

## ANALIZA UČINKOVITOSTI ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA ANALYSIS OF EFFICIENCY OF MAINTENANCE OF TECHNICAL SYSTEMS

**Dr sc. Hasan Avdić, vanr.prof.  
Ekspert za upravljanje održavanjem  
tehničkih sistema  
Banovići**

**Alma Avdić, dipl.ecc  
Voditeljica postprodaje  
"Pavić - Komerc", d.o.o, Tuzla**

### **REZIME**

*Održavanje tehničkih sistema je funkcija proizvodnje koja obuhvata sve postupke koje treba preduzeti da tehnički sistemi budu što duže u ispravnom stanju, da u životnom ciklusu rade sa dozvoljenim nivoom pouzdanosti, produktivnosti i ekonomičnosti. To znači da održavanje umnogome utiče na povišenje nivoa efikasnosti poslovanja preduzeća. Postupcima održavanja treba smanjiti frekvenciju i dužinu trajanja zastoja.*

*Svakodnevnom analizom učinkovitosti održavanja može se značajno uticati na smanjenje zastoja odnosno na povećanje raspoloživosti opreme a time i na stvaranje uslova za povećanje produktivnosti procesa proizvodnje.*

*S druge strane raspoloživost predstavlja vjerovatnoću da će tehnički sistem u bilo kom trenutku vremena biti raspoloživ, odnosno da će biti u stanju da radi ili da se uključi u rad.*

*U ovom radu je prikazana analiza učinkovitosti održavanja putem analize raspoloživosti opreme u Rudnicima mrkog uglja "Banovići" d.d. Banovići.*

**Ključne riječi:** održavanje, tehnički sistemi, učinkovitost, raspoloživost, analiza.

### **ABSTRACT**

*Maintaining technical systems is a production function that includes all the procedures to be taken to keep the technical systems as long as possible in order to work with the permissible level of reliability, productivity and economy in the life cycle. This means that maintenance significantly influences the increase in the level of business efficiency. Maintenance procedures should reduce the frequency and duration of the downtime.*

*The day-to-day analysis of maintenance effectiveness can significantly influence the reduction of stagnation, ie increasing the availability of equipment, and thus creating the conditions for increasing the productivity of the production process.*

*On the other hand, the availability is the probability that the technical system will be available at any time, that is, it will be able to work or get involved.*

*This paper presents an analysis of the efficiency of the maintenance by analyzing the availability of equipment in brown coal mine "Banovići" d.d. Banovići.*

**Keywords:** maintenance, technical systems, efficiency, availability , analysis.

## 1. UVOD

Svrshodnost održavanja se može do kraja sagledati samo kroz efektivnost osnovnog procesa proizvodnje, da troškovi održavanja i troškovi zbog zastoja u proizvodnji budu što manji, kvalitet proizvoda što viši a produktivnost proizvodnje što veća. Odnosno, zbir svih troškova po jedinici proizvoda nastalih zbog projektovanja, izrade, eksploatacije i održavanja tehničkog sistema, nezavisno od vremena i mjesta gdje su nastali, preko planiranog životnog vijeka trajanja, moraju težiti minimumu [1, 5]

Eksploatacija uglja u Rudnicima mrkog uglja "Banovići" d.d. Banovići se vrši visoko produktivnom opremom. Zastoji ove opreme dovode do zastoja u procesu proizvodnje i stvaranja velikih troškova. Zato se održavanju ove opreme mora posvetiti posebna pažnja a sve u cilju smanjenja frekvencije i dužine trajanja zastoja. Svakodnevnom analizom učinkovitosti održavanja može se značajno uticati na smanjenje zastoja odnosno na povećanje raspoloživosti opreme a time i na stvaranje uslova za povećanje produktivnosti procesa proizvodnje.

## 2. TEORIJSKA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Integralni sistemski pristup održavanju

Održavanje tehničkih sistema može da se posmatra i analizira metodama integralnog sistemskog prilaza, tj. kao skup većeg broja segmenata koji svoju funkciju obavljaju u određenoj okolini i u određenom vremenu. Drugim riječima može se govoriti o sistemu održavanja, kao skupu segmenata ili elemenata koji zajedničkim dejstvom obezbijavaju održavanje tehničkog sistema, u skladu sa postavljenim zahtjevima i kriterijumima.

Sistem održavanja tehničkog sistema može da se realizuje na više načina, u više međusobno različitih varijanti. Pojedine varijante, odnosno pojedina rješenja sistema održavanja mogu da se razlikuju u nizu detalja, ali i u osnovnim, za sistem bitnim obilježjima. Ovo se odnosi prije svega na koncepciju sistema održavanja, a zatim na primjenjenu tehnologiju i organizaciju. Pod koncepcijom sistema održavanja podrazumijeva se princip donošenja odluka o vremenu u kojem treba da se sprovedu postupci održavanja. U ovom pogledu postoje osnovne mogućnosti: preventivno, naknadno i kombinovano održavanje. Kod preventivnog održavanja, potrebni postupci se sprovedu prije nego što dođe do pojave otkaza, a kod naknadnog pošto se otkaz već pojavi. Tehnološki aspekt se odnosi na vrstu i način izvođenja postupaka održavanja, a organizacija sistema zavisi od odnosa pojedinih nivoa na kojima se sprovedu postupci održavanja [1, 5].

### 2.2. Raspoloživost tehničkih sistema

U [1, 5] Raspoloživost definiše vjerovatnoću da će sistem u bilo kom trenutku vremena biti u stanju da ispravno radi, tj. da se uključi, u rad (ukoliko neposredno prije toga nije već bio u radu). Očigledno je da postoje određene razlike u karakteru „uključivanja u rad“, u zavisnosti od toga da li se sistem prije toga nalazio na korištenju ili u rezervi. Ako se sistem nalazi na korištenju, njegovo stanje je poznato te uključivanje u rad nije praćeno datom neizvjesnošću. Ako se sistem nalazi u rezervi, međutim, njegovo stanje u načelu nije poznato, pa postoji neizvjesnost da li će moći da se uključi u rad ili ne.

Ukoliko se sistem u posmatranom periodu nije nalazio u rezervi, njegova raspoloživost se jednostavno može izraziti kao odnos vremena stanja "U RADU" i ukupnog vremena posmatranja, tj. ukupnog vremena korištenja.

Raspoloživost se može definisati na više načina, zavisno od prilaza i ciljeva analize. U opštem slučaju važi relacija:

$$A(t) = \frac{t_r}{t} = \frac{t_r}{t_r + t_o} = \frac{\sum t_{ri}}{\sum t_{ri} + \sum t_{oi}} \quad (1)$$

gdje je :

$A(t)$  – funkcija raspoloživosti, do vremena  $t$ ,  
 $t_r$  – vrijeme "U RADU" (zbirno, od 0 do  $n$ , do vremena  $t$ ) ( $T_{ur}$ ),  
 $t_o$  – vrijeme "U OTKAZU" (zbirno, od 0 do  $n$ , do vremena  $t$ ) ( $T_{uo}$ ),  
 $t$  – ukupno vrijeme posmatranja ( $T_{ur} + T_{uo}$ ).

Pošto su vremena u radu i u otkazu složene vremenske kategorije, definicija za raspoloživost može da se iskaže i na druge načine, u odnosu na pojedine periode iz vremenske slike stanja.

### 2.3. Učinkovitost održavanja

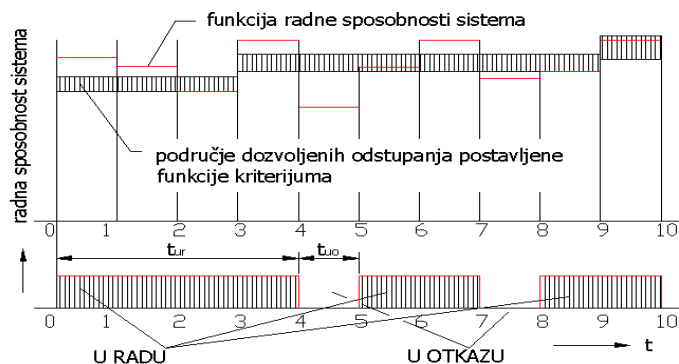
Ključni pokazatelji učinkovitosti održavanja stavljaju u odnos različite veličine koje se prate u nekom periodu, a rezultat se izražava u postotku ili u obliku indeksa. Učinkovitost održavanja je odnos napora održavanja potrebnog da isporuči zahtijevani nivo usluge kako bi postrojenje/oprema (TS) uspješno funkcionirali.

U upravljanju održavanjem najveći su izazovi jasnoća i tačnost podataka koji se prikupljaju o stanju tehničkog sistema te njihovo razumijevanje. Metoda mjerenja učinkovitosti održavanja pomoću ključnih pokazatelja (KPI) i analize kojima se uspoređuju vrijednosti tih pokazatelja nakon nekog perioda, pomažu stručnjacima s područja održavanja i Facility Managementa u donošenju odluka vezanih za aktivnosti održavanja opreme, pogona ili druge imovine. Prilikom izračuna ključnih pokazatelja uzima se u obzir uspješnost u tri područja djelovanja (Norma EN 15341, Maintenance-Maintenance Key Performance Indicators): ekonomskom, tehničkom i organizacijskom. Time se mjerenje uspješnosti održavanja širi izvan okvira analize tehničke ispravnosti i raspoloživosti [4].

Prilikom izračunavanja nekih pokazatelja, važno je naglasiti da vrijednost pojedinih pokazatelja ne zavisi samo o osoblju održavanja, nego i o samom korisniku opreme te ostalim vanjskim uticajima.

### 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Osnova za izračunavanje raspoloživosti tehničkih sistema i analizu učinkovitosti održavanja pomoću tog pokazatelja je vremenska slika stanja odnosno geneza događaja. Vremenska slika stanja tehničkih sistema (slika 1) omogućuje, za posmatrani vremenski interval, utvrđivanje:



Slika 1. Vremenska slika stanja

- broj pojava stanja "U RADU" i stanja "U OTKAZU",
- vremena trajanja u vidu:  
Stanje "U RADU"

$$T_{ur} = \sum_{i=1}^n t_{uri}$$

Stanje "U OTKAZU"

$$T_{uo} = \sum_{i=1}^n t_{uoi}$$

- uzroka otkaza po vrsti i veličini,
- pravca i smjera dejstva utjecaja – uzročnika otkaza, i
- drugih parametara u funkciji potreba i postavljenog informacionog sistema.

Vremenska slika stanja sistema je uslovljena, pri drugim istim uslovima, načinom struktuiranja sistema i stepenom složenosti strukture.

Izračunavanje raspoloživosti i analiza učinkovitosti održavanja pomoću tog pokazatelja je urađena na primjeru vremenske slike stanja hidrauličnog bagera TEREX RH 120 E (slika 2, tabela1) u RMU – Banovići.

Tabela 1. Tehničke karakteristike bagera



Slika 2. Hidraulični bager TEREX RH 120 E

Pogonski elektromotor izlazne snage	1000 kW
Čeona kašika (SAE 2:1) kapaciteta	15 m <sup>3</sup>
Maksimalna sila kopanja	1370 kN
Maksimalna sila kidanja	920 kN
Širina papuča gusjeničnog lanca transporta	1000 mm
Radna težina bagera	283 tone
Pritisak na podlogu	2,12x10 <sup>5</sup> Pa
Ukupna količina ulja u hidrauličnom sistemu	3500 litara
Kapacitet hidrauličnog rezervoara	250 litara
Maksimalni radni pritisak	310 bara
Maksimalni pritisak u transportu	370 bara
Maksimalni pritisak u kružnom kretanju	350 bara
Maksimalni protok ulja	426 l/min
Maksimalna brzina okretanja	5,1 o/min
Maksimalna brzina transporta	2,7 km/h

Ako se bager TEREX RH 120E posmatra kao sistem koji na ulazu ima energiju, materijal i informacije a kao izlaz kapacitet, efektivnost i kvalitet onda se taj sistem može podijeliti u nekoliko podsistema koji su u međusobnoj vezi a čija ispravnost direktno utiče na izlazne veličine (kapacitet, efektivnost i kvalitet). Na osnovu navedenog Tehnički sistem- bager TEREX RH 120 E se sastoji od šest podsistema i to mehatronički podsistem, podsistem

centralnog podmazivanja, podsistem kopanja, podsistem transporta, podsistem kružnog kretanja i podsistem pogonski modul kako je prikazano na slici 3.



Slika 3. Podsistemi bagera TEREX RH 120 E

Navedeni podsistemi bagera TEREX RH 120 E su u serijskoj vezi (slika 4), što znači da u slučaju stanja "U OTKAZU" bilo kojeg podsistema bagera TEREX RH 120 E cijeli sistem je u stanju "U OTKAZU".



Slika 4. Serijske veza podsistema bagera TEREX RH 120 E

Prikupljeni i obrađeni podaci su prikazani tabelarno (tabela 2). U tabeli su prikazane vrijednosti za raspoloživost na način kako se to radi u RMU – Banovići.

Tabela 2. Podaci o raspoloživosti, radu i zastojima hidrauličnog bagera TEREX RH 120 E

Mjesec	Maksimalno mogući ostvareni sati	Planirani sati ispravnosti	Ostvareni sati ispravnosti	Ostvareni električni sati	Raspoloživost (%)	Gotovost (%)	ZASTOJI (h)																															
							Podmazivanje	Mališka opravka	Elektro opravka	Popravak na mehaničkoj zastojci	Čekanje na elektro opravku	Mijenjanje ulj. az. i	Service	Remonti	Zamjena tehničke prirode	Rezervna	Neod. vegona	Neod. kamiona	Mijenjanje	Neod. struje	Kablo	Bagerška trasa	Kominski put	Mehanizacija	Blizovi / pumpe	Odnor	Tramp.	Pratnik	Primoqr.	Ostali zastoji	Ukupani zbir zastoja							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32							
Januar	744	390	618,5	315,5	71,54	83,13		46,5	11	65,5			2,5	125,5	21,5	3,5	103,5		1	0,5	1	31,5	2	47,5	66	1	24		303	428,5								
Februar	672	390	595	335,5	81,33	88,54		34	8	35				77			47,5		1,5	14	10	66	28,5	15	71,5	5,5			259,5	336,5								
Mart	744	390	569	356,5	67,2	76,48		73	3,5	98	0,5			175			72			3,5	8,5	31	11	5	74,5	5			210,5	385,5								
April	720	390	659	379,5	86,15	91,53		51	6	3,5	0,5			61	8,5		116			2	15	40	3,5	9,5	79,5	5,5			279,5	340,5								
Maj	744	390	646	379,5	79,46	86,83		66,5	14	9,5	6			96	3		89,5		2,5	4	12	35,5	3	2	83	8	24		266,5	364,5								
Juni	720	390	645,5	466	85,96	89,65		56	4	14,5				74,5	2		59,5	1,5	10	0,5	8,5	7,5	2	4	86,5	7,5			189,5	284								
Juli	744	390	645,5	436	81,57	86,76		84,5	16,5	10	1,5			96,5	6,5		95		8,5	1,5	6	4		3	82,5	2,5			209,5	308								
August	744	390	640	338	76,47	86,02		76	9,5	17	1,5			104	20		176	0,5	1		4,5	11,5	2	6,5	73	7			302	406								
Septembar	720	390	699	373,5	87,99	92,92		40		11				51	9		165	6	11	0,5	9	6		6	80	3			285,5	346,5								
Oktobar	744	390	660	469	84,81	88,71		56		28				84	5					65	2,5	9	15		5,5	85,5	3,5			191	275							
Novembar	720	390	594	380	75,1	82,5		84,5	16,5	28	8		7	126	25		79,5	0,5		0,5	1,5	13		19	75				214	340								
Decembar	744	390	610,5	362	73,06	82,06		60,5	3	6	64			133,5	16	3	58,5			13	19,5	16,5	22,5	3,5	8,5	77	10,5			248,5	382							
Suma	6760	4650	7552	4583	79,14	86,21	0	690,5	94	332	82	0	9,5	0	1208	116,5	6,5	1062	8,5	113,5	49	283,5	55,5	131,5	934	59	48	0	2969	4177								

U tabeli broj 2 su prikazani podaci o radu i zastojima hidrauličnog bagera TEREX RH 120 E za godinu dana. Podaci su prikupljeni svakodnevno i upisivani u vremensku sliku stanja (slika 1). U prvom dijelu tabele su prikazani podaci o radu (maksimalno mogući sati ispravnosti, planirani sati ispravnosti, ostvareni efektivni sati, ostvareni moto sati) i izračunate vrijednosti raspoloživosti i gotovosti. Karakteristično je da su ostvareni sati ispravnosti bagera (7552 h) veći od planiranih (4650

h). Ostvareni efektivni sati rada bagera iznose 4583 h što je daleko manje od ostvarenih sati ispravnosti što ukazuje na veliku neiskorištenost hidrauličnog bagera.

U drugom dijelu tabele prikazani su podaci o zastojima bagera. Zastoji su podijeljeni u dvije kategorije i to: zastoji tehničke prirode koji su vezani za otkaz tehničkog sistema i održavanje i ostali zastoji koji su vezani za organizaciju u tehnološkom procesu. Ukupni zastoji, u posmatranom periodu, iznose 4177 h od toga na zastoje tehničke prirode se odnosi 1208 h a na ostale zastoje 2969 h. Karakteristično za zastoje tehničke prirode je visoka vrijednost čekanja na opravku (logističko i administrativno vrijeme) od 414 h. Ostali zastoji u iznosu od 2969 h, također imaju visoku vrijednost a odnose se na lošu organizovanost u tehnološkom procesu.

Raspoloživost, koja je prikazana u tabeli, je računata u skladu sa formulom (1):

$$A(t) = \frac{t_{ef}}{t_{ef} + t_{ztp}} = \frac{4583}{4583 + 1208} = 79,14 \%$$

gdje je:  $t_{ef}$  – ostvareni efektivni sati

$t_{ztp}$  – zastoji tehničke prirode

Vidljivo je da raspoloživost, u posmatranom periodu, ima relativno nisku vrijednost u iznosu od 79,14 % u odnosu na garantovanu raspoloživost od 90 % od strane isporučioaca bagera.

Dva su osnovna razloga za to:

- slaba iskorištenost bagera u odnosu na sate ispravnosti a vezana je za organizacijske pokazatelje učinkovitosti u tehnološkom procesu, i
- nedovoljna učinkovitost održavanja što je vidljivo iz visoke vrijednosti zastoja tehničke prirode (visoka vrijednost vremena čekanja na opravku) a vezana je za tehničke pokazatelje učinkovitosti.

Ako se dublje analiziraju visoke vrijednosti zastoja tehničke prirode može se vidjeti, iz tabele 2, da su posebno visoke vrijednosti vremena opravki (784,5 h) i vremena čekanja na opravku (414 h). Vrijeme opravki se odnosi na aktivno vrijeme održavanja.

Vrijeme čekanja na opravku se odnosi na logističko (nedostatak rezervnih dijelova i repromaterijala) i administrativno (odnosi se na organizaciju službe održavanja – puno vremena prođe od nastanka kvara do početka opravke).

Očigledno je da se svakodnevnom praćenjem raspoloživosti odnosno analizom zastoja tehničke prirode može znatno uticati na učinkovitost održavanja. Ako bi se zastoji tehničke prirode smanjili samo za 10%, što je objektivno moguće boljom učinkovitosti službe održavanja, dobilo bi se novih 120 sati ispravnosti bagera.

Može se zaključiti da se svakodnevnom praćenjem i analizom raspoloživosti može značajno uticati na učinkovitost održavanja bagera. Vrlo je važno da su podaci o radu i zastojima bagera tačni i pouzdani.

S druge strane, iz tabele 2, je vidljivo da zastoji organizacione prirode (organizacijski pokazatelj učinkovitosti) iznose 2969 sati. Ako bi se ovi sati, boljom organizacijom, smanjili za 10 % dobilo bi se novih 296 sati ispravnosti bagera.

Ako se ovi sati saberu sa satima dobijenim boljom učinkovitosti službe održavanja dobije se iznos od 416 novih sati ispravnosti bagera. To praktično znači mjesec dana rada bagera što bi znatno uticalo na povećanje proizvodnje u rudniku. Prosječni kapacitet ovog bagera je 500 m<sup>3</sup>/sat, što znači da bi se za ovih 416 sati moglo proizvesti 208.000 m<sup>3</sup> čvrste mase.

Iz urađene analize se može zaključiti da ne zavisi sve od službe održavanja obzirom da na učinkovitost u velikoj mjeri utiče i nedostatak rezervnih dijelova i ostalih repromaterijala za koje su nadležne druge službe u rudniku.

U tabeli broj 2 su prikazane i vrijednosti za operativnu gotovost, koja je izračunata po formuli:

$$G(\%) = \frac{t_{sf} + t_{oz}}{t_{sf} + t_{ztp} + t_{oz}} = \frac{4583 + 2969}{4583 + 1208 + 2969} = 86.21 \%$$

Gdje je:  $t_{oz}$  – ostali zastoji.

Na povećanu vrijednost operativne gotovosti uticali su ostali zastoji odnosno zastoji organizacione prirode u tehnološkom procesu. To nije dobro, na povećanje oprativne gotovosti treba da utiče povećana vrijednost raspoloživosti.

### 3. ZAKLJUČAK

U Rudnicima mrkog uglja "Banovići" d.d. Banovići svakodnevno se uredno vode vremenske slike stanja (podaci o radu i zastojima hidrauličnih bagera). Svakodnevno se vrši analiza učinkovitosti održavanja putem analize raspoloživosti hidrauličnih bagera. Očigledno je da se svakodnevnim praćenjem raspoloživosti odnosno analizom zastoja tehničke prirode može znatno uticati na učinkovitost održavanja. Ako bi se zastoji tehničke prirode smanjili samo za 10%, što je objektivno moguće boljom učinkovitosti službe održavanja, dobilo bi se novih 120 sati ispravnosti bagera. Vrlo je važno da su podaci o radu i zastojima bagera tačni i pouzdani. Također, ako bi se ostali zastoji smanjili, boljom organizacijom, za 10 % dobilo bi se još novih 296 sati ispravnosti bagera što bi ukupno iznosilo 416 sati. To praktično znači mjesec dana rada bagera što bi znatno uticalo na povećanje proizvodnje u rudniku odnosno novih 208.000 m<sup>3</sup> čvrste mase.

Visoke vrijednosti raspoloživosti mogu, pored dobre učinkovitosti održavanja, proizaći iz visoke vrijednosti pouzdanosti bagera.

Iz urađene analize se može zaključiti da ne zavisi sve od službe održavanja obzirom da na učinkovitost u velikoj mjeri utiče i nedostatak rezervnih dijelova i ostalih repromaterijala za koje su nadležne druge službe u rudniku. Jedna od značajnih stvari, ako ne i njznačajnija, koja utiče na povećanje učinkovitosti održavanja je mjesto i uloga funkcije održavanja u procesu proizvodnje. Da bi se dobila kompletnija slika o učinkovitosti održavanja potrebno je analizirati druga dva pokazatelja učinkovitosti, ekonomski, putem analize troškova održavanja i organizacijski, putem analize organizacije službe održavanja u svakom segmentu. Prilikom izračunavanja nekih pokazatelja, važno je naglasiti da vrijednost pojedinih pokazatelja ne zavisi samo o osoblju održavanja, nego i o samom korisniku opreme te ostalim vanjskim uticajima.

### 4. LITERATURA

- [1] Avdić H., Tufekčić Dž.: (2007) Terotehnologija I, Tuzla, "PrintCom" d.o.o. grafički inženjering.
- [2] Avdić H., Avdić A.: (2015) Organizacija funkcije održavanja u RMU Banovići, Zbornik radova, XL naučno stručni skup, Održavanje mašina i opreme, Beograd-Budva.
- [3] Avdić H., Avdić A.: (2016) Analiza uticaja održavanja tehničkih sistema na proizvodnju u Rudnicima mrkog uglja Banovići, 26 Tehniško posvetovanje vzdržavalcev Slovenije, Otočec.
- [4] Avdić H., Avdić A.: (2017) Analiza učinkovitosti održavanja u Rudnicima mrkog uglja Banovići, 27 Tehniško posvetovanje vzdržavalcev Slovenije, Otočec.
- [5] Avdić H.: (2017) Pogodnost održavanja tehničkih sistema, PrintCom doo Grafički inženjering, Tuzla

