

**ANALIZA UTICAJA TEROTEHNOLOŠKOG PRISTUPA  
ODRŽAVANJU NA OPERATIVNU GOTOVOST TEHNIČKIH  
SISTEMA**

**ANALYSIS OF INFLUENCE OF TEROTECHNOLOGY APPROACH IN  
MAINTENANCE ON TECHNICAL SYSTEMS OPERATIONAL  
READINESS**

**Dr. sc. Hasan Avdić, vanr. prof.  
RMU "Banovići", d.d. Banovići  
Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet**

**REZIME**

*Terotehnoški pristup održavanju odnosi se na kombinaciju menadžmenta, finansija, inženjerstva i drugih praktičnih iskustava primenjenih na fizička dobra u cilju postizanja ekonomičnih troškova u toku njihovog životnog ciklusa.*

*S druge strane, operativna gotovost sistema je vjerovatnoća da sistem, kada se koristi pod specificiranim uslovima, zadovoljavajuće funkcioniše u bilo kom trenutku vremena ili je spreman za upotrebu kada se to zahtijeva. Znači, osnova za određivanje operativne gotovosti je ukupno vrijeme koje obuhvata vrijeme skladištenja, slobodno vrijeme, vrijeme korištenja i vrijeme zastoja. Operativna gotovost razmatra vjerovatnoću u trenutku vremena.*

*U ovom radu je prikazana analiza uticaja terotehnoškog pristupa održavanju na operativnu gotovost tehničkih sistema na primjeru visoko produktivnih tehničkih sistema u RMU Banovići.*

**Ključne riječi:** analiza, uticaj, terotehnologija, operativna gotovost, tehnički sistemi

**SUMMARY**

*Terotechnology maintenance approach is related to combination of management, finance, engineering and other practical experiences, applied on physical properties, in order to achieve economical expenses during their lifetime cycle.*

*On the other side, system operational readiness is probability that system when used under specified condition, is functioning satisfactorily at any time or it is ready for operating when demanded. It means that basis for determining operational readiness is total time which include storing time, free time, operating time and malfunction time. Operational readiness is considering probability in period of time.*

*In thiss documet will be presented analysis of influence of terotechnology maintenance approach on technical systems operational readiness, on the example of high productive technical systems in Brwn Coal Mine «Banovići».*

**Keywords:** analysis, impact, terotechnology, operational readiness, technical systems

**1. UVOD**

RMU "Banovići" d.d. Banovići su, u posljednjih nekoliko godina, napravili značajan iskorak u promjeni proizvodne strategije. Urađena je analiza stanja ispravnosti i pouzdanosti

proizvodne opreme. Na osnovu te analize urađeni su projekti tehno – ekonomske opravdanosti ulaganja u postojeću opremu ili nabavku nove opreme. Definirana je oprema u koju je opravdano bilo ulagati u narednom periodu i istovremeno urađen prijedlog nabavke nove opreme. Nakon toga je izvršeno nabavljanje nove opreme (hidraulični bageri, damper kamioni, buldozeri, grederi, bušilice i drugo) u koju su uložena znatna sredstva.

U ovom radu je za jedan tehnički sistem, hidraulični bager RH 120 E, a na osnovu vremenske slike stanja (podaci o radu i zastojima – geneza događaja) prikazana analiza uticaja terotehnološkog pristupa održavanju na operativnu gotovost.

## 2. TEORIJSKE POSTAVKE

### 2.1. Osnovni pojmovi i definicije

Tehnički sistemi predstavljaju integriranu cjelinu pri čemu integracija podrazumijeva međusobnu povezanost i uslovljenost elemenata u cjelini na bazi postavljene funkcije kriterijuma i relacija između elemenata i njihovih karakteristika. Ovo, dalje, znači da za funkcionisanje sistema nije dovoljan samo kvalitet elemenata u cjelini nego i potpuna određenost relacija između njih. Ispravnost sistema je tehničko stanje sistema pri čemu on odgovara svim zahtjevima ispravnosti propisanim normativno – tehničkom dokumentacijom.

Terotehnologija je multidisciplinarna tehnologija koja se bavi svim tehno-ekonomskim mjerilima i aktivnostima tehničkih sistema, za sve vrijeme trajanja njihovog životnog ciklusa, od samih početaka- ekonomskih studija i projekata, preko projektovanja, izgradnje, instalisanja, uhodavanja, održavanja i modernizacije, eksploatacije i upravljanja, do zamjene i otpisa, a u svrhu minimizacije ukupnih troškova u toku cijelog životnog ciklusa sistema uz povratni tok informacija [1].

Održavanje je skup svih postupaka čiji je zadatak da omoguće i obezbijede ispravan rad tehničkog sistema, odnosno odgovarajuće karakteristike efektivnosti (gotovost, pouzdanost i funkcionalnu podobnost).

Ovako posmatrano, održavanje predstavlja jedan složeni funkcionalni sistem, objedinjenim jedinstvenim ciljem, odnosno jedinstvenom funkcijom kriterijuma, koji može da se realizuje na više načina, u više međusobno različitih varijanti.

Terotehnološki pristup održavanju odnosi se na kombinaciju menadžmenta, finansija, inženjerstva i drugih praktičnih iskustava primenjenih na fizička dobra u cilju postizanja ekonomičnih troškova u toku njihovog životnog ciklusa [1].

Terotehnologija je naučna disciplina koja istražuje metode i zakonitosti trajnih materijalnih sistema ili tehničkih sistema tokom njihovog životnog vijeka trajanja [4].

Terotehnologija je relativno nov izraz uveden 1970. godine u Velikoj Britaniji. Riječ terotehnologija potiče od grčke riječi TEREOS koja ima veći broj značenja: paziti, sačuvati, koji se čuva, biti pošteđen, sačuvati od nečega, imati na oku itd. Prema definiciji propisanoj britanskim standardima, terotehnologija obuhvata kombinaciju upravljačkih, finansijskih, tehničkih i drugih aktivnosti primjenjenih na materijalne resurse, a u cilju postizanja minimalnih troškova u toku njihovog eksploatacijskog, odnosno životnog vijeka.

U okviru terotehnologije izučavaju se problemi dizajna tehničkih sistema sa aspekta pouzdanosti i pogodnosti održavanja, kao i sve aktivnosti vezane za instalisanje, puštanje u rad, održavanje, modernizaciju i zamjenu tehničkih sistema [1].

Radi opisa pozitivnog utjecaja održavanja na tehničke sisteme kod kojih se dozvoljava vrijeme zastoja, uvodi se funkcija operativne gotovosti.

Analiza operativne gotovosti tehničkih sistema, kao vjerovatnoće da će tehnički sistemi stupiti u dejstvo u datom trenutku vremena odnosno kada se to od njih očekuje vrlo je važna u procesu proizvodnje. U toku životnog vijeka tehnički sistemi se mogu naći u stanju "U

RADU", stanju "U OTKAZU" ili u nekom drugom među stanju. Obzirom da je operativna gotovost vezana za trenutak vremena u kome se traži uključenje tehničkog sistema u rad vrlo je važno poznavanje stanja u kome se sistem nalazi. Takođe je važno da li se sistem prije uključivanja u rad nalazio na korištenju ili je bio u rezervi. Ako se sistem nalazio na korištenju, njegovo stanje je poznato te uključenje u rad nije praćeno datom neizvjesnošću. Ako se sistem nalazi u skladištu (u rezervi) njegovo stanje u načelu nije poznato, pa postoji neizvjesnost da li će moći da se uključi u rad ili ne. Upućivanje u rad osim pokretanja temeljne funkcije karakterizirano je i prijelaznim pojavama (povećanje opterećenja uslijed ubrzanja, povećanje trenja zbog smsnjenog podmazivanja, povećani otpori kretanja uslijed smanjenog/nikakvog podmazivanja, povećana pogonska struja i naponi zbog smanjenog otpora, prijelazne pojave u elektroničkim elementima) u komponentama sistema.

Operativna gotovost sistema je, prema [1], da sistem, kada se koristi pod specificiranim uslovima, zadovoljavajuće funkcionira u bilo kom trenutku vremena ili je spreman za upotrebu kada se to zahtijeva. Znači, osnova za određivanje operativne gotovosti je ukupno vrijeme koje obuhvata vrijeme skladištenja, slobodno vrijeme, vrijeme korištenja i vrijeme zastoja. Pri čemu se ova vremena definišu na slijedeći način: vrijeme skladištenja je vrijeme u toku kojeg se sistem nalazi u skladištu kao rezervni dio, pri čemu se pretpostavlja da je u operativnom stanju, slobodno vrijeme je ono vrijeme u toku kojeg se ne zahtijeva korištenje sistema i ono može i ne mora da bude dio vremena zastoja sistema – što zavisi od toga da li je sistem u operativnom ili neoperativnom stanju, vrijeme korištenja predstavlja vrijeme u toku kojeg sistem funkcionise na zadovoljavajući način i na kraju vrijeme zastoja predstavlja period vremena u kojem je sistem neoperativan. Ovo vrijeme obuhvata aktivno vrijeme održavanja, logističko i administrativno vrijeme.

Za razliku od efektivnosti sistema koja razmatra vjerovatnoću u toku vremenskog intervala, operativna gotovost razmatra vjerovatnoću u trenutku vremena. Osim toga, dok efektivnost sistema uzima u obzir i ugrađenu sposobnost sistema (preciznost, snagu, itd.), operativna gotovost razmatra samo spremnost sistema za određeni zadatak u datom trenutku vremena. Prema tome, može se napisati:

$$OG = \frac{t_k + t_{nk}}{t_k + t_{nk} + t_z} \quad \dots(1)$$

gdje su uvedena uslovna obilježavanja za vremena:  $t_k$  – vrijeme korištenja,  $t_{nk}$  – vrijeme kada se sistem ne koristi ali je spreman za upotrebu i  $t_z$  – vrijeme zastoja. Visoka vrijednost operativne gotovosti je svakako poželjna, ali je bitno znati na koji način je postignuta. Ako je rezultat visoke raspoloživosti onda je to dobro, jer je u tom slučaju vrijeme zastoja sistema malo u poređenju sa vremenom korištenja, tj. održavanje ne prouzrokuje neplanirane prekide u korištenju sistema. Međutim, ako je operativna gotovost rezultat prvenstveno veoma rijetkog korištenja sistema (veliko slobodno vrijeme) ili održavanja visokog stepena zamjenjivosti držanjem rezervnih sistema na skladištu (veliko vrijeme skladištenja), pri čemu je raspoloživost niska, onda se dolazi u situaciju da se slobodno vrijeme i vrijeme skladištenja koriste kao kompenzacija za lošu raspoloživost što nije dobro i ekonomično rješenje.

Prema [2], gotovost predstavlja vjerovatnoću da će sistem uspješno stupiti u dejstvo i ući u područje dozvoljenih odstupanja postavljene funkcije kriterijuma u datom vremenu i datim uslovima okoline pri čemu postavljena funkcija kriterijuma može biti: max učinak (max snaga, max brzina, max količina), max kvalitet (optimalne vrijednosti, max stepen iskorištenja i min vremena trajanja ciklusa rada) i max ekonomičnosti (min troškova proizvodnje, max čistog dohodka).

Prema [3], gotovost se može definisati na više načina, zavisno od prilaza i ciljeva analize. U opštem slučaju važi relacija:

$$G(t) = \frac{t_r}{t} = \frac{t_r}{t_r + t_o} = \frac{\sum t_{ri}}{\sum t_{ri} + \sum t_{oi}} \quad \dots(2)$$

gdje je:  $G(t)$  – funkcija gotovosti,  $t_r$  – vrijeme u radu,  $t_o$  – vrijeme u otkazu,  $t$  – ukupno vrijeme posmatranja. Pošto su vremena u radu i u otkazu složene vremenske kategorije, definicija za gotovost može da se iskaže i na druge načine, u odnosu na pojedine periode iz vremenske slike stanja. Od više mogućnosti pažnju zaslužuju pojmovi Unutrašnja i Ostvarena gotovost. Unutrašnja gotovost se definiše u odnosu na aktivno vrijeme održavanja bilo da se radi o preventivnom ili naknadnom održavanju. Ostvarena gotovost ima širi smisao. U ovom slučaju se pored vremena aktivnog održavanja analizom obuhvata i vrijeme čekanja, i to najčešće samo u vezi sa rezervnim dijelovima.

### 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

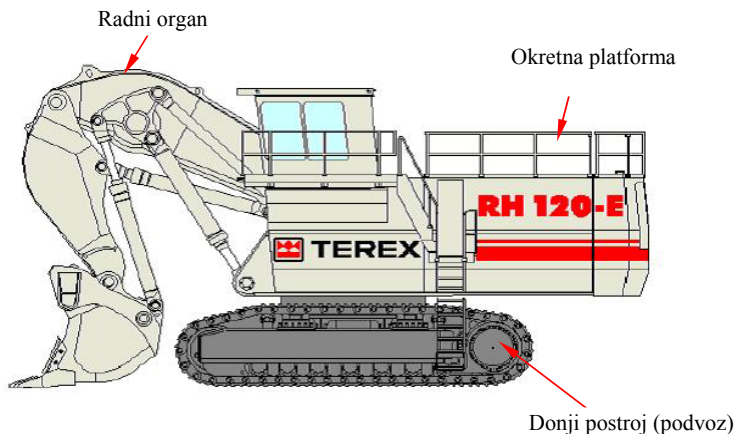
#### 3.1. Plan eksperimenta

Istraživanje je obavljeno na PK-Čubrić, RMU-Banovići, na hidrauličnom bageru TEREX RH – 120 (1). Za realizaciju funkcije cilja, urađeno je slijedeće: definisan je tehnički sistem (bager), definisani su parametri istraživanja, definisani su zastoji, definisani su uzroci zastoja, definisana vremenska slika stanja sa analizom uticaja terotehnoškog pristupa održavanju na operativnu gotovost bagera u posmatranom periodu.

#### 3.1.1. Definisane tehničkog sistema

Hidraulični bageri TEREX O&K RH 120E su dio obimnog proizvodnog spektra Terex-ove rudarske opreme. Do sada je Terex proizveo i isporučio širom svijeta više od 300 jedinica modela RH 120. Projektovani su za rad u različitim klimatskim uslovima od vrelih australskih područja do arktičkih oblasti Rusije. Koriste se za eksploataciju u rudnicima uglja, bakra, zlata, željezne rude kao i u velikim kamenolomima. U zavisnosti od uslova radilišta i vrste mineralne sirovine na raspolaganju su različite konstruktivne izvedbe kašike bagera.

RMU „Banovići“ raspolaže sa dva hidraulična bagera TEREX O&K RH 120E sa čeonom kašikom, zapremine  $15 \text{ m}^3$ . Ovo je elektro varijanta modela RH120, koji je opremljen sa jednim pogonskim elektromotorom snage 1000 kW. Izgled i osnovni tehnički podaci su prikazani na slici 1 i tabeli 1.



Slika 1. Izgled bagera TEREX RH 120E

Tabela 1. Karakteristike bagera TEREX RH 120E

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	21,2 N/cm <sup>2</sup>
Ukupna količina ulja u hidrauličnom sistemu	3500 litara
Kapacitet hidrauličnog rezervoara	2500 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

### 3.1.2. Vremenska slika stanja

Osnova za analizu uticaja rotetehnologije na operativnu gotovost tehničkih sistema je vremenska slika stanja odnosno geneza događaja. Vremenska slika stanja tehničkih sistema omogućuje, za posmatrani vremenski interval, utvrđivanje: broj pojava stanja "U RADU" i stanja "U OTKAZU", vremena trajanja, 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. Prikupljeni i obrađeni podaci su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Ostvarene raspoloživosti i zastoji bagera TEREX RH 120E (1) sumirano po godinama

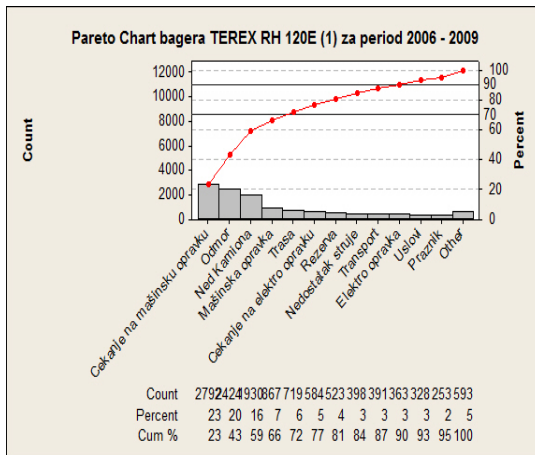
Mjesec	Maksimalno raspoloživi ostvareni sati	Planirani sati ispravnosti	Ostvareni sati ispravnosti	Ostvareni električni sati	Efikasnost (%) (Sati ispravnosti)	Efikasnost (%) (Električni sati)	ZASTOJI (h)																						
							Podmazivanje	Mališna popravka	Elektro popravka	Uzroci na malinsku elektro popravku	Čikovanje na elektro popravku	Service	Remont	Zastoji tehničke prirode	rezerva	Ned. rognona	Ned. jamiona	Miranje	Ned. struje	Trnava	Kablo	Mehanizacija	Ustovi	Osmer	Trnosp.	Praznik	Priemop.	Ostali zastoji	Ukupan sli stanja
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
Suma 2006	6480	3500	5844	4065	30,19	62,73	62	138	75	219	75	67	0	636	263	0	403	28	103,5	189,5	45,5	9	83	510	112,5	24	2	1779	2415
Suma 2007	6760	6400	7734,5	5565	39,29	63,76	59	196,5	60,5	647	46,5	47	0	1026	39	0	709,5	11	73	169,5	65	12,5	111	772,5	109,5	79	0	2150	3175
Suma 2008	8784	6100	7038,5	4956,5	30,13	56,43	13,5	344,5	161	867	337,5	22	0	1746	172,5	5	413	5	148	276	85,5	2	30	680,5	124,5	79	1	2082	3827,5
Suma 2009	5832	4000	4360	3087,5	74,76	52,34	7	198	66,5	1059	124,5	17	0	1472	49	2	398	8	73,5	83,5	23,5	6	44	461	44	72	8	1273	2744,5
Suma 2006 - 2009	28656	20000	24977	17684	339,4	59,5	120,5	697	363	2792	593,5	153	0	4878	522,5	7	1829,5	32	399	716,5	199,5	29,5	138	2424	890,5	259	11	7283	12162

### 3.1.3. ABC analiza zastoja

ABC analiza je metoda za analizu i upravljanje zalihama (skladištima). Često se upotrebljava za analiziranje i u drugim oblastima što je vidljivo i na upotrebi u ovom radu.

Tabela 3. Podaci o zastojima potrebni za računanje Pareto dijagrama

ZASTOJI	2006 god	2007 god	2008 god	2009 god	2006 - 2009 god
Podmazivanje	62,0	38,0	13,5	7,0	120,5
Mašinska opravka	138,0	186,5	344,5	198,0	867,0
Elektro opravka	75,0	60,5	161,0	66,5	363,0
Čekanje na mašinsku opravku	219,0	647,0	867,0	1069,0	2792,0
Čekanje na elektro opravku	75,0	46,5	337,5	124,5	583,5
Servis	67,0	47,0	22,0	17,0	153,0
Remont	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rezerva	263,0	38,0	173,0	49,0	522,5
Ned vagona	0,0	0,0	5,0	2,0	7,0
Ned Kamiona	409,0	709,5	413,0	398,0	1929,5
Miniranje	28,0	11,0	5,0	8,0	52,0
Nedostatak struje	104,0	73,0	148,0	73,5	398,0
Trasa	190,0	169,5	276,0	83,5	718,5
Kablo	45,5	65,0	85,5	23,5	220,0
Mehanizacija	9,0	12,5	2,0	6,0	29,5
Uslovi	83,0	111,0	90,0	44,0	328,0
Odmor	510,0	772,5	681,0	461,0	2424,0
Transport	113,0	110,0	125,0	44,0	391,0
Praznik	24,0	78,0	79,0	72,0	253,0
Primopredaja	2,0	0,0	1,0	8,0	11,0



Slika 2. Pareto dijagram zastoja bagera TEREX RH 120 E (1) za 2006 - 2009. god

Kao što je vidljivo sa slike 2 na kojoj je predstavljen ABC dijagram svih zastoja za cijeli period posmatranja rada bagera TEREX RH 120E (1) grupu A čine zastoji:

- Čekanje na mašinsku opravku (2792h odn. 23%)
- Odmor (2424 h odn. 20%)
- Nedostatak kamiona (1930 h odn. 16%)
- Mašinska opravka (867 h odn. 7%)
- Trasa (719 h odn. 6%)
- Čekanje na elektro opravku (584 h odn. 5%)
- Rezerva (523 h odn. 4%)

Potrebno je detaljno analizirati sve zastoje iz grupe A. Dubinskom analizom zastoja „Čekanje na mašinsku opravku“ koji iznose ( 2792 h ) potrebno je utvrditi razloge velike dužine zastoja te u budućnosti pokušati smanjiti tu vrstu zastoja.

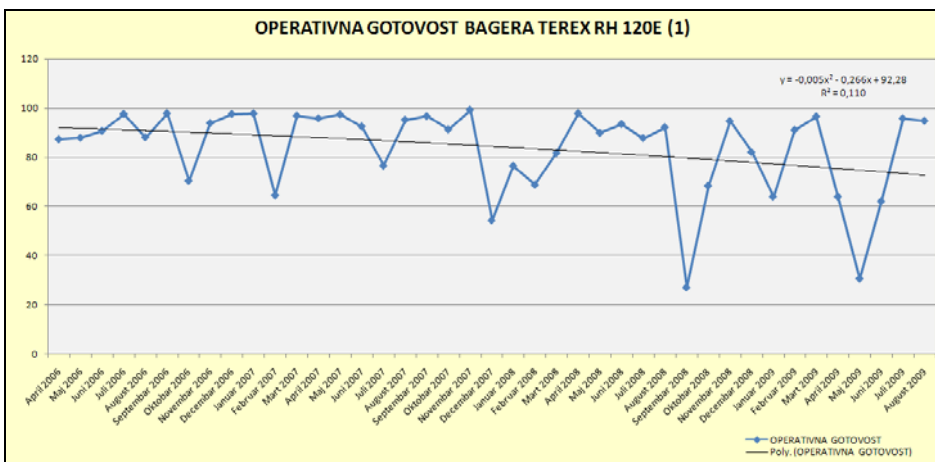
Obzirom da je odmor planirana kategorija vremena te je praktično nemoguće na tu vrstu zastoja uticati potrebno je izvršiti analizu nedostatka kamiona odnosno preraspodjelu damperski jedinica „Damperski kamiona“ kako bi se zastoji koji iznose 1930 h u budućnosti smanjilo.

### 3.1.4. Operativna gotovost

Na osnovu podataka iz vremenske slike stanja prema formuli 1 je izračunata operativna gotovost. Podaci su prikazani dijagramski (slika broj 3 ).

Tokom rada i eksploatacije hidrauličnog bagera dolazi do opadanja operativne gotovosti što je i vidljivo na slici 3.

Pad operativne gotovosti dolazi zbog smanjenja vremena u radu a povećanja dužine trajanja zastoja tehničke prirode a što je vidljivo iz vremenske slike stanja (tabela broj 2).



Slika 3. Dijagram operativne gotovosti bagera TEREX RH 120E (1)

#### 4. ZAKLJUČAK

Analiza uticaja terotehnološkog pristupa održavnju tehničkih sistema na operativnu gotovost tehničkih sistema, u konkretnom slučaju, je pokazala niz slabosti u posmatranom periodu što je rezultiralo trendom pada operativne gotovosti bagera.

Iako je u Ugovoru bagera (gdje se jasno vidi terotehnološki pristup) definisana sva procedura (algoritmi aktivnosti) oko korištenja i održavanja bagera u period eksploatacije vidljivo je da nisu ispoštovane sve procedure.

U ovom radu je dat još jedan pokušaj ukazivanja opravdanosti primjene terotehnološkog pristupa u održavanju tehničkih sistema a sve u cilju smanjenja troškova održavanja.

#### 5. LITERATURA

- [1] B. Jeremić, TEROTEHNOLOGIJA-Tehnologija održavanja tehničkih sistema, ESKOD,dd, Kragujevac, 1992.,
- [2] S. Sebastijanović, Dž. Tufekčić, Održavanje, Univerzitet u Tuzli, Tuzla 1998.,
- [3] B. Vasić, Menadžment i inženjering u održavanju, Institut za istraživanje i projektovanje u privredi, Beograd, 2004.,
- [4] S. Belak, Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment, Šibenik, 2005.,
- [5] B.Vasić, J. Todorović, Održavanje tehničkih sistema, Beograd, 2006.,
- [6] H. Avdić, Dž. Tufekčić, Terotehnologija I, Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 2007.,
- [7] H. Avdić, A. Demirović, Prilog analizi utjecaja raspoloživosti na produktivnost tehničkih sistema u RMU Banovići, 15. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE HDO ODRŽAVANJE 2009, 08. – 10. juna 2009. Opatija, Hrvatska.

