta odnosi na ležajeve, a zatim na zupčanike i vrtila.

Analize zastoja daju nam za pravo da zaključimo da su delovi koji se relativno kreću uzročnici mnogih zastoja i zato je potrebno njihovo praćenje.

Uvođenjem praćenja stanja jednog bagera (SRs-630/1) u toku 1998.god., utvrđeno je da je došlo do 10% smanjenje vremena zastoja u odnosu na prethodne godine, smanjenje broja intervencija za 30%, maksimalno vreme intervencija održavanja smanjeno je za 10-40%, smanjenja potrošnja ležaja koji se prate za 30-60%. Pri prestanku praćenja bagera primenom tehničke dijagnostike javlja se povećanje zastoja čak za 32%.

Primenjujući metode za tehničku dijagnostiku, doprineće se planiranju aktivnosti održavanja.

Vibraciona metoda obuhvata kontrolu delova koji se relativno kreću. Za prikazivanje pravih rezultata, potrebno je odlično poznavanje konstruktivnih i funkcionalnih karakteristika postrojenja i svih sastavnih komponenata. Nakon izvršenih analiza i uzimajući u obzir sve tehničko-tehnološke uslove, moguće je

definisati stručno mišljenje za dati problem, tj. predlog mera za aktivnosti održavanja.

Frekventnom analizom, urađenom za pogonske jedinice koje rade u nedozvoljenom području vibracija ili imaju vibracije sa promenljivim intenzitetom, može se utvrditi da su 70% vibracija posledica neispravnosti elemenata ili delova.

### VIBRODIJAGNOSTIČKI PREGLED TEHNIČKIH SISTEMA I DINAMIČKO URAVNOTEŽAVANJE OBRJNIH ELEMENATA

Praćenjem vibracionog ponašanja, uz pogodan izbor mernih mesta i pravilno definisanu proceduru, može se uspešno vršiti dijagnostika sledećih poremećaja:

- neuravnoteženost- debalans obrtnih elemenata i sklopova,
- nesaosnost i nepodešenost,
- ekscentricitet,
- iskrivljenost vrtila i osovina,
- karakter veza nosećih struktura i sklopova koji se na njima nalaze,
- sve vrste oštećenja i poremećaja u radu kotrljajnih ležajeva,
- nepravilnosti u radu kliznih ležajeva,
- pojava kavitacije kod pumpnih postrojenja,
- problemi kod elektro motora,
- stanje različitih zupčastih prenosnika.

Podršku mernom uređaju (sl.2) obezbeđuje PC računar uz odgovarajući softverski paket.



Slika 2. Sistem za dijagnostiku tehničkih sistema preko praćenja vibracija

Dodatni softver omogućava, da se sa uređajem izvodi postupak dinamičkog uravnotežavanja (balansiranja) obrtnih sklopova i elemenata u sopstvenim ležajevima (do četiri ravni). Ovakva procedura balansiranja ima čitav niz prednosti:

- velike uštede u vremenu i novcu obzirom da nije potrebno vršiti demontažu,
- uzimanje u obzir svih realnih eksploatacionih uslova kao što su temperatura, pritisak, način montaže, krutost i sopstvena učestanost oscilovanja noseće konstrukcije itd.,
- potpuno eliminisanje troškova i problema vezanih za transport do mašine ili uređaja za balansiranje.

Prvi korak u primeni je vezan za selekciju tehničkih sistema i podsistema koji će se uvrstiti u program preventivnog praćenja vibromehaničkog stanja. Na osnovu toga se inicijalizuje baza podataka u okviru softverskog paketa (koji je prateći deo uređaja). Ova baza podataka predstavlja osnovu za sva merenja, analize rezultata, generisanje izveštaja i sprovođenje korektivnih mera. Softver i baza podataka se paralelno instaliraju i na jednom računaru kod korisnika.

Ovaj postupak obezbeđuje jednostavno praćenje stanja i uočavanje poremećaja na tehničkim sistemima koji se uključe u program praćenja. Na taj način se značajno smanjuju, ako ne i u potpunosti izbegavaju mogućnosti pojave iznenadnih, nepredviđenih otkaza koji najčešće nastaju u najnepovoljnijem i po funkcionisanje sistema kritičnom trenutku.

Prema našem iskustvu, kompletna vibrodijagnostika se vrši pre početka i po završetku remontnih aktivnosti u rudnicima. Na taj način se definiše obim i kontroliše nivo kvaliteta izvedenih remontnih radova a u isto vreme i definiše početno stanje tehničkih sistema kod uključivanja u eksploataciju.

Smatramo da bi uvođenje programa preventivne ultrazvučne kontrole imalo velikog značaja u procesu održavanja opreme. Na ovaj način bi se dobile veoma važne informacije o trenutnom stanju ispitivanih elemenata i postojanju kritičnih mesta. Takođe bi mogli da se donesu zaključci o eksploatacionoj raspoloživosti /4/ i da se mnogo preciznije planiraju termini za zamenu ili remont određenih komponenti.

Permanentnim praćenjem vibracija u svakom trenutku može se saznati da li je došlo do pogoršanje stanja, i time blagovremeno utvrđivanje stanja omogućuje i blagovremeno preduzimanje aktivnosti održavanja.

Mali broj eksperimenata nedozvoljava da se izvede opšti zaključak, međutim, ako se zna da rezultati istraživanja iz literature, pokazuju slične vrednosti, može se zaključiti da je pozitivan uticaj uvođenja praćenja vibracija ležaja za poboljšanje preduzimanja određenih aktivnosti održavanja, neosporan.

Autor se u zaključcima oslanja i na podatke iz literature o uticaju tehničke dijagnostike na poboljšanje parametara održavanja.

## ZAKLJUČAK

Održavanje se danas definiše kao proces u kome se sve aktivnosti sprovode na osnovu relevantnih informacija o stanju tehničkih sistema. Drugim rečima savremeni koncept dijagnostike je osnov za uspešno održavanje skupe i strateški važne opreme kao što je ona koja se na primer koristi u proizvodnji električne energije u termoelektranama.

## LITERATURA

- /1/ Grozdanovski A.: Strategija održavanja tehničkih sistema kontinualne eksploatacije ugla, doktorska disertacija, MF. Kragujevac 2002.
- /2/ Jeremić B.: Terotehnologija, ESKOD Kraguevac, 1992
- /3/ Arnold C. Haziak S, Schneider W, Weigel M: Rezultati vibraciono dijagnostičkog praćenja stanja, OMO 1990
- /4/ Grozdanovski. A.: Uticaj organizacije održavanja na pouzdanost i raspoloživost sistema, časopis Istraživanja i projektovanja za privredu, broj 17. strana 33